الفصل الأول

Chapter (1)

مقدمة ومسح مرجعي عن ظاهرة انهيار الغاز

Introduction and Literature Survey on Gas breakdown phenomenon in induced by laser radiation

1–1 المقـــــدمة 1.1 Introduction

تتميز أشعة الليزر عن الأشعة الصادرة من أي مصدر تقليدي بأنها تنتشر على شكل حزم من الأشعة الكهروضوئية ذات شدة استضاءة عالية ونقاء في اللون مع ترابط الحـــزم الضوئية المصاحبة لها لدرجة تمكنها من احداث ثقب في مادة معدنية من الصلب .

خلال نصف القرن الماضي تم تطوير أجهزة أشعة الليزر حيث أصـــبح مـــن الممكـــن الحصول على مصادر لهذه الأشعة تعمل عند مدى واسع من الأطوال الموجية أو التـــرددات يغطى من منطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة وربما يصل إلى منطقـــة الأشـــعة الســـينية . ويمكن لهذه الأجهزة أن تعمل بتغير زمني نبضي ، كما يمكنها أيضا أن تعمل علـــى شـــكل موجات مستمرة . من هذا المنطلق وجد أنه عند تفاعل أشعة الليزر مع الأوســـاط الماديـــة المختلفة يسلك هذا التفاعل سلوكاً يختلف عما تسلكه الأشعة المنبعثة من المصادر التقليديـــة عند تفاعلها مع الأوساط المادية . لذلك أهتم الباحثين بتفسير كيفية تفاعل أشعة الليزر مع المواد ذات الطبيعة المختلفة .

وفي بادئ الأمر أجريت بعض التجارب المعملية باستخدام أول مصدر أشعة ليزر (ليزرالياقوت) ذي الطول الموجي المناظر للضوء الأحمر من الطيف المرئي ، والذي تم تشغيله بواسطة الباحث ميمان (Maiman,1960) . بدأت الدراسات بتجميع أشعة ليزر الياقوت ذي شدة الاستضاءة العالية في الهواء الجوي بواسطة عدسة مجمعة حيث تكون شدة الاستضاءة أعلى ما يمكن عند بؤرة العدسة (Terhune,1963) . نتج عن ذلك تكون شرارة كهربية ذات لون أبيض يميل إلى الزرقة عند بؤرة العدسة صاحبها صوت فرقعة شديد الحدة ، مما دل على أن الهواء في هذا الحيز الضيق (الحجم البؤري) قد تحول كلية من الحالة العازلة إلى الحالة الموصلة بفعل أشعة الليزر . وكان أول من شاهد هذه الظاهرة هما الباحثان مايراند و هيوج (Meyer and Haught ,1963) ، وسميت هذه الظاهرة بظاهرة انهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر Laser Induced Breakdown of Gases ، كما يطلق عليها أحياناً بالتفريغ الكهربي اللاقطبي .

وقد وجد أن عملية الانهيار في الغازات عند بؤرة العدسة المجمعة لأشعة الليزر تبدأ بطريقة مفاجئة مع تكون ما يزيد عن 10^{13} زوج من الإلكترونات والأيونات الموجبة ، و انبعاث أشعة مميزة للغاز تحت الاختبار من منطقة الانهيار . كما يصاحب ذلك امتصاص وتشتت لأشعة الليزر الساقطة مع ارتفاع لدرجة الحرارة الموضعية للغاز المتأين لتصل في بعض الحالات إلى ما يزيد عن 10^6 K ويمكن أن يؤدي ذلك إلى انبعاث أشعة سينية X-Ray من هذه المنطقة .

ونظراً لهذه الصفات والطبيعة الغير مستمرة للشرارة المتكونة Disruptive Nature of the Sparks أطلق عليها كرة النار محاكاة لما يحدث في الانفجار النووي (Askary'an et al ,1967 ; Kidder et al ,1968 ; Guenther and Pendleton ,1972) . وقد لوحظ أن الشرارة المتكونة (Spark) بواسطة أشعة الليزر يمكن أن يكون لها تركيبا معقداً ، كما أنه في أحيان أخرى وجد أن الشرارة تتكون من مناطق منفصلة تمتد على محور حزمة أشعة الليزر . ورغم نجاح التجارب التي أجريت لدراسة مناطق انهيار في الغازات عند بؤرة العدسة المجمعة لأشعة الليزر، والتأكد من الحصول على كثافة عالية من الالكترونات في حيز التفاعل ، إلا أن هذه التجارب لم تفسر الظواهر الفيزيائية التي تؤدي إلى تأين وانهيار الغازات ذات طاقة تأين تزيد عن 15.0 eV بواسطة أشعة لها طاقة فوتون لا

تتعدي 2.0 eV (ليزر الياقوت وليزر النيودميوم الزجاجي) و تكونت شرارة ذات وميض طيفي مميز لنوع الغاز .

بناء على ذلك في عام (1975) أعطى الباحث جراي مورجان Grey Morgan تفسيراً للظواهر الفيزيائية المصاحبة لظاهرة الانهيار ، حيث ارجع تأين الغاز بواسطة أشعة الليزر لقيم عتبة شدة الاستضاءة العالية (أوالفيض الفوتوني) لحزمة أشعة الليزر المحكمة زمنياً (Q – Switched) والمجمعة في حيز التفاعل . تحت هذه الظروف يمكن للذرة أن تتأين عندما تمتص فوتونات أشعة الليزر حيث تتوفر كثافة عالية من الفوتونات لها من الطاقة ما يمكنها أن تتخطى بكفاءة حاجز طاقة تأين الغاز .

ولتوضيح حقيقة الدور الذي تلعبه القيم العالية لعتبة شدة الاستضاءة أوالفيض الفوتوني المناظر لها ، نعتبر أن أجهزة الليزر تنتج شدة استضاءة بقيم تتخطى $10^{13}\mathrm{W/cm^2}$. وتناظر هذه الشدة فيض فوتوني مقداره $10^{30}\ photons/cm^2\ \sec$ ، عند تفاعل أحد أو عدد من هذه الفوتونات مع ذرة الغاز فان ذلك يمكن أن يؤدي إلى امتصاص هذه الذرة للفوتونات ، وينتج عنه انتقال الذرة إلى مستوى إثارة تخيلي له طاقة مساوية لطاقة الفوتون أو طاقة مجموعة الفوتونات الممتصة . ويحدد زمن الحياة للمستوى التخيلي بتطبيق مبدأ عدم التحديد لهايزنبرج Heisenberg Uncertainty Principle والذي يعطى بالمقدار $t \sim h/h\nu \sim 1/\nu$. ويتوالى امتصاص الذرة للفوتونات واحداً تلو الآخر إلى أن تتوافق طاقة الفوتونات الممتصة إما مع طاقة أحد مستويات الإثارة المسموحة في الذرة أو مباشرة مع طاقة التأين عندئذ يتأين الغاز . ويتم تأين الذرة في هذه الحالة كلية تحت تأثير شعاع الليزر. وسميت هذه العملية بعملية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات المصاحبة لأشعة الليزر Ionization through multi-photon absorption .

ووجد عملياً أن احتمالية حدوث هذه العملية تتوقف تماماً على قيمة الفيض الفوتوني أو عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر ، وكذلك على الطول الموجي المصاحب لها . وأخذت عملية الامتصاص متعدد الفوتونات لتكون هي العملية المسئولة عن إنتاج الالكترونات الحرة الابتدائية اللازمة لحدوث ظاهرة الانهيار . و في ظاهرة الانهيار تلازم عملية الامتصاص

متعدد الفوتونات عملية أخرى مسئولة عن تزايد كثافة الالكترونات في حيز التفاعل ، تسمى عملية التأين التدريجي Cascade ionization أو التأين التصادمي Collisional ionization .

في هذه العملية تكتسب الالكترونات طاقة عن طريق عملية تصادم مرن بين الالكترونات الحرة و ذرات أو جزيئات الوسط في وجود المجال الكهربي لأشعة الليزر ذات عتبة شدة الاستضاءة العالية . وتتراكم الطاقة المكتسبة بواسطة الالكترونات إلى أن تصل إلى طاقة إثارة أو تأين الذرة (الجزيء) عندئذ تفقد الالكترونات الحرة هذه الطاقة خلال عملية تصادم غير مرن يؤدي إلى إثارة أو تأين الذرات (الجزيئات) . وينتج عن ذلك تضاعف عدد الالكترونات الحرة في منطقة التفاعل . تتكرر هذه العملية بواسطة الالكترونات المتحررة ليصل الغاز في النهاية إلى حالة الانهيار . ويطلق على عملية امتصاص الطاقة المصاحبة للمجال الكهربي لأشعة الليزر بواسطة الالكترونات الحرة بالعملية العكسية لبرمشتراهلنج Inverse Bremsstrahlung Absorption .

2-1 مسح مرجعي عن ظاهرة انهيار الغاز المستحث بواسطة أشعة الليزر.

1.2 Literature Survey on Gas breakdown phenomenon induced by laser radiation

يتم انهيار الغاز بواسطة أشعة الليزر خلال امتصاص الطاقة المصاحبة للأشعة في الوسط وذلك عن طريق عمليتين أساسيتين هما : عملية الامتصاص متعدد الفوتونات ، والعملية العكسية برمشتراهلنج العكسية . وقد أجريت العديد من الدراسات العملية والنظرية لدراسة العلاقة بين خصائص أشعة الليزر والتأثير المفرد لكل من هاتين العمليتين خلال ظاهرة انهيار الغازات كما سنوضح فيما يلي .

