الفصل الأول
Chapter (1)

مقدمة ومسح مرجعي

Introduction and literature survey

1-1 مقدمـــــة

1-1 Introduction

خلال العقود الأخيرة من القرن الماضي تطورت أجهزة الليزر تطوراً كبيراً وحظيت باهتماماً كثيراً عن وصفها مجرد اختراع يبحث عن تطبيق إلى جهاز تكنولوجي هام . صاحب ذلك تغيراً ملحوظاً في مفاهيم كثير من العلوم والتكنولوجيا وخاصة في مجال البصريات , مما أدى إلى التطور السريع في الصناعات الحديثة التي تهتم بدراسة علوم الحياة life science . وتركز الاهتمام باستخدام هذه الأشعة في المجالات المختلفة على المواصفات التي تتميز بها أجهزة الليزر من حيث أنها تعمل بصفة انبعاث مستمر أو انبعاث نبضي ذات نبضات تتراوح ما بين مئات من النانو ثانية وحتى عشرات الفيمتو ثانية أو دون ذلك . بالاضافة إلى أن الحزم الضوئية المنبعثة من أجهزة الليزر تتصف بخواص اتجاهيه مميزة تمكنها من الوصول إلى سطح القمر دون أن تعاني من امتصاص أو تشوه في جبهة الموجة . من هنا كان استخدام أشعة الليزر في القياسات الدقيقة يعطي من الدقة ما لم تستطيع الأجهزة التقليدية القيام به , مثال لذلك استخدام أشعة الليزر لقياس التشوه في الأسطح المهتزة بدقة تصل إلى أجزاء من البليون للمتر الواحد . كما وجد أيضاً أن هذه الأجهزة يمكنها أن تعمل بقدرات مختلفة تتراوح ما بين الملي وات والجيجا وات أو أكثر من ذلك .

بناءاً على هذه المواصفات كان من الطبيعي أن يلاقي هذا الاختراع اهتماماً كبيراً في التطبيقات المختلفة منذ ظهوره (Maiman ,1960) وإلى الآن, حيث تتابعت الأبحاث للحصول على أجهزة ليزر تستخدم أوساط منشطة تمثل الحالات المختلفة للمادة مثل الحالة الغازية (ليزر الهليوم-نيون وليزر ثاني أكسيد الكربون) , والحالة السائلة (ليزر الصبغات), والحالة الشبه موصلة (ليزر الجاليوم ارسينيت), والحالة الصلبة (ليزر الياقوت أو النيوديميوم الزجاجي أو النيوديميوم ياج), بجانب حالة البلازما مثل ليزر الأرجون الأيوني .

وقد أخذت أجهزة الليزر أشكالاً وأحجاماً متعددة حيث أمكن لجهاز الليزر أن يكون صغيراً جداً كما هو الحال في ليزر أشباه الموصلات , كما توجد منها ايضاً ما يملأ غرفة بأكملها مثل ليزر ثاني أكسيد الكربون ذو القدرة العالية . بجانب ذلك يوجد ما هو متوسط الحجم مثل ليزر الهليوم نيون و النيوديميوم ياج و ليزر الأرجون وليزر النيتروجين وغيرها والتي يمكن أن تعمل بطريقة مستمرة أو نبضية(Oshea et al ,1977) .

وأدى التطور السريع المتلاحق في هذه الأجهزة الحصول على أشعة تغطي مداً واسعاً من الأطوال الموجية ذات قيم متفاوتة من حيث القدرة أو شدة الاستضاءة المصاحبة لها , مما زاد من الاهتمام باستخدام هذه الأشعة في التطبيقات المتعددة سواء كان ذلك في المجالات العلمية أو العملية . بجانب استخدامها أيضاً في الحياة اليومية . من هنا كان المستقبل لاستخدامات هذه الأشعة ليس له حدود وعليها كان من الطبيعي أن يطلق على هذا العصر بعصر أشعة الليزر.