1-2-1 امتصاص طاقة أشعة الليزر في الوسط خلال عملية الامتصاص متعدد الفوتونات

1.2.1 Absorption of laser energy in a medium through multiphoton absorption process

كما ذكرنا أن عملية الامتصاص متعدد الفوتونات هي العملية التي بها يتم امتصاص طاقة فوتونات أشعة الليزر خلال الوسط . عندما نتحدث عن ظاهرة انهيار الغازات فإن

الوسط يكون إما ذرياً أو جزيئياً ، في كلا الحالتين لابد أن يمتص الوسط طاقة من أشعة الليزر بقيم تتوافق مع قيم طاقة أحد مستويات الإثارة المسموح بها . لذلك عند امتصاص الذرة لفوتون مفرد فسوف يفترض أن تتواجد الذرة (الجزيء) في مستوى تخيلي له طاقة $h\nu$ تساوي طاقة الفوتون الممتص . ويتبع ذلك امتصاص سريع لفوتون آخر وهكذا تتابع عملية الامتصاص للفوتونات إلى أن تتوافق طاقة الفوتونات الممتصة مع طاقة أحد مستويات الطاقة المسموح أو مع طاقة تأين الغاز . إذاً لتحديد كثافة الفيض الفوتوني اللازمة لتأين الغاز كان من الضروري أولاً تحديد معدل امتصاص الذرة (الجزيء) لهذه الفوتونات.

وقد أتجهت بعض الدراسات النظرية بواسطة مجموعة من الباحثين اعتمادا على بعض التحليلات المميزة التي ارتكزت أساسا على نظرية الاضطراب الكمية المتغيرة مع الزمن لتعيين قيمة لاحتمالية التأين W بواسطة عملية الامتصاص متعدد الفوتونات . (Gold and Bebb, 1965 ; Bebb and Gold,1966; Gontier and Trahin ,1967 a , b, 1968 a , b; Lambropoulos,1976 ; Morton, 1967 ; Voronov, 1967 ; Chan and Tang ,1969 ; Mainfray, 1982) . وأوضحت هذه الدراسة أن احتمالية التأين في أبسط صورها عند امتصاص عدد k من الفوتونات تكون على الصورة $W=AF^k$ حيث A هي معامل التأين الفوتوني و F الفيض الفوتوني وهذه العلاقة أعطت قيمة تقديرية لكثافة الفيض الفوتوني اللازم للحصول على درجة محددة لتأين الغاز .

وقد وجد أن هناك تشابهاً كبيراً بين هذه العلاقة التي تعبر عن قيمة كثافة الفيض الفوتوني اللازمة للتأين والتي تم الحصول عليها بواسطة مجموعة من الباحثين وتلك المستنتجة بواسطة الباحث توزر (Tozer,1965) .

وفي بادئ الأمر أوضحت هذه المعالجات الفيزيائية عدم توافق للقيم المحسوبة لمعدلات الانتقال وقيم عتبة شدة الاستضاءة اللازمة للتأين بواسطة عملية الامتصاص متعدد الفوتونات . أدى ذلك إلى كثير من الصعوبات الأساسية التي واجهت الباحثين في الاختيار المناسب للدوال الموجية اللازمة لتعيين كل من A و W (Tomlinson ,1965) . وأجريت محاولات عديدة لتعديل النظريات المستخدمة في هذه التحاليل وذلك من أجل تحسين التوافق والتمكن من تطبيقها في نطاق واسع .

ومن وجهة نظر أخرى أجريت العديد من الدراسات العملية حيث تم استخدام تقنيات هامة لملاحظة تأين ذرات الغاز بواسطة عملية الامتصاص متعدد الفوتونات . و تم قياس كثافة الايونات الناتجة عن تشعيع غاز عند ضغط منخفض بواسطة مصدر من أشعة الليزر، ودراسة تغير شدة الاستضاءة كدالة في كثافة الايونات الناتجة . استخدمت هذه التقنية لأول مر ة بواسطة فورونوف وديلون (Voronov and Delone ,1966)، اللذان قاما بتشعيع غاز الزينون (Xe) عند ضغط منخفض 10^{-3} Torr بواسطة ليزر الياقوت وتم قياس الأيونات الناتجة عن طريق تجميعهم في كأس فارادي .

كما أوضح فورونوف ومجموعته (Voronov et al,1966) أن المجال الكهربي ذو القيم العالية المصاحب لأشعة الليزر يمكن أن يتسبب في إزاحة مستويات الطاقة المتوسطة خلال ما يسمي بإزاحة شتارك (Stark Shift) ، يؤدي إلى انخفاض فعال في طاقة تأين الذرة . حيث أن هذه الإزاحة تتناسب مع عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر . وقد أجريت بعض التجارب المعملية لتعضيد هذه النظرية بإستخدام غازات ذرية وجزيئية (Baravian et al, 1970 ; Berezhetskaya et al ,1972) . في هذه التجارب تم قياس قيم مرتفعة لاحتمالية التأين تصاحب قيم منخفضة لمعامل اللاخطية k ، هذا بالتالي فسر التناقض بين القيم المعملية والقيم النظرية لاحتمالية التأين التي تمت دراستها على غاز النيون المشعع بواسطة ليزر الياقوت .

كما قام الباحثان ديلون وديلون (Delone and Delone,1969) بإجراء عدد من التجارب على أبخرة الفلزات القلوية والغازات الذرية والجزيئية لدراسة تأثير إزاحة شتارك التي تؤدي إلي انخفاض المستويات وذلك لتفسير القيم المنخفضة لقيمة k التي تم تعيينها لبعض الغازات .

بالإضافة إلي ذلك أجريت دراسة لقياس تغير عتبة الشدة اللازمة للانهيار كدالة في ضغط الغاز عند استخدام مصدر لأشعة ليزر الياقوت (Krasyuk , Pashinin and Prokhorov,1969 ,1970) ، تمكنت هذه الدراسة من الكشف عن حالة انهيار الغاز بواسطة تسجيل الطيف المتكون في حيز التفاعل عند بؤرة العدسة المجمعة لأشعة الليزر. و تم استخدام كاشف ضوئي لتحديد قيمة عتبة شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار كدالة في ضغط

الغاز . أوضحت نتائج هذه الدراسة العملية أنه عند الضغوط المنخفضة للغاز فإن ظاهرة الانهيار تتم كلية بواسطة عملية الامتصاص متعدد الفوتونات ، حيث وجد في هذه الحالة أن شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة للانهيار لا تعتمد على قيمة ضغط الغاز . بينما عند الضغوط المرتفعة وجد أن عتبة شدة الاستضاءة تعاني من انخفاض ملحوظ مع زيادة ضغط الغاز ، و أعزيت هذه النتيجة إلى الدور الهام الذي تلعبه عمليات التصادم الالكتروني عند الضغوط المرتفعة والتي بدورها تؤدي إلى الزيادة السريعة في نمو كثافة الالكترونات الحرة . وهذا بالتالي يفسر الانخفاض في شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة للانهيار .

ونظرا لصعوبة دقة تحديد قيم عتبة شدة استضاءة أشعة الليزرالمقاسة عمليا أدى ذلك إلى صعوبة في تحديد قيمة مطلقة لمعدل التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات ، حيث أن معدل حدوث هذه العملية يعتمد على قيمة عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر مرفوعة لقوى تصل في بعض الغازات إلى 10 أو أكثر(وهذه تمثل عدد الفوتونات الممتصة k) . ولهذا السبب فانه من الضروري دقة تحديد التغير الزمني والبعدي لعتبة شدة استضاءة نبضة أشعة الليزر في الحجم البؤري . وقد تمت معالجة هذه المشكلة نظرياً بواسطة اوجستيني ومجموعته (Agostini et al ,1970) حيث قاموا بحساب احتمالية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات لمصادر من أشعة الليزر ذات الأطوال الموجية 1060 nm و 530 nm آخذين في الإعتبار قياسات التغير الزمني و البعدي لأشعة الليزر المستخدمة في القياسات .

من جهة أخرى أشارت الدراسات العملية (Chin et al ,1970 Ev ; ans and Thonemann ,1972) إلى أن عدم الدقة في تحديد عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز هو وجود عناصر الهيدروكربون ذات قيم طاقة التأين المنخفضة في غرف تأين الغازات ، والتي تؤدي إلى قياس قيم عالية لاحتمالية التأين بواسطة عملية الامتصاص متعدد الفوتونات (نتيجة لانخفاض المعامل k) .

كما أن هناك بعض المشاكل التي واجهت الباحثين عند دراسة ظاهرة انهيار الغازات بواسطة عملية الامتصاص متعدد الفوتونات باستخدام مصادر أشعة الليزر ذات عتبة شدة الاستضاءة العالية . حيث وجد أن القيم العالية لعتبة شدة الاستضاءة تؤدي إلى تكون أجسام

مشحونة عند كل من نافذة غرفة التأين وسطح العدسة المجمعة حين تعرضهما لحزمة أشعة الليزر . ويسبب ذلك صعوبة في الكشف عن تأين الغاز عند بؤرة العدسة بواسطة التأثير المفرد لعملية الامتصاص متعدد الفوتونات (Demon and Tomlinson, 1963) . وقد تمكن الباحثين في معامل لبيديف (.Lebedev Lab) في روسيا (Voronov et al ,1965,1966,1967 ; Voronov and Delone, 1966 ; Voronov et al ,1967) , (Delone and Delone ,1968) , (Delone et al,1969) ومعامل ساكلي (.Sacly Lab) في فرنسا (Agostini et al 1968 ,1970,1971) بالتغلب على هذه الصعوبات وذلك باستخدام مجالات كهروستاتيكية ذات قيم صغيرة . بالإضافة إلى اختيار أنظمة عدسات مصححة ضد الانحراف الكروي لخارج مصادر أشعة الليزر، تعمل بشكل مستقر لتقليل احتمالية تأثير الانحراف الكروي في التغير الناتج في شدة استضاءة حزم أشعة الليزر. حيث يؤدي ذلك لعدم التحكم في الخواص البعدية والزمنية المصاحبة للحزمة .

ومن جانب آخر أوضحت الدراسات العملية التي قام بها مجموعة من الباحثين (Held et al,1972,1973; Lampere et al, 1978 ; Petite et al ,1979 ; Gontier and Trahin, 1979) أن عملية امتصاص عدد من الفوتونات يمكن أن تحدث توافق بين طاقة الفوتونات الممتصة (kh v ، حيث k هو عدد الفوتونات) وطاقة إحدى مستويات الطاقة المسموحة . و تمت دراسة هذه الظاهرة عمليا في حالة بخار السيزيوم لتعيين العلاقة بين k و W وكذلك لغاز النيون بواسطة الباحث بارافيان ومجموعته (Baravian et al 1970)، وعلى غاز الهيدروجين بواسطة الباحث بيرسيتسكايا ومجموعته (Berezhetskaya et al ,1972) . وقد أجمعت هذه الدراسات العملية أن هذا التوافق أدى إلى زيادة ملحوظة في احتمالية التأين وانخفاض كبير في معامل درجة اللاخطية k للغازات التي تمت دراستها .

وأيدت هذه الدراسات العملية العديد من الدراسات النظرية التي تعالج كيفية حدوث التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات وعلاقتها باحتمالية التأين والشدة اللازمة لانهيار الغاز حيث أكدت هذه الدراسة أن التأين يتم بصورة فعالة عند توافق طاقة الفوتونات المصاحبة للمجالات الكهربية المنخفضة لأشعة الليزر مع مستويات الطاقة للذرة والتي تقترب طاقتها من طاقة الأعداد الصحيحة للفوتونات الممتصة (Beeb and Gold,1966) .

كما وجد أيضا أن الزيادة المتوقعة في احتمالية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات يمكن أن تنتج عند استخدام مصادر لأشعة الليزر تعمل بنظام الأنماط الطولية المتعددة . وقد أجريت دراسات معملية للتأكد من هذه الظاهرة بواسطة مجموعة من الباحثين (Agarwel et al ,1970; Debethune et al ,1972; Carusotto and Starti ,1973) حيث قامت هذه المجموعة بقياس عدد الايونات المتحررة في غاز الزينون كدالة في متوسط عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر باستخدام مصدر لأشعة الليزر يعمل بنمط مستعرض مفرد ، كما أنه يمكن أن يعمل بعدد متغير من الأنماط الطولية المتجاورة . وأوضحت نتيجة هذه الدراسة عند استخدام الأنماط الطولية المتعددة أن هناك تزايد في عدد الأيونات المتحررة يقدر قيمتة بالمقدار k! I (حيث k هي درجة اللاخطية) ، وتعتمد هذه الزيادة على عدد الأنماط المصاحبة لخارج أشعة الليزر .

وأجريت أيضا حسابات عددية لاحتمالية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات لكل من غاز الهيليوم والهيدروجين وأبخرة ذرات العناصر القلوية بواسطة (Aymar and Crance, 1980,1981; Crance and Aymar, 1980) . واعتمدت هذه الدراسة على نموذج لوصف ديناميكية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات في اتجاه مستويات الطاقة في منطقة الاستمرار . وأوضحت النتائج تحقيق نظرية الاضطراب في حساب احتمالية التأين عند القيم المرتفعة لعتبة شدة استضاءة أشعة الليزر .

وقد تم تحقيق هذه النظرية عملياً للغازات الخاملة بواسطة لوراي ومجموعته (L`Huillier et al, 1983) وكذلك لبخار الكالسيوم باستخدام نبضات من البيكو ثانية بواسطة اوجستيني وبيتي (Agositini and Petite, 1984) . وأمكن تأكيد النتائج المعملية للغازات الخاملة باستخدام توقعات إحصائية مبسطة (Agositini and Petite , ,1985) ; 1984 Carance حيث أثبتت هذه الدراسة أن التأين باستخدام نبضات في حدود البيكو ثانية من ليزر الصبغات يؤدي إلى انتزاع إلكترونين من عنصر الاسترانشيوم ، وهذه العملية تتم على خطوتين بحيث يعمل فوتون الليزر أولاً لتوصيل الإلكترون إلى منطقة أعلى من الطاقة اللازمة لتأين الذرة يتبعها فوتون آخر يعمل على تأين الايون الموجب المتكون . واستكملت هذه الدراسة بواسطة كرانس (Crance ,1986) ، حيث أوضحت انه عند ضغوط الغاز

المنخفضة فإن شكل التوزيع الطيفي لطاقة الالكترونات يمكن أن يعدل بتأثير الشحنة الفراغية عند ملاحظة عدد كبير من القمم في طيف الطاقة الالكتروني .

وفي سنة 1990 سجل لافنسير ومجموعته (Lavancier et al ,1990) تأين غاز النيتروجين الجزيئي خلال امتصاص من خمسة إلى تسعة فوتونات بواسطة ليزر نبضي له زمن نبضة في حدود النانو ثانية وشدة استضاءة تصل إلى $10^{14} Wcm^{-2}$. في هذه الدراسة تم تقديم وصفاً جيداً لعمليات التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات والتفكك الجزيئي بالامتصاص الفوتوني ، وكذلك تأين مستويات الطاقة للايونات الموجبة والذي يسمى التأين فوق العتبة (above threshold ionization) . واستخدم في ذلك خواص التعدد الفوتوني للجزيء خلال تفاعله مع المجال المصاحب لأشعة الليزر . وعند استخدام أشعة ليزر ذي نبضات في مدى البيكوثانية وعتبة شدة استضاءة تصل إلى $10^{16} Wcm^{-2}$ فان المشاهدات العملية دعمت التأين متعدد الفوتونات بتفسيرات مختلفة بواسطة مجال التأين (Frasinsky et al ,1987) أو بواسطة إثارة الغاز خلال عملية الامتصاص متعدد الفوتونات (Boyer et al ,1989) .

1-2-2 امتصاص طاقة أشعة الليزر في الوسط خلال عملية التأين التدريجي (العملية العكسية لبرمشتراهلنج)

1.2.2 Absorption of laser radiation energy in a mediu through cascade ionization process (Inverse Bremsstrahlung process)

فيما سبق يتضح أنه كشرط لحدوث هذه العملية يلزم تواجد كثافة ضئيلة من الإلكترونات الحرة في حيز التفاعل قبل تشغيل مصدر الليزر . هذه الكثافة يمكنها أن تمتص طاقة من المجال الكهربي المصاحب لأشعة الليزر خلال عملية تصادم مرن مع ذرات (جزيئات) الوسط . ومع تكرار عملية التصادم تتراكم هذه الطاقة لتصل أما إلى طاقة إثارة أو تأين الذرة (الجزيء) ، عندها تفقد الإلكترونات طاقتها خلال عملية تصادم غير مرن لتؤدي إلى إثارة أو تأين الغاز . ينتج عن ذلك زيادة في كثافة الالكترونات الحرة لتصل بالغاز في النهاية إلى مرحلة الانهيار . ويطلق على هذه العملية عملية التأين التدريجي الناتجة عن امتصاص طاقة الالكترونات خلال العملية العكسية لبرمشتراهلنج . ويتوقف

حدوث هذه العملية على العوامل المصاحبة لمصدر أشعة الليزر المستخدم من حيث عتبة شدة الاستضاءة والطول الموجي وزمن النبضة وكذلك على طبيعة الغاز مثل طاقة التأين و ضغط الغاز .

ويصاحب العمليات التي تؤدي إلى زيادة كثافة الإلكترونات الحرة خلال ظاهرة الانهيار بعض العمليات التي ينتج عنها فقد هذه الإلكترونات من حيز التفاعل أو حتى فقد طاقتها ، ويتوقف ذلك على كل من خصائص أشعة الليزر و طبيعة الغاز . من هذه العمليات عملية انسياب الإلكترونات الحرة خارج حيز التفاعل Electron diffusion ، وحيث تلعب هذه العملية دورا هاما في ظاهرة الانهيارعند القيم المنخفضة لضغط الغاز (<< الضغط الجوي)، وكذلك عند صغر حجم حيز التفاعل (في حدود 10^{-9} cm^3) نتيجة للنظام البصري المستخدم لتجميع أشعة الليزر .