وغطت تطبيقات هذه الأشعة مجالات مختلفة , ففي الصناعة أمكن استخدام أشعة ليزر مركزة ذات طاقة حرارية عالية لقطع ولحام المواد ذات الصلابة العالية. أما في الطب فكان لهذه الأشعة اللمسات الخفية في إزالة الآلام حيث أجريت عمليات جراحية دقيقة في طب العيون والمسالك البولية والأمراض الجلدية وكذلك طب الفم والأسنان وغيرها باستخدام مصادر مختلفة لأشعة الليزر .

بالإضافة إلى ذلك لا يمكن إخفاء الدور الفعال الذي لعبته هذه الأشعة في خدمة الإنسانية واكتشاف مدى التلوث البيئي الذي يهدد بقاء البشرية والكائنات الحية وخاصةً مع التقدم

التكنولوجي الذي هو سلاح ذو حدين . حيث كان لأشعة الليزر الفضل الكبير في قياس وتحديد نسب التلوث وإدراكها حتى يمكن التغلب عليها والوقاية منها .

وقد وجد أن كل هذه التطبيقات التي لعبت فيها أشعة الليزر دوراً فعالاً للوصول إلى الغرض المطلوب سواء كان ذلك قطع أو لحام أو تفتيت أو غيره اعتمدت أساساً على فكرة علمية واحدة وهي تفاعل أشعة الليزر مع الأوساط المختلفة Laser interaction with matter . ويتوقف هذا التفاعل على خصائص أشعة الليزر من حيث الطول الموجي , شدة الاستضاءة , والتغير الزمني لها , وكذلك على نوع الوسط المتفاعل . وقد وجد أنه عند شدة الاستضاءة العالية فان تفاعل أشعة الليزر المجمعة بواسطة عدسة يؤدي إلى تأين سريع للوسط في حيز التفاعل عند بؤرة العدسة المجمعة . وعند قيمة محددة لشدة الاستضاءة يتحول هذا الحيز المتناهي الصغر (10^{-4} - 10^{-9} cm^3) إلى منطقة متوهجة ذات وميض يميز نوع الوسط . وأطلق على هذه الظاهرة بظاهرة انهيار الوسط المستحث بواسطة أشعة الليزر Laser induced breakdown in a medium . وتم اكتشاف هذه الظاهرة منذ الحصول على مصادر لأشعة الليزر ذات مخرج محكم Q-Switched يعطي شدة استضاءة عالية تمكنها من تحويل الوسط عند بؤرة العدسة من وسط عازل يسمح بمرور الأشعة إلى وسط ممتص للأشعة عالي التوصيل له وميض ذاتي . ويحدث هذا التحول خلال زمن النبضة والتي غالباً ما تتراوح بين عشرة أو بعض العشرات من النانو ثانية أو حتى أقل من ذلك . ونظراً لصغر هذا الزمن فقد اعتمدت بعض الدراسات المعملية على ملاحظة الشرارة الكهربية المتولدة في هذا الحيز الصغير بالعين المجردة كدليل للوصول إلى حالة الانهيار, حيث أنه من الضروري استخدام أجهزة كشف ذات سرعة استجابة عالية تتوافق مع زمن النبضة.

تمت دراسة هذه الظاهرة بواسطة العديد من الباحثين في معامل بحثية مختلفة من بينهم الباحث ميكر ومجموعته (Maker et al,1963) . وتبع ذلك مجموعة أخرى من الباحثين في الولايات المتحدة (Meyerand and Haught ,1963) بالإضافة إلى مجموعة الباحثين بالاتحاد السوفيتي (Zeldovich and Raizer,1965) والتي أعطت بعض المواصفات لمنطقة التأين كما سنوضح في المسح المرجعي .