أما عند ضغوط الغازالمرتفعة نسبياً(≤ الضغط الجوي) فإن عملية فقد الالكترونات نتيجة لإعادة اتحادها مع الأيونات الموجبة Two body and three body recombination losses حيث تتوفر كثافة عالية من الإلكترونات الحرة و الأيونات الموجبة في حيز التفاعل تلعب دوراً هاماً في خفض كثافة الالكترونات ، أما عمليات فقد طاقة الإلكترونات فهي تلك التي تؤدي إلى إثارة المستويات الالكترونية في الغازات الذرية بجانب إثارة المستويات الاهتزازية Vibrational excitation وإثارة المستويات الدورانية rotational excitation Molecular للغازات الجزيئية . وتحدث هاتين العمليتين الأخيرتين عند الطاقات المنخفضة للإلكترونات . بالإضافة إلى ذلك فإن طاقة الإلكترونات يمكن أيضا أن تفقد بالتصادم مع جزيئات الغاز لتؤدي إلى تفككهاMolecular dissociation وهذه تتطلب الكترونات ذات طاقة مرتفعة إلى حد ما . وتؤثر هذه العمليات بشكل فعال في ظاهرة انهيار الغازات عند الضغوط المتوسطة والعالية للغاز، وغالباً ما يؤدي حدوثها إلى زيادة عتبة الشدة اللازمة لانهيار الغاز ، ويتوقف تأثيرها على نوع الغاز وضغطه أثناء التفاعل مع أشعة الليزر وكذلك على خواص هذه الأشعة .

وقد تم إجراء العديد من التجارب لدراسة تغير عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغازات خلال عملية التأين التدريجي كدالة في ضغط الغاز ونوعه وحجم حيز

التفاعل والتردد المصاحب لأشعة الليزر . وأجريت هذه الدراسة على نوعيات كثيرة من الغازات مفردة ومختلطة لدراسة العلاقة بين شدة الاستضاءة وضغط الغاز . واتضح من هذه التجارب أنه عند ثبوت ضغط الغاز فان شدة استضاءة أشعة الليزر تنخفض بانخفاض طاقة تأين الغاز ، وتعاني انخفاضاً أكبر عند استخدام خليط من الغازات وخاصة عند ضغوط الغاز المرتفعة (Smith and Haugh ,1966) .

كما أوضحت التجارب التي أجريت لدراسة تغير عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز مع قطر حزمة الليزر المجمعة عند بؤرة العدسة ، أنه عند القيم المنخفضة لقطر حزمة الليزر فإن عملية انسياب الالكترونات خارج حيز التفاعل تلعب دوراً هاماً لتحديد قيمة عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز وخاصة عند ضغوط الغاز المنخفضة . وقد وجد أن شدة الاستضاءة تزداد بشكل ملحوظ تحت هذه الظروف عند استخدام أشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون ذات الطول الموجي 10.6 µm (Brown and Smith ,1973) .

وفي الدراسة التي أجريت على الهواء الجوي بواسطة سميث ومجموعته (Smith et al 1973), لقياس تغير عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الهواء الجوي كدالة في ضغط الغاز باستخدام ليزر ثاني أكسيد الكربون وجد أن الشدة اللازمة تعتمد بشكل فعال على ضغط الغاز. وأكدت هذه الدراسة نتائج التجارب التي أجريت على الغازات الخاملة باستخدام ليزرالياقوت (Gill and Dougals ,1965) .

بالإضافة إلى ذلك وجد الباحث لنكوني (Lencioni ,1974) عند دراسة ظاهرة انهيار الهواء الجوي باستخدام ليزر النيوديميوم ياج أن عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة للانهيار تزداد بزيادة تردد الأشعة . ومن جانب آخر عند دراسة تغير عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر كدالة في الطول الموجي ، أوضحت نتائج القياسات التي أجريت على كل من غازي الأرجون والزينون عند قيم مختلفة لضغط الغاز وجود قيمة عظمى لعتبة شدة استضاءة أشعة الليزر عند قيمة ثابتة للطول الموجي لكل قيم ضغط الغاز التي اختبرت معملياً (Buscher et al,1965) . وللتأكد من هذه الظاهرة أجريت تجربة على غازي الأرجون والزينون باستخدام ليزرالأصباغ المنغم للطول الموجي (Alcock et al, 1969) تحت ظروف

معملية مشابهة ، ولكن عند مدى محدود من الأطوال الموجية . وأيدت نتائج هـذه الدراسـة الحصول على قيمة عظمى لشدة استضاءة أشعة الليزر لكل من الغازين ولكن عنـد طـول موجي يختلف عن الطول الموجي الذي تم الحصول عليه في القياسات التي أجراها تجربـة بوشر ومجموعته (Buscher et al,1965) .

وقد أجريت العديد من القياسات المعملية لتفسير ظاهرة انهيار الغاز المستحث بواسطة أشعة الليزر والتي اعتمدت أساسا على عملية التأين التدريجي للالكترونات باستخدام مصادر مختلفة من أشعة الليزر من حيث الطول الموجي وزمن النبضة ، وذلك عند قيم مختلفة مـن ضغط الغاز، وذلك لتعيين عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لإنهيار الغـاز. وقـد استخدمت نتائج هذه التجارب لتوضيح مفهوم التسخين الحراري للغازات باستخدام نبضـات الليزر ذات الأطوال الموجية القصيرة كمصدر للحصول على قوة دفع عالية وذلك استكمالا لما سبق دراسته لتوضيح هذا المفهوم عند استخدام مصادر لأشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون ذات الطول الموجي الطويل (Turcu et al, 1987) .

كما أجريت بمعامل رذرفورد قياسات عديدة لظاهرة الإنهيار في الهواء الجوي وبعض الغازات الخاملة باستخدام أشعة ليزر الاكسايمر (فلوريد الكربتون KrF) كوسـط مسـاعد للحصول على بلازما من المواد الصلبة تعطي مناطق عالية التأين لتكون مصـدراً للأشـعة السينية (Turcu et al 1990, 1997) .

كما قام الباحثان تاريجا وتامبي (Tareja and Tambay ,1991) بإجراء تجارب لقيـاس عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لإنهيار الهواء الجوي كدالة في الطول المـوجي ، وذلك باستخدام مصدر منغم لأشعة الليزر. ثم تم تطبيق هذه الدراسة على الغازات الخاملـة الزينون والكربتون بواسطة الباحث الفيروف ومجموعتـه (Alferov et al ,1991) . وعلـى الغازات الخاملة الأرجون والزينون بجانب النيتروجين والأكسجين بواسطة ديفز ومجموعته (Davis et al, 1991) .

من جهة أخرى أجريت قياسات عملية لتحليل التكوين الزمني لإنهيار الغـاز المسـتحث بواسطة أشعة الليزر باستخدام نبضات ذات البيكو ثانية (Davis et al, 1993) . فـي هـذه

الدراسة استخدمت نبضات بمدى زمني يقدر بأجزاء من البيكو ثانية من مصدر لضخ ليـــزر الصبغات وذلك كمجس لامتصاص طاقة أشعة الليزر بواسطة منطقة الإنهيار المتكونة عـــن تجميع أشعة ليزر بطول موجي 532 nm وزمن نبضة 60 ps في خلية تحتوي على غـــاز الهليوم أو غاز الارجون أو غاز النيتروجين . وتم تغيير زمن بدء تشغيل كل من نبضـــات أشعة الليزر ذات الطول الموجي 532 nm والنبضات التي تعمل كمجسات وذلك لقياس زمن بدء تكون الانهيار ، ومعدل النمو له عند قيم مختلفة لكل من ضغط الغاز وعتبة طاقة أشـــعة الليزر اللازمة للانهيار . وأوضحت نتائج هذه الدراسة أنه عند ضغوط الغاز المرتفعة تكون السيادة لعمليات التأين التدريجي ، كما وجد أيضا عدم انتظام في عملية بدء حالـــة الانهيـــار مقارنة مع نبضة أشعة الليزر المؤدية له . ولوحظ عند زيادة عتبة طاقة أشعة الليزر اللازمة للانهيار أو ضغط الغاز فأن زمن البداية يحدث مبكراً ومعدل النمو يكون أسرع . وقد وجـــد أنه في حالة غازي الأرجون والنيتروجين عند الضغوط المنخفضة فإن تكون حالة الانهيـــار يكون بشكل بطيء ، ويمكنه الاستمرار إلى مئات من البيكو ثانية بعد انقضاء نبضة أشـــعة الليزر المؤدية للإنهيار وأشار ذلك إلى حدوث ارتخاء من حالة عدم الإستقرار .

كما أجرى الباحثان سميونسن ومزوليك (Simeonsson and Miziolek ,1994) قياســـات على كل من الهواء الجوي وغازي أول و ثاني أكسيد الكربون بإستخدام مصدر لأشعة الليزر يعمل بنظام التوافقيات لتردد الأشعة لليزر النيودميوم ياج عند الأطوال الموجيـــة 266 nm , 355 nm , 532 nm , 1064 nm ، بالإضافة إلى مصدر أشعة ليزر الإكسايمر التي تعمل عنـــد الطول الموجي القصير 193 nm . وذلك لدراسة الطيف المنبعث من مناطق الإنهيار وتحديد عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر كدالة في التردد وتعيين كثافة الإلكترونات ودرجة حـــرارة إثارة وتأين البلازما .

وفي عام 1995 قام الباحث نوردستروم (Nordstrom , 1995) بإجراء دراسة للانبعـــاث الطيفي الناتج عن غازي الأكسجين والنيتروجين باستخدام مصادر لأشعة الليزر تعمل عنـــد الأطوال الموجية 350 nm و 950 nm . أظهرت نتائج هذه الدراسة الخطوط الطيفية الجزيئية لكل من الأكسجين والنيتروجين ، وتمت مقارنتها وتوافقها مع الخطوط الطيفية المدونة فـــي جداول البيانات القياسية لكل منهما.