2-1 المسح المرجعي

1-2 Literature survey

أهتم الفيزيائيين بدراسة ميكانيكية التفاعل بين أشعة الليزر والمواد حيث اتجهت الدراسات لتحديد شدة استضاءة أشعة الليزر وتغيرها مع الطول الموجي وزمن النبضة المصاحب لها وكذلك ضغط الغاز وحجم حيز التفاعل . أضافت هذه الدراسات الكثير من المفاهيم الفيزيائية الحديثة في علم البصريات اللاخطية وكذلك علم الأطياف . وقد لوحظ أن تحول المادة من الحالة العازلة إلى الحالة الموصلة تحت تأثير أشعة الليزر يصاحبه انبعاث طيفي شديد في منطقة التأين يكاد في طبيعته يشبه كرة النار(Fire ball) كتلك التي تصاحب التفاعلات النووية (Kidder ,1968 and Bakos ,1974)

أوضحت نتائج عدد من الدراسات كيفية الحصول على كثافة عالية من الإلكترونات تتخطى 10^{13} cm^{-3} , عند درجة حرارة تصل إلى مليون كلفن, غالباً ما ينتج عنها مجالات مغناطيسية عالية الشدة داخل منطقة التأين (Askar'yan et al ,1967). أكد ذلك التقارير المتلازمة التي أثبتت انبعاث الإلكترونات والأيونات وتكوين مناطق عالية التأين عند الأسطح الصلبة , في كلاً من الفراغ والوسط الغازي باستخدام أشعة ليزر محكمة المخرج أو غير محكمة (Honig ,1963 and Isenor ,1964) .

اتجهت الدراسات إلى تفسير ميكانيكية التفاعل بين أشعة الليزر والأوساط المادية وذلك بدراسة العمليات الفيزيائية المسئولة عن إنتاج كثافة عالية للإلكترونات في حيز التفاعل , وعلاقتها بكلاً من شدة أشعة الليزر والطول الموجي أو التردد وكذلك طول زمن النبضة .

طرحت هذه الظاهرة العديد من التساؤلات المحيرة حيث لم يكن من الواضح في ذلك الحين كيف يمكن لفوتون أشعة الليزر $h\upsilon$ ذو طاقة منخفضة (ليزر الياقوت $h\upsilon = 1.78$ eV) أن يتفاعل مع وسط ما له طاقة إثارة أو تأين تزيد عن 10 eV . بالرغم من ذلك أثبتت النتائج المعملية الحصول على كثافة عالية من الإلكترونات عند بؤرة العدسة المجمعة تحت التأثير المفرد لأشعة الليزر كما أكد ذلك ايضاً الدراسات النظرية .

1-2-1 ظاهرة الانهيار و تكون البلازما

1-3 Breakdown phenomenon and plasma formation

في عام 1963 سجل العالم تهران ومجموعته (Tehran et al ,1963) أول تقرير عن ظاهرة الانهيار , أشار فيه أنه من الممكن تكون مناطق عالية التأين (بلازما) عند بؤرة العدسة المجمعة لأشعة الليزر في الهواء تحت التأثير المفرد لهذه الأشعة . أوضحت هذه التجربة أنه خلال تفاعل أشعة الليزر مع الهواء الجوي عند بؤرة العدسة يتحول الهواء من وسطاً عازلاً للكهربية منفذ للأشعةإلى وسط ذو درجة توصيل عالية , ممتص للأشعة لا يسمح بنفاذها , له وميض ذاتي ببريق ساطع ذو لون أبيض يميل إلى الزرقة. يصاحب ذلك ضجيج حطام مميز نتيجة لانتشار موجات تصادمية في الهواء المحيط , وفي بعض الظروف تتكون أكثر من منطقة تأين عند بؤرة العدسة بواسطة شعاع الليزر المفرد .

غالباً ما تأخذ البلازما المتكونة في الغاز عدة مظاهر فيزيائية تعتمد على أبعاد حزمة الليزر والنظام البصري المستخدم لتجميعها , وكذلك التغير البعدي والزمني لنبضة الليزر . وكان من المحير تفهم مما تتكون هذه البلازما وكان من المحير أكثر تفسير تكون أكثر من منطقة بلازما عند بؤرة العدسة المجمعة.