وامتداداً لهذه الدراسة أجريت تجربة (Sircar et al ,1997) لتفسير ظاهرة انهيار الغازات الجزيئية والذرية (الأرجون والنيتروجين والأكسجين) بإستخدام مصدر لأشعة الليزر يعمل بأطوال موجية تغطي مدى من الأشعة تحت الحمراء إلى الأشعة فوق البنفسجية الفراغية ، وأوضحت نتائج هذه القياسات توافقاً بين القيم المقاسة لعتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة للإنهيار وتلك القيم المحسوبة باستخدام نموذج عددي مبسط يأخذ فقط في الاعتبار عمليتي التأين التدريجي والتأين بالإمتصاص متعدد الفوتونات عند الأطوال الموجية 1064 nm و532 nm (Gamal and Abdel Harith, 1983; Gamal, 1988) . أما عند الأطوال الموجية 355 nm و 266 nm لم تعطي القيم المقاسة لعتبة شدة الاستضاءة توافقاً مع تلك المحسوبة باستخدام نفس النموذج العددي .

وفي عام 2000 أجريت دراسة عملية لتفسير الإنبعاث الطيفي الناتج عن انهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر (Hanafi et al , 2000) . ارتكزت هذه الدراسة على تعيين خصائص الإنبعاث الطيفي للغازات (الهيليوم والنيتروجين والأرجون بالإضافة إلى الهواء الجوي) ، كما تم تحليل التغير الزمني للانبعاث الطيفي وفقاً لآليات الإنبعاث (مستمر أو ذري أو أيوني) . حيث أشارت القياسات إلى تأثير ضغط الغاز على شدة استضاءة الانبعاث الطيفي .

ولدراسة عتبة شدة الإستضاءة اللازمة لإحتراق الغازات خلال تكون الشرارة الناتجة عن انهيار الغازات المستحثة بواسطة أشعة الليزر ، أجريت قياسات معملية (Tran X Phuoc ,2000) لتعيين عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لإنهيار كل من الهواء والغازات الجزيئية (الأكسجين والنيتروجين والميثان) . تم ذلك باستخدام مصدرأشعة ليزر النيودميوم ياج المحكم زمنياً (Q – Switched) والذي يعمل عند الأطوال الموجية 1064 nm و 532 nm بزمن نبضة طولها 5.5 nsec . وتمت القياسات لعتبة شدة الاستضاءة اللازمة للإنهيارعلى مدى من ضغط الغاز يتراوح ما بين 3040.0 Torr – 150.0، وأوضحت نتائج التجارب أن العلاقة بين ضغط الغاز وعتبة شدة الاستضاءة اللازمة للإنهيار تتغير على النحو التالي P^{-} $I_{th} \propto^{n}$ والتي تتوافق مع ظاهرة الانهيار بالتأين التدريجي الناتجة عن عملية الامتصاص العكسية لبرمشتراهلنج .

وقد وجد أن درجة اعتماد عتبة شدة الاستضاءة اللازمة للإنهيار على ضغط الغـــاز تكـــون بشكل واضح عند الطول الموجي 532.0 nm عنه للطول الموجي 1064.0 nm و يـــدل ذلـــك على أهمية تأثير عملية فقد الالكترونات خلال عملية الإنسياب .

ولأهمية ظاهرة انهيار الغازات المستحثة بواسطة أشعة الليزر من حيث الدور الذي تلعبه هذه الظاهرة في كثير من التطبيقات أتجه مجموعة من الباحثين لوضع نظريـــات ونمـــاذج عددية لتفسير الظواهر الفيزيائية المصاحبة لحالة انهيار الغاز ، وكيفية امتصـــاص الطاقـــة المصاحبة لأشعة الليزر في حيز التفاعل بواسطة ذرات (جزيئات) الغاز . على الرغم من أنه لأول وهلة كان الإعتقاد أن هذه الدراسة تستلزم استخدام ميكانيكا الكم في معالجة التفاعـــل بين فوتونات أشعة الليزر والوسط ، إلا أن هذه الدراسة اعتمدت على تعبيـــر مســـتمد مـــن الفيزياء الكلاسيكية (Brown ,1959) لتعيين العلاقة بين معدل امتصاص الطاقـــة بواســـطة الالكترونات الحرة والتردد المصاحب لمصدر أشعة الليزر المستخدم في ظاهرة الإنهيار. وقد سبق وضع هذه العلاقة لتحديد معدل اكتساب طاقة الالكترونات الحرة عند استخدام مصـــادر أشعة تقع في منطقة الميكروويف ، والتي تعتمد على معدل تبادل العزم بـــين الالكترونـــات الحرة و ذرات (جزيئات) الوسط ، وقد أمكن مد هذه العلاقة لتعمل عند الأطـــوال الموجيـــة المصاحبة لأشعة الليزر في المنطقة تحت الحمراء والمرئية وما فوقها حيث أستطاع الباحث براون (Brown ,1965) أن يثبت في دراسته أن هذه العلاقة تمثل عملية امتصاص طاقة أشعة الليزر بواسطة الالكترونات الحرة بطريقة عكسية لعملية برمشتراهلنج . ولذلك أطلق علـــى معالجة امتصاص طاقة أشعة الليزر بواسطة الالكترونات بالعملية العكسية لبرمشـــتراهلنج . وأشار إلى هذه العملية بأنها وصفاً كمياً لنظرية الميكروويف الكلاسيكية . كما وجد أيضا أن هذه النظرية يمكن تطبيقها عند استخدام مصادر ذات ترددات عالية ، وذلك لأمكانية قيـــاس امتصاص فوتون مفرد في زمن يقل عن مقلوب احتمالية الانتقال الحر– حر ، حيث أنـــه خلال هذا الزمن يمكن أن تحدث العديد من التصادمات بين الإلكترون والذرة .

وقد أجريت حسابات نظرية باستخدام (Zel`Dovich and Raizer ,1965) لتفسير ميكانيكية تأين الغاز تحت تأثير نبضات من أشعة الليزر ، حيث أخذ في الاعتبار في هـــذه الدراســـة التغير البطيء في شدة المجال الكهربي المصاحب للأشعة والذي يؤدي إلى الانبعاث البطيء للالكترونات الحرة . تحت هذه الظروف يحدث التأين بطريقـــة تدريجيـــة حيـــث تمـــتص

الالكترونات طاقة الفوتونات خلال عملية تصادم مرن مع ذرات الغاز المتعادلة لتكتسب كمية كافية من الطاقة يمكنها أن تأين الغاز . وأجريت الحسابات التقريبية لتحديد حركة تكوين التأين التدريجي آخذين في الإعتبار معظم العمليات الفيزيائية الهامة . وتمت مقارنة قيم عتبة شدة الإستضاءة اللازمة للإنهيار المحسوبة بهذا النموذج مع القيم المقاسة عملياً .

بالإضافة إلى ذلك في عام 1966 تمكن الباحث فيلبس (Phelps ,1966) من إجراء بعض الحسابات لتحديد عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغازات بواسطة أشعة ليزر الياقوت النبضي (زمن النبضة ~ 40 ns) مستخدما حل معادلة بولتزمان لدالة توزيع طاقة الالكترونات .

كما أجريت أيضاً دراسة لعملية الامتصاص العكسية لبرمشتراهلنج في مجالات ذات عالية الشدة (Pert,1972) باستخدام مدخلين مختلفين : هما تقريب بورون و النظرية الكلاسيكية . وتوصل الباحث لاستنتاج العلاقة بين النظرية الكلاسيكية والحسابات الكمية ، كما أوضحت نتائج هذه الدراسة الشروط التي تقترب فيها كلاً من ميكانيكا الكم والنظرية الكلاسيكية عند القيم المنخفضة لطاقة الفوتون المصاحب لأشعة الليزر ($h\upsilon << \varepsilon$ ، حيث ε هي طاقة الإلكترون) .

وفي عام (1972) قام الباحثان كرول و واتسون (Kroll and Watson ,1972) بإجراء بعض الحسابات لتحديد عتبة شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغازات الجزيئية . وأجريت الدراسة على كل من غازي النيتروجين والأكسجين آخذين في الاعتبار أن التكوين الجزيئي لكل من الغازين يشتمل على خمس مستويات طاقة الكترونية بجانب مستويات الإثارة الدورانية والاهتزازية للجزيء . وبناء على ذلك شملت الدراسة عدد من العمليات الفيزيائية التي تعمل على زيادة كثافة الالكترونات بجانب العمليات التي تعمل على فقدها أو فقد طاقتها . استخدمت في هذه الحسابات قيم مختلفة من الأطوال الموجية من مصادر أشعة الميكروويف ، وكذلك مصادر لأشعة الليزر تعمل في منطقة الأشعة تحت الحمراء (ليزر النيوديميوم ياج وليزر ثاني أكسيد الكربون) . وتوصلت نتائج هذه الدراسة إلى تفسير للعمليات الفيزيائية المصاحبة لانهيار كل من غازي النيتروجين و الأكسجين عند استخدام هذه المصادر حيث تم تحديد عتبة شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار لكل مصدر وتأثير

خواص المصدر من حيث الطول الموجي والتغير الزمني لخارج أشعة الليزر على ظـــاهرة الانهيار .

وتبع ذلك دراسة نظرية لحساب عتبة شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الهـــواء الجـــوي بواسطة كنفان ومجموعته (Canavan et al ,1972) باستخدام مصدر أشعة ليـــزر ثـــاني أكسيد الكربون النبضي ذو الطول الموجي $10.6\mu m$ وأجريت الدراسة لحساب عتبة شـــدة الاستضاءة كدالة في ضغط الغاز .

في سنة 1975 أوضح الباحث فريدلاند (Friedland , 1975) أنه عند استخدام أشعة ليـــزر ذات طاقة فوتون تزيد عن واحد إلكترون فولت ($h\upsilon$ >1.0 eV) ، فإنـــه يجـــب معالجـــة العمليات المصاحبة لظاهرة الانهيار باستخدام ميكانيكا الكم ، حيث أن المعالجة الكلاســـيكية تعطي قيما كبيرة للزمن اللازم لانهيار الغاز .

وتبع ذلك دراسات نظرية لدراسة التأين التدريجي للغازات المستحثة بواســـطة أشـــعة الليزر لتحديد عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز عند مدى واســـع مـــن ضغط الغاز . وقد أجريت الحسابات لنظرية التأين التدريجي لغازات مختلفة عند مدى واسع من ضغط الغاز (Louis –Jacquet and Decoster,1977 ; Afans`er et al,1979) .

ومن وجهة نظر أخرى في سنة 1980 قام الباحثان سنتياجو وروبنسون (Santigo and Robinson , 1980) بإعداد نموذج نظري يعتمد على عمليات التأين التدريجي المؤدي إلى انهيار غاز الأرجون بواسطة أشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون ، مع أخذ في الاعتبـــار قـــيم متغيرة لكثافة الالكترونات الابتدائية المتواجدة في حيز التفاعل قبل تشغيل مصـــدر أشـــعة الليزر. وأعطت نتائج القيم المحسوبة لعتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمـــة للانهيـــار توافقاً جيدا مع تلك القيم المقاسة عملياً عند نفس الشروط المعملية . وفي نفس العام وضـــع الباحثان ايفانس وجمال (Evans and Gamal, 1980) نموذجاً عددياً لتفسير ظـــاهرة التـــأين التدريجي المؤدي إلى حالة الإنهيار في الغازات باستخدام مصدر أشعة ليزر ذات عتبة شـــدة استضاءة عالية . اعتمد هذا النموذج على نظرية الميكروويف الكلاسيكية خلال الحل العددي لمعادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن لايجاد دالة توزيع طاقة الالكترونات وأشتمل النمـــوذج

على مفهوم انسياب الالكترونات على امتداد محور الطاقة ، كما أنه أخذ في الاعتبار تأين مستويات الإثارة الالكترونية للغاز المتكونة خلال التفاعل بواسطة التصادم الإلكتروني وكذلك امتصاص طاقة الفوتونات المصاحبة لأشعة الليزر . وتم تطبيق هذا النموذج على غاز الهليوم المشعع بواسطة ليزر الياقوت . وأعطت نتائج حسابات عتبة شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغاز توافقاً جيداً مع القيم المقاسة عملياً عند استخدام أشعة ليزر ذات نمط مفرد (Evans and Gamal 1984) .

في سنة 1985 أعد الباحثان ويل وروزين (Weyl and Rosen ,1985) دراسة عملية ونظرية لتفسير ظاهرة انهيار غاز الأرجون المستحث بنبضات من أشعة الليزر ذات الطول الموجي 350 nm . وقد تم تحليل العمليات الفيزيائية التي تؤدي إلى انهيار غاز الأرجون باستخدام عتبة شدة استضاءة تقع في المدى من $(10^{9} - 10^{12})$ W/cm^2 . وأهتم النموذج بتحديد عتبة شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغاز باعتبار عمليات التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات لذرات الغاز المتعادلة ، وكذلك التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات لمستويات الإثارة الناتجة عن التصادم الإلكتروني . وعند زيادة كثافة الإلكترونات إلى قيم تتخطى 10^{14} cm^{-3} أخذ في الاعتبار عملية إعادة الاتحاد بين الإلكترونات الحرة والأيونات الموجبة . بالإضافة إلى ذلك أخذ في الاعتبار عملية تكوين الجزيئات وتفككها عن طريق إعادة الاتحاد والتفكك بالامتصاص الفوتوني ، وتأين الذرات أو الجزيئات المتكونة بالامتصاص متعدد الفوتونات . كما أجريت التجارب العملية التي أستخدم فيها التوافقية الثالثة لمصدر ليزر النيوديميوم ياج ذات زمن النبضة 15.0 nsec لتعطي عتبة شدة استضاءة لإنهيار الغاز في حدود 10^{10} W/cm^2 عند الضغط الجوي . وأعطت النتائج المحسوبة لعتبة شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار توافقاً مع قيم عتبة شدة الإستضاءة المقاسة في هذه التجربة .

في سنة 1987 قام الباحثان روزين و ويل (Rosen and Weyl , 1987) بإجراء تفسير عملي ونظري لظاهرة انهيار الغازات المستحثة بواسطة أشعة ليزر ذات أطوال موجية 530 nm و 350 nm . وطبقت هذه الدراسة على كل من غاز النيتروجين الجزيئي ومجموعة الغازات الخاملة (أرجون ونيون وزينون) باستخدام مصدر من ليزر النيوديميوم ياج يعمل بنبضة مداها 15.0 nsec . وتم قياس عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز على مدى من ضغط الغاز يتراوح ما بين 15.0 - 0.2 ضغط جوي ، وأعطت النتائج العملية

قيمة عتبة شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار عند ضغط يساوي 3.0 ضغط جوي وتتراوح مابين ($2.0\times10^{10}W/cm^2 - 5.0\times10^{11}W/cm^2$) لمجموعة الغازات عند كل من الطولين الموجيين المستخدمين في هذه الدراسة . كما أعطت هذه الحسابات النظرية توافقاً مع القيم المقاسة عملياً لعتبة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة للانهيار لكل من الطولين الموجيين . وأشارت هذه الدراسة أن الانهيار يتم خلال التأين التدريجي بدلا من الامتصاص متعدد الفوتونات .

وامتداداً لهذه الدراسات أجريت الحسابات (Xin Miao Zhao et al ,1995) باستخدام أشعة ليزر ذات النبضات المتناهية في القصر (200.0 ps) ذات الطول الموجي الذي يعمل في المنطقة فوق البنفسجية للحصول على تفريغ كهربي في الهواء الجوي ، ودراسة تأثير غاز الأكسجين على ظاهرة الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر. بالإضافة إلى تحديد العمليات المسئولة عن إنتاج الإلكترونات الابتدائية اللازمة لبدء عملية التفريغ الكهربي وكيفية تكوين مناطق الانهيار. واتفقت نتائج الحسابات مع النتائج المعملية التي أجريت في نفس الدراسة .

وفي عام 1995 قام الباحثان تاكاهاشي ونيشيجاما (Takahashi and Nishijima ,1995) بتقديم تفسير نظري لعملية الانهيار الكهربي للهواء المستحث بواسطة نبضات ذات شدة عالية من حزم أشعة الليزر، واستخدم في ذلك نموذج محاكاة حسابي يشتمل على كلاً من معادلة بولتزمان ومعادلات المعدل . وأجريت الحسابات باستخدام مصادر مختلفة لأشعة الليزر بأطوال موجية مثل أشعة ليزر الأكسايمر (كلوريد الزينون XeCl) ذا الطول الموجي 308.0 nm و ليزر الياقوت ذا الطول الموجي 694.0 nm وليزر النيوديميوم ياج ذا الطول الموجي 1060.0 nm وليزر ثاني أكسيد الكربون ذا الطول الموجي 10.6 µm . وأوضحت نتائج هذه الدراسة تطابقاً بين القيم المحسوبة والقيم المقاسة عملياً (Takahashi and Nishijima ,1994) لعتبة شدة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة للانهيار الكهربي للغاز كدالة في الطول الموجي ، كما أعطت أيضا تفسيراً مفصلاً للظواهر الفيزيائية المصاحبة لظاهرة الانهيار.

في سنة 2000 قامت مجموعة من الباحثين (Francois Vidal et al , 2000) بوضع نموذج لدراسة العمليات الفيزيائية المصاحبة لبدء إشعال الموجات التأينية المستحثة بواسطة

نبضات متناهية القصر من أشعة الليزر المجمعة في الهواء عند ضغط 350.0 Torr داخل أنبوبة تفريغ يؤثر عليها مجال كهربي منتظم . وأعطى النموذج وصفاً للتفاعل بين نبضة أشعة الليزر والهواء آخذاً في الاعتبار بعض التفاعلات التي تحدث بين أشعة الليزر والمناطق المتأينة في الهواء ، وكذلك تمدد هذه المناطق على امتداد نصف قطر الأنبوب . وأوضحت نتائج الحسابات زيادة شدة المجال الكهربي اللازم للحصول على موجات تأينية مع زيادة دالة التأخر بين نبضة أشعة الليزر ونبضة المجال الكهربي . كما وجد أن شدة المجال الكهربي اللازم للحصول على موجات تأينية تنخفض بانخفاض طاقة أشعة الليزر . وأشارت نتائج الحسابات أيضا بأن كل من درجة حرارة الالكترونات وكثافة الموجات التأينية ونصف قطر الأنبوب والتوصيل الحراري خلال الأنبوب ، وحدود مناطق التأين تلعب دوراً هاماً في كفاءة تكون الموجات التأينية المستحثة بواسطة أشعة الليزر . وقد تم مقارنة نتائج الحسابات بالنتائج العملية المتاحة .