من البديهي التوقع أن المناطق التي تشغلها البلازما تناظر تلك المناطق التي يكون فيها المجال الكهربي ذو شدة عالية , له مقدرة على إحداث نمو أيوني. أما المنطقة التي لا تتواجد فيها البلازما فهي المنطقة التي تكون عندها شدة المجال الكهربي منخفضة جداً أو مساوية للصفر . تشبه هذه المناطق نموذج التداخل الذي يمثل توزيع شدة استضاءة الأشعة , ففي حالة التداخل البناء تكون شدة المجال أعلى ما يمكن بينما في التداخل الهدام تكون شدة المجال ضعيفة جداً أو مساوية للصفر.

وقد أجرى الباحث جري مرجان (Grey Morgan ,1975) بعض الحسابات المطولة لنماذج التداخل والتي اعتمدت أساساً على معادلة فرنل هيجن كرتشوف لحزم جاوسية الشكل ذات نسب انحراف مختلفة , مجمعة بواسطة عدسات ذات أسطح محدبة دائرية الأوجه بنسب

مختلفة من درجة الانحراف الضوئي. أوضحت نتائج هذه الحسابات وجود مناطق متعددة ذات شدة استضاءة عالية تفصلها مناطق ذات شدة استضاءة منخفضة على امتداد محور أشعة الليزر.

وفي محاولة لإيجاد بعض المقادير لمتجه سعة المجال E والفيض الفوتوني F وضغط الأشعة R_p التي يمكن أن تتولد بواسطة حزمة من أشعة الليزر أعطى جري مرجان Grey (Morgan ,1975) علاقة تربط بين سعة المجال الكهربي E و شدة استضاءة الحزمة I على الصورة :

$$E\ (V/cm) = 19.4\ I^{0.5} \qquad (1\text{-}1)$$

كما عبر ايضاً عن الترابط بين الفيض الفوتوني F و شدة الاستضاءة بالعلاقة

$$F = 6 \times 10^{18}\ \frac{I}{h\upsilon} \qquad (1\text{-}2)$$

حيث $h\upsilon$ معبراً عنها بـ eV

أما ضغط الأشعة فيكتب على الصورة :

$$R_p = 3.33\times10^{-11}\ I\ (J/cm^3) = 3.3\times10^{-10}\times760\ I\ (torr) \qquad (1\text{-}3)$$

ويوضح الجدول (1-1) بعض قيم شدة المجال الكهربي E والفيض الفوتوني F وضغط الأشعة R_p التي تناظر شدة استضاءة أشعة الليزر I بفرض أن طاقة الفوتون المصاحبة لأشعة الليزر في حدود 1.0 eV .

أجريت العديد من الدراسات عن الظواهر الفيزيائية المصاحبة لتفاعل أشعة الليزر مع الأوساط المادية المختلفة لتحديد آلية تكون المناطق المتأينة في حيز التفاعل . أجمعت هذه الدراسات (Ready 1971, Raizer 1977, Radziemski and Cremers,1989) على أن تأين الوسط في منطقة الانهيار يتم أساساً خلال عمليتين فيزيائيتين أساسيتين هما :

i-عملية الامتصاص متعدد الفوتونات والتي تؤدي إلى تكون تأين متدرج خلال متسلسلة من الانتقالات البصرية التخيلية و المسموحة . ووجد أن هذه العملية هي المسئولة عن الحصول على الإلكترونات الابتدائية إما خلال تأين الغاز ذاته أو لبعض الشوائب ذات طاقة التأين المنخفضة.

ii-عملية برمشتراهلنج العكسية للامتصاص والتي تشتمل على امتصاص فوتونات أشعة الليزر بواسطة الإلكترونات الحرة في وجود جسم ثالث (ذرة أو أيون) , تؤدي هذه العملية إلى نمو شلالي لكثافة الإلكترونات يشابه في طبيعته الميكانيكية تلك العملية التي شوهدت عند تطبيق مجالات إستاتيكية وموجات دقيقة تعمل على تأين الغازات . يستلزم لحدوث هذه العملية وجود إلكترون مفرد على الأقل في بؤرة العدسة قبل إشعال حزمة الليزر في الوسط وذلك لبدء عملية النمو التدريجي . بمجرد تفاعل نبضة الليزر مع الوسط الغازي ينتج عن ذلك تأين سريع يؤدي في النهاية للوصول إلى حالة الانهيار . وقبل سرد وصفاً تفصيلياً لهذه العمليات المذكورة سوف نقدم فيما يلي تعريفاً لمفهوم الانهيار.

I, W cm^{-2}	E, V cm^{-1}	F, quanta cm^{-2} sec^{-1}	R_px760 (torr)
10^8	$2x10^5$	$5x10^{26}$	$3.3x10^{-2}$
10^{10}	$2x10^6$	$5x10^{28}$	3.3
10^{12}	$2x10^7$	$5x10^{30}$	$3.3x10^2$
10^{14}	$2x10^8$	$5x10^{32}$	$3.3x10^4$

10^{16}	$2x10^{9}$	$5x10^{34}$	$3.3x10^{6}$
10^{18}	$2x10^{10}$	$5x10^{36}$	$3.3x10^{8}$

جدول (1-1) بعض قيم شدة المجال الكهربيE والفيض الفوتوني F وضغط الأشعة R_p التي تناظر شدة استضاءة أشعة الليزر I

1- 2-2 مفهوم شرط الانهيار

1-4 The breakdown concept

في حالة التفريغ الكهربي للغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر , على الرغم من أنه أمكن عمليًا تحديد بدء ظاهرة الانهيار ، و ذلك بالحصول على شرارة مرئية في المنطقة البؤرية لحيز التفاعل , إلا أن تحديد قيمة شدة الاستضاءة التي تظهر عندها هذه الشرارة هي عملية في غاية الحساسية . وقد أجريت العديد من المحاولات لتحديد شرط الانهيار ، وذلك إما بمعلومية شدة استضاءة أشعة الليزر أو بقيمة كثافة الالكترونات الحرة التي يتم الحصول عليها في حيز التفاعل . ففي عام 1973 عرفت حالة الانهيار بأنها الحصول على تأين كامل لذرات الغاز في حيز التفاعل (الحجم البؤري) (Phelps, 1966) . كما عرّف أيضاً شرط الانهيار بأنه تضخيم لكثافة من الإلكترونات الابتدائية بمعدل يزيد عن أو يساوي 10^{13} في زمن أقل من زمن نبضة أشعة الليزر (Demichelis, 1969). ومن جهة أخرى تم تعريف شرط الانهيار بأنه الحصول

على حوالي 43 جيلاً من الالكترونات خلال تدرج الكتروني يحدث نتيجة لتفاعل حزمة الليزر مع الوسط في الحجم البؤري (Zel'Dovich and Raizer, 1965) . كما عرّف أيضاً بأنه الحصول على درجة تأين تعادل $\delta = 0.1\%$ لذرات الغاز في الحجم البؤري والتي تكفي لإحداث امتصاص وتشتت لأشعة الليزر بدرجة كافية (Grey Morgan, 1975) . كما تم تعريف شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار بأنها الشدة التي تظهر عندها شرارة مضيئة باحتمالية تزيد عن أو تساوي 50 % (Cohn et al 1975, Santiago and Robinson, 1980) .

وفي محاولة أخرى لتحديد شرط الانهيار وضع جمال (Gamal, 1978) علاقة رياضية أمكن فيها تعين قيمة تمثل الحد الأدنى لكثافة الالكترونات التي تؤدي إلى انهيار الغاز . ووضعت هذه العلاقة بناءاً على تكون كثافة كافية من الالكترونات تحيط بأيون موجب عندما تكون المسافة الواقية لديباي (Spitzer, 1965) η (Debye shielding distance) في حدود قطر حزمة أشعة الليزر المجمعة أي أن :

$$\eta = \left[kT \Big/ \left(4\pi n e^2 \right) \right]^2 \qquad (1-4)$$

حيث n و T هما على الترتيب كثافة ودرجة حرارة الكترونات البلازما المتكونة في الحجم البؤري . و كحد أعلى لكثافة الالكترونات التي يحدث عندها الانهيار وضع نفس الباحث علاقة تعتمد على انعكاس حزمة أشعة الليزر نتيجة لتساوي تردد الأشعة مع تردد البلازما على الصورة :

$$\omega_p = \omega_L \approx 10^4 \sqrt{n} \qquad (1-5)$$

كما وجد أيضًا أن إشعال الشرارة المرئية (منطقة الانهيار) تعتمد بحساسية عالية على قدرة مصدر أشعة الليزر ، حيث أشارت القياسات العملية أن أي تغير في القدرة بمعامل يساوي 2 يحدث تغيراً في احتمالية ظهور الشرارة من 0.05 إلى 0.9 (Rosen and Weyl, 1985) . ومن وجهة نظر أخرى أستخدم نفس الباحثين تقنية أخرى لتحديد شرط

الانهيار وهي الكشف عن مقدار تخميد (Attenuation) حزمة أشعة الليزر الممكن قياسه نتيجة لتكون البلازما . ومن هنا يتضح أنه لا يوجد تعريف نظري دقيق لتحديد شرط انهيار الغاز المستحث بواسطة أشعة الليزر , وهذا بالتالي أدى إلى شيء من عدم الدقة في النتائج المعملية التي أجريت بواسطة مجموعة مختلفة من الباحثين لقياس وتحديد شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار .

وبالرغم من كل هذه التعريفات التي تم ذكرها لشرط الانهيار إلا أن حد الانهيار مازال يسبب عدم تأكد لتعين شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر .

1- 2-3 آليات تكون مناطق الانهيار و التأين

I-5 Mechanisms of the formation of breakdown and ionized regions

ترتبط ظاهرة انهيار و تأين الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر على خصائص الأشعة من حيث الطول الموجي , شدة الاستضاءة (الفيض الفوتوني) , و طول زمن النبضة والتي بدورها تحدد آلية الانهيار وفقاً للدراسات العملية التي أجريت على هذه الظاهرة وجد أن تأين الغازات المؤدي إلى الانهيار يتم بواسطة آليتين أساسيتين هما التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات والتأين بالتصادم الإلكتروني (عملية برمشتراهلنج العكسية) فيما يلي نوضح خصائص أشعة الليزر اللازمة للتأين المباشر بهاتين العمليتين .

1-3-2-1 خصائص أشعة الليزر اللازمة للتأين المباشر بالامتصاص متعدد الفوتونات

1-2-3-1 Laser characteristics required for direct ionization by multiphoton absorption

في هذه العملية يتم تأين الوسط خلال الامتصاص المتزامن لعدد من فوتونات أشعة الليزر بواسطة ذرات أو جزيئات الوسط , لها طاقة تساوي طاقة تأين الذرة أو الجزيء . أجريت لأول مرة دراسة نظرية عن احتمالية تأين ذرة (جزيء) نتيجة للامتصاص المتزامن لعدد K من الفوتونات حيث ($K h\upsilon \geq \varepsilon_I$) بواسطة جوبرت- مير (Goeppert-Mayer

(1931, . في ذلك الحين لم يكن من الممكن إيجاد تفسيراً عملياً لهذه الدراسة إلى أن تم اكتشاف مصادر لأشعة الليزر ذات شدة الاستضاءة العالية (Maiman, 1960) . وقد وجد أن معدل التأين بواسطة الامتصاص متعدد الفوتونات يتغير مع I^K حيث I هي شدة استضاءة أشعة الليزر (Gold and Bebb ,1965; Bebb and Gold ,1966). كما وجد أن كثافة الإلكترونات الناتجة عن هذه العملية باستخدام مصدر لأشعة ليزر ذو شدة استضاءة ثابتة تزداد خطياً خلال زمن النبضة . أوضح ذلك القياسات العديدة التي أجريت لدراسة احتمالية الانتقال التي تعطي قيمة كثافة الفيض الفوتوني اللازم للحصول على درجة محددة للتأين (Gontier and Trahin, 1967 a,b; 1969 a,b; Morton ,1967; Vonorov et al, 1967; Chan and Tang ,1969; Lambropoulos ,1976 and Mainfray ,1982) . أوضحت هذه الدراسة أن مستويات الطاقة المتوسطة يمكن أن تساهم في احتمالية التأين , وكذلك في تحديد الفيض الفوتوني لأشعة الليزر, وذلك في حالة وجود توافقاً قريباً جداً بين طاقة هذه المستويات وطاقة عدد صحيح من الفوتونات الممتصة . بالإضافة إلى ذلك فإن إزاحة مستويات الطاقة نتيجة لتأثير المجال الكهربي لأشعة الليزر يمكن أن يؤدي إلى تقارب هذه المستويات إلى حالة التوافق مع طاقة الفوتونات الممتصة . كما أنه يمكن أن يؤدي إلى تباعدها وهذا بالتالي يؤدي إما إلى زيادة ملحوظة في احتمالية التأين أو النقص الشديد لها. وقد تم تأييد وجهة النظر هذه بواسطة عدد من التجارب باستخدام الغازات الذرية والجزيئية (Baravian et al, 1970 and Berezhetskaya et al, 1972) .

كما شاهد أيضاً عدد من الباحثين زيادة ملحوظة في احتمالية التأين وانخفاض كبير في معامل اللاخطية K , وذلك عند دراسة تأثير التوافق في حالة بخار السيزيوم باستخدام نبضات ليزر متجانسة لتحديد احتمالية التأين بواسطة عملية الامتصاص متعدد الفوتونات (Lampore et al ,1978, Petite et al ,1979 and Gontier and Trahin, 1979) .

ومن أهم الدراسات المعملية المثمرة التي اختصت بعمليات التأين بالامتصاص المتعدد للفوتونات تلك السلسلة من التفسيرات الدقيقة التي أجريت في معهد لبيديف (Lebedev) بالاتحاد السوفيتي (Voronov et al., 1966, 1967; Voronov and Delone ,1966; Delone and Delone ,1968, and Delone et al, 1969) وكذلك التي أجريت بواسطة مجموعة من الباحثين في معامل ساكلي (Saclay) بباريس (Agostini et al) .

(1971, 1970, 1968 ,al في هذه الدراسات أجريت العديد من المحاولات لاختيار أنظمة العدسات الصحيحة و مخرج لمصدر أشعة الليزر ذو طبيعة مستقرة لتقليل إمكانية عدم الدقة نتيجة للانحراف البصري والتغيرات في شدة الاستضاءة الناتجة عن المخرج غير المحكم بعدياً وزمنياً لحزمة الليزر .

كما أجريت أيضاً دراسات عملية على الغازات النادرة لتفسير الأيونات ذات الشحنات المتعددة الناتجة بواسطة التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات (L'Huillier et al, 1983) . بالإضافة إلى ذلك أجريت دراسة لتأين بخار الكالسيوم بواسطة نبضات ليزر البيكوثانية (Agostini and Petite, 1984) , كما تم تفسير النتائج العملية للغازات النادرة باستخدام طريقة إحصائية مبسطة (Crance ,1984) .

في عام (1985) أجريت دراسة عن التأين المزدوج في بخار الإسترنشيوم بواسطة نبضات بيكو ثانية من ليزر الصبغات (Agostini and Petite 1985) أوضحت أن التأين يتم في خطوتين , حيث يحدث تأين في مراحل تقع أعلى من طاقة التأين يتبعها تأين توافقي للأيون .

وتزامن مع هذه القياسات المعملية دراسات نظرية لتعيين احتمالية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات ففي عام 1965 قدم كيلدش (Keldysh ,1965) مدخلاً مختلفاً تبنى فيه دراسة الباحث بنكين (Bunkin and Frokhorov ,1964) التي قامت بتفسير خصائص الذرة عند تأثير مجال إشعاعي قوي , وتمكن بالحصول على علاقة عامة لحساب احتمالية التأين بواسطة المجال الكهربي القوي المصاحب للمجال الإشعاعي . وبتطبيق هذه النظرية تمكن كيلدش Keldysh من الحصول على علاقة مشابهةً تعمل عند المجالات ذات التردد المنخفض . استخدمت هذه العلاقة لتحرير الإلكترونات المعروفة بالتأثير النفقي Tunnel effect . ولكن عند تطبيق هذه العلاقة في حالة الترددات العالية مثل الترددات البصرية المستخدمة في التأين المؤدي إلى الانهيار فان احتمالية التأين وجد أنها تعتمد على القوة K أي تتناسب مع F^K حيث F هو الفيض الفوتوني .

من وجهة نظر أخرى أجرى مجموعة من الباحثين (Agarwal, 1970; Debethune, 1972; Carusotto and Starti, 1973 ; Lecompte et al, 1974) دراسة توضح التوقعات في الزيادة الملحوظة لاحتمالية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات كدالة في عدد

الأنماط الطولية لمخرج أشعة الليزر. في هذه الدراسة تم قياس كثافة الأيونات المتحررة في غاز الزينون كدالة لمتوسط شدة الاستضاءة باستخدام أشعة ليزر ذات نمط عرضي مفرد , تعمل بعدد متغير من الأنماط الطولية المتجاورة . أوضحت نتائج هذه الدراسة باستخدام التشغيل المتعدد الأنماط أن كثافة الأيونات المتحررة تزداد بمعامل يساوي I(K!) = I . والذي يعتمد على عدد الأنماط حيث K معامل اللاخطية .

من جانب أخر أجريت حسابات عددية لاحتمالية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات لغازات الهليوم والهيدروجين وأبخرة العناصر القلوية (Aymar and Crance .1980 a,b, 1981; Crance and Aymar ,1980 a,b) . اعتمدت هذه الدراسات على وضع مؤثر هملتونياً لنظام ذري على شكل قطري مع الأخذ في الاعتبار مساهمة مستويات الطاقة المثارة العليا , بالإضافة إلى مستويات الطاقة المستمرة وذلك بفرض ما يسمى المؤثرات الفعالة . كما اقترح هذان الباحثان أيضاً نموذجاً لوصف ديناميكية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات في اتجاه العديد من مستويات الطاقة في المنطقة المستمرة . أوضحت هذه الدراسة أن حساب احتمالية التأين بنظرية الاضطراب يتحقق فقط عند قيم عالية لشدة استضاءة أشعة الليزر.

وفي عام 1986 قام كرانس (Crance ,1986) بدراسة التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات في اتجاه المنطقة المستمرة المتعددة (دور شحنة الفراغ) . قد وجد أنه حتى عند الضغوط الذرية المنخفضة فان شكل طيف طاقة الإلكترونات يمكن أن يتغير بشكل قوي بتأثير شحنة الفراغ واستشهد لذلك بظهورعدد كبير من القمم في الطيف المتكون .

في عام 1997 (Peet and Tsubin ,1997)أجريت قياسات على تأين غاز الزينون بواسطة الامتصاص متعدد الفوتونات المؤدي إلى حالة الانهيار البصري