ومن جانب آخر في عام 2001 أجريت دراسة نظرية عن العمليات الفيزيائية التي تصاحب ظاهرة انهيار الغازات ذات الكهربية السالبة بواسطة أشعة الليزر تغطي مدى واسع من الأطوال الموجية (Gamal and Omar , 2001) في هذه الدراسة تم تطبيق نموذج التدرج الالكتروني الذي سبق وضعه بواسطة أيفانس وجمال (Evans and Gamal ,1980) والذي أعتمد على الحل العددي لمعادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن لحساب دالة توزيع طاقة الالكترونات بالإضافة إلى معادلات المعدل التي توصف معدل تغير كثافة مستويات الإثارة الالكترونية للجزيئات . وأخذ النموذج في الاعتبار جميع العمليات الممكنة التي يتوقع حدوثها أثناء التفاعل بين الالكترونات والجزيئات والفوتونات المصاحبة لأشعة الليزر. وأجريت الحسابات تحت الشروط المعملية لتجربة ديفز ومجموعته (Davis et al ,1991) التي أستخدم فيها غاز الأكسجين عند مدى من ضغط الغاز يتراوح مابين 20-760 Torr تم تشعيعه بواسطة نبضات من أشعة ليزر النيوديميوم ياج التي تعمل بأطوال موجية تغطي مدى الأشعة تحت الحمراء إلى الأشعة فوق البنفسجية ، وأكدت النتائج الحسابية صلاحية النموذج العددي لتفسير القياسات العملية بين عتبة شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار غاز الأكسجين وضغط الغاز على مدى الأطوال الموجية المختبرة معملياً . كما أنها أعطت تفسيراً للعمليات الفيزيائية المصاحبة لظاهرة الانهيار ومدى مساهمتها عند كل طول موجي .

وفي عام 2004 أجرى سوباك ومجموعته (Soubacq et al , 2004) قياسات عن البلازما المتكونة في الهواء بواسطة ليزر النيوديميم ياج عند ضغوط مختلفة ، كما تم نمذجة تكون البلازما بأشعة الليزر، ووصف طور التاين الإبتدائي باستخدام معادلات تفاضلية متغيرة مع الزمن والتي تم حلها باستخدام نموذج كرانك ونلسون ذو الرتبة الثانية . بالإضافة لذلك فقد تم وصف ديناميكية الطور التابع كموجة تصادمية قوية تمتد لخارج الحجم البؤري والتي تم محاكاتها باستخدام نموذج حسابي للتدفق المنضغط في بعدين . وتم تحليل التكون الزمني للضغط ودرجة الحرارة وكثافة الالكترونات وسرعاتها ومقارنتها مع القياسات المعملية وأعطيت قيمة متوسطة لكثافة الالكترونات المقاسة خلال طريقة تداخل للمقدار $n_e=3\times10^{18}cm^{-3}$ والتي ارتبطت بالنتائج المحسوبة .

وكتطبيق لدفع الليزر للمركبات في منطقة الإستراسوسفير strasosphere اقترح الباحث أوجاتا ومجموعته (Ogata et al,2004) نظام دفع متكرر ذو احتكاك قليل مع البيئة وقد اقترح خزان خاص للمياه لمد كمية محدودة من المياه عند زمن تعريض لأشعة الليزر. وتم اختبار هذا النظام للجسم المرفوع على تدفق الهواء والذي يسمى بمزحلق الهواء حتى يمكن محاكات بيئة قليلة الاحتكاك . ولتحاشي تبخر وتجمد الماء عند الضغوط الجوية المنخفضة فرض نظام ستائرهوائية . وقد أكدت المحاكاة العددية و القياسات المعملية أن كمية صغيرة من تدفق الهواء يمكن أن تتحمل الضغط العالي داخل خزان المياه .

في عام 2007 قام كامكو ومجموعته (Camacho et al ,2007) بتفسير البلازما ذات النطاق الواسع التي تم الحصول عليها من غاز النيتروجين عند حرارة الغرفة ، ومدى من الضغط يتراوح مابين(26.0 Torr - 760 Torr) تم تشعيعة بواسطة مصدر ليزر ثاني أكسيد الكربون ذو القدرة العالية للحصول على الانهيار البصري في الغاز . وتم قياس وتحليل التكوين الزمني للإنبعاث الطيفي للبلازما المتكونة لغاز النيتروجين . وقد وجد أن طيف البلازما المتكونة يسوده انبعاث قوي من أيون النيتروجين الذري وذرات النيتروجين المتعددة وخطوط ذرية ضعيفة للأيون ثنائي الشحنة للنيتروجين الذري . أما الملامح الجزيئية فأوضحت طيف لأيون النيتروجين الجزئ N^+_2 ، وانبعاث ضعيف جدا لجزئ النيتروجين المتعادل N_2 . كما أشارت القياسات بتقدير قيمة محسوبة لدرجة حرارة الاثارة تساوي 21000±1300K ، وذلك باستخدام الشدة النسبية للخطوط الطيفية لذرة النيتروجين المؤينة

بفرض اتزان ديناميكي حراري موضعي . كما تم تعيين عتبة شـــدة الإستضـــاءة اللازمـــة للإنهيار البصري لغاز النيتروجين عند طول موجي 9.621µm بالإضافة إلى لذلك أجريت دراسة العمليات الفيزيائية الأساسية اللازمة لتأين الغاز للوصول إلى حالـــة انهيـــار غـــاز النيتروجين المستحث بواسطة أشعة الليزر في مدى من عتبة شدة الاستضاءة يتراوح ما بين $0.4 - 4.5\ Gwcm^{-2}$. وقد أوضحت المشاهدات المعملية أنه على الرغم من أن الالكترونـــات الأولية يجب أن تتولد خلال عملية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات أو التأين الطبيعي إلا أن التدرج الالكتروني هو الآلية الأساسية المسؤولة عن انهيار غاز النيتروجين المستحث بواسطة أشعة الليزر .

3–1 تطبيقات لظاهرة الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر

1.3 Applications of laser induced breakdown phenomenon

إن ظاهرة انهيار الغازات المستحثة بواسطة أشعة الليزر هي عملية هامة فـــي علـــوم الليزر وتقنياته ، حيث أن تكون مناطق ذات كثافة عالية من الالكترونات عند درجة حرارة مرتفعة في حيز التفاعل عند بؤرة العدسة المجمعة لأشعة الليزر وجد العديد من التطبيقـــات في المجالات العلمية والعملية . كما أن تحديد عتبة شدة استضاءة أشـــعة الليـــزر اللازمـــة لانهيار الغازات تمثل الحد الأعلى لعتبة شدة الاستضاءة التي دونها يمكن لأشعة الليـــزر أن تنتشر خلال الأوساط الغازية دون أن تؤدي إلى انهيارها . بالإضافة إلى ذلك فـــأن دراســـة انهيار الغازات يمثل الخطوة الأولى للإنهيار المحكم المتولد بواسطة أشعة الليـــزر (Haught and Polk ,1966 ; Nuckolls et al ,1973; Bruechner and Jorna,1974) . كما يمكن أيضـــا أن يؤدي انهيار الغاز إلى الحد من عمل الليزر الغازي وذلك عندما تتجاوز شـــدة الأشـــعة داخل مذبذب الليزر ذاته حد عتبة الشدة اللازمة لانهيار الغاز (Berger and Smith ,1972).

ومن أهم التطبيقات التي استخدمت فيها المناطق المتأينة الناتجة عن انهيـــار الغـــازات بواسطة أشعة الليزر هو الحصول على أشعة سينية ذات عتبة شدة استضاءة عالية مـــن هذه المناطق (Silifvast and Wood,1975) . كما أمكن استخدام الانبعاث الطيفي المصاحب لمناطق التأين في منطقة الأشعة فوق البنفسجية كمصدر لضخ ليزر الصبغة (Laporte et

(1987, al حيث وجد أنه يمثل مصدراً ضوئياً له زمن ارتفاع سريع وعالي الشدة ، والذي أمكن استخدامه في كثير من التطبيقات .

وعلاوة على ذلك تم استخدام أشعة الليزر ذات عتبة شدة الاستضاءة العالية للحصول على كثافة عالية من الالكترونات في منطقة الانهيار لبدء عملية التفريغ الكهربي بين قطبين في حيز مفرغ ، وكذلك في حيز غازي لاستخدام هذه الظاهرة كمفاتيح للشرارة الكهربية (Spark Switches) ، (Guenther and Bettis ,1978 ; Kumar and Thareja ,1992) .

كما استخدمت هذه الظاهرة أيضاً في عملية إعادة دمج البلازما باستخدام مصادر لأشعة الليزر تعمل بأطوال موجية تحت الحمراء (Silfvast et al ,1979) والأشعة فوق البنفسجية الفراغية (Chenais Popovics et al ,1987 ; Key and Mod , 1988) .

ومن التطبيقات التكنولوجية الهامة لهذه الظاهرة هو استخدام أشعة ليزر ذات عتبة شدة استضاءة عالية لتؤين الغازات والتي يتولد عنها قوة دفع عالية تستخدم في القواعد الأرضية للصواريخ لدفعها إلى الفضاء الخارجي . في هذه الحالة يتم تركيز شعاع الليزر في نفاث الصواريخ حيث يؤدي ذلك لإرتفاع درجة حرارة الوقود إلى درجة عالية جداً تعمل على تسخين الغاز وإعطاءه قوة دفع تعادل قوة محرك يعمل بكفاءة عالية ، وتزيد بكثير عن تلك القوة التي يمكن الحصول عليها عن طريق العبوات الكيميائية الدافعة (Weyl et al ,1982) .

ومن أهم التطبيقات التي استخدمت فيها هذه الظاهرة لخدمة البشرية هي قدح البرق ، حيث أن أشعة الليزر ذات عتبة شدة الاستضاءة العالية الناتجة من مصدر غاز ثاني أكسيد الكربون والتي وجد أنه يمكنها الانتشار في الجو لمسافات بعيدة ، أمكن استخدامها في تحديد مسار البرق وتفريغ شحنته (Xin Miao et al ,1995) ، وذلك نظرا لخطورة البرق على الطائرات والصواريخ التي ربما تتواجد بالقرب من سحب مكهربة حيث تؤدي هذه السحب لتحطيم كلاً منهما إذا قدح البرق عفويا . بالإضافة إلى ذلك فإن العواصف الرعدية تؤثر على مركبات الفضاء بالرغم من الاهتمام في تصميمها ، ويعتبر المجال الكهربي في السحب ذو شدة ضعيفة للحد الذي لا يمكنه أن يطلق البرق من نفسه . وعلى

الرغم من ذلك فإن شدته يمكنها من تعزيز البرق بعد أن يبدأ بفعل الصـــاروخ . ولحمايـــة عمليات النقل الجوي بالإضافة إلى حماية المنشآت الأرضية مثل محطات الطاقـــة العاليـــة وعمليات التنقيب عن المعادن ، فإنه من المهم أن تكون هناك قدرة على تحديـــد ومعرفـــة السحب الحاملة للشحنات الكهربية وإمكانية تفريغ شحنتها . وهذا ما تفعله أشعة الليزر عند توجيهها نحو السحب المشحونة لتفريغ شحنتها خلال عملية التأين وكذلك التحكم فـــي مسار هذه السحب .

وأخيراً استخدمت ظاهرة الانبعاث الطيفي الناتج من مناطق الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر للكشف عن المحتوى الكربوني في البيئة عند ارتفاع كلاً من درجـــة الحـــرارة والضغط (Noda et al, 2002) . واستخدمت تقنية الانبعاث الطيفي مـــن منـــاطق الانهيـــار للكشف عن الكربون في الرماد المنتشر في الهواء الجوي والفحم المحتـــرق عنـــد درجـــات حرارة وضغط عالية . كما تستخدم أيضا هذه التقنية في الكشف عن الكربون في محطـــات القوى وذلك باختبار تأثير مكونات الغاز للحصول على أنسب معاملات يمكن أن تعمل بهـــا هذه المحطات .

1-4 الهدف من البحث

من استعراض الدراسات السابقة يتضح أن هناك اهتماما كبيراً من قبل الباحثين بدراسة انهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر ، وذلك لتحديـــد خصـــائص أشـــعة الليـــزر وعلاقتها بالظواهر الفيزيائية التي تصاحب تأين الغاز للوصول به إلى حالة الإنهيار. وأتجه الباحثون لدراسة هذه الظاهرة في الهواء لما لها من تطبيقات هامة من حيث تحديد عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر التي يمكنها أن تنتشر في الهواء الجوي دون أن تؤدي إلى انهياره ، ولهذا التطبيق أهمية كبيرة لاستخدام أشعة الليزر في أجهزة الليدار (LIDAR) التي تقـــوم بقياس تلوث الهواء . كما أنها ذات أهمية أيضاً لتفريغ السحب المشحونة وتوجيهها والتحكم في عملية قدح البرق ومحاولة إبعاده عن المنشآت ذات الخطورة العالية مثل محطات الجهـــد العالي .

ومن هذا المنطلق تركزت الدراسات العملية لقياس وتحديد خصائص أشعة الليزر اللازمة لانهيار كل من غازي النيتروجين والأكسجين كمكونات للهواء الجوي . وعلى الرغم من أن هذه التجارب أعطت نتائج لقيم عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر ذات الخصائص المختلفة من حيث الطول الموجي وزمن النبضة ، إلا أن هذه النتائج أعطت سلوكاً متعارضا لم يتم تفسيره على أسس فيزيائية حيث أنه عند استخدام مصدر لأشعة الليزر يعمل في المنطقة تحت الحمراء البعيدة فان قيم عتبة شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار غازي النيتروجين والاكسجين غير منتظمة مع الطول الموجي وذلك عند الأطوال الموجية 1064.0 ns 266.0, 355.0, 532.0, (Davis et al 1991) .

ومثال لذلك التجربة التي أجريت بواسطة ديفز ومجموعته لتحديد شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار غاز النيتروجين باستخدام أطوال موجية ذات مدى واسع ، حيث أوضحت هذه التجربة تغيراً غير منتظماً لشدة استضاءة أشعة الليزر مع الطول الموجي عند قيم لضغط الغاز تغطي مدى من (760 Torr - 25) (Davis et al 1991) ولم يتمكن الباحثين من أعطاء تفسيراً فيزيائياً لهذه الظاهرة.

بالإضافة إلى ذلك عند استخدام مصدر لأشعة ليزر يعمل في المنطقة تحت الحمراء البعيدة أعطت نتائج تغير عتبة الشدة مع الطول الموجي التي أجريت لكل من ديفيز وسيركار و تاكاهاشي و نيشي جاما (Dives et al,1991 ; Sircar et al ,1996 ; Takahashi and Nishijma ,1995) تعارضا بين التغير في عتبة شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغاز كدالة في الطول الموجي . وعلى الرغم من نجاح بعض الدراسات النظرية في تفسير هذا التعارض عند الأطوال الموجية القصيرة والتي أعزيت إلى مساهمة العمليات الفيزيائية في ظاهرة الانهيار ، إلا أنه عند الأطوال الموجية الطويلة حيث أوضحت القياسات العملية لكل من (Hill et al , 1972 ; Camacho et al , 2007) انخفاضا ملحوظا في قيمة عتبة شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار غاز النيتروجين . لذلك كان من الضروري اجراء دراسة نظرية لمحاولة تفسير هذا التعارض في القياسات المعملية وهذا هو الهدف من البحث .

بناءً على ذلك ، يتجه البحث إلى تفسير الظواهر الفيزيائية المصاحبة لإنهيار غاز النيتروجين المستحث بواسطة أشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون . لعمل ذلك تم تطوير

نموذج عددي وضع سابقاً بواسطة إيفانز وجمال (Evans and Gamal ,1980) لدراسة التدرج الالكتروني المصاحب لظاهرة انهيار غاز الهليوم بواسطة أشعة ليزر الياقوت . وتم تطويره بواسطة جمال ومجموعته (Gamal et al ,1987) . يعتمد هذا النموذج على الحل العددي لمعادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن لإيجاد دالة توزيع طاقة الإلكترونات آخذين في الاعتبار معظم العمليات الفيزيائية التي تحدث عند تفاعل جزيئات الوسط والإلكترونات الحرة وفوتونات أشعة الليزر .

في هذا البحث سوف نهتم بدراسة خصائص أشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون اللازمة للوصول بغاز النيتروجين الجزيئي إلى درجة الانهيار عند بؤرة العدسة المجمعة للأشعة في غرفة التفاعل عند قيم مختلفة لضغط الغاز ، وذلك لتحديد العمليات الفيزيائية المختلفة التي تمتص بها طاقة أشعة الليزر في الغاز لتؤدي به إلى حالة الانهيار . ويتم ذلك باستخدام النموذج العددي لحساب عتبة شدة الاستضاءة اللازمة لإنهيار الغاز ومقارنة هذه القيم مع قيم عتبة الشدة المقاسة عملياً بأخذ في الإعتبار الظروف المعملية التي أعطيت بواسطة كامكو ومجموعته (Camacho et al , 2007) عند حساب قيم عتبة الشدة حيث استخدم مصدر لأشعة ليزر يعمل بطول موجي 9.621 µ m وطول نبضة 60 ns لتشعيع غاز النيتروجين الجزيئي على مدى من ضغط الغاز يتراوح ما بين 760 Torr 26.3 Torr –. و بناء على هذه القياسات أخذ في الاعتبار التأثير المشترك للعمليات الفيزيائية المتوقع حدوثها في منطقة الإنهيار أولا لتحديد قيمة عتبة شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار كدالة في ضغط الغاز ومقارنتها مع النتائج المقاسة عمليا ومن ثم دراسة تأثير كل من هذه العمليات الفيزيائية على حده على دالة توزيع طاقة الالكترونات ومعاملاتها .

يقدم الباب الثاني شرحاً تفصيلياً لخصائص أشعة الليزر وعلاقتها بالآليات المصاحبة لظاهرة الانهيار البصري . بينما الباب الثالث يوضح عرضاً لبعض النماذج العددية التي سبق وضعها لتفسير ظاهرة التأين التدريجي للغاز المستحث بواسطة مصادر مختلفة من أشعة الليزر و المؤدي إلى حالة انهيار الغاز .

وفي الباب الرابع يتم شرح النموذج العددي المستخدم في هذا البحث وكيفية تطويره وتطبيقه لتفسير الترابط بين خصائص أشعة الليزر والعمليات المختلفة التي يتم فيها امتصاص طاقة الأشعة بواسطة جزيئات الغاز.

أما الباب الخامس فيعرض نتائج حسابات النموذج العددي ومناقشـــتها ، ويعـــرض البـــاب السادس الاستنتاجات ونظرة مستقبلية لمتابعة هذه الدراسة .

وتذيل الرسالة بالمراجع وثلاث ملاحق وملخصاً للرسالة باللغة الإنجليزية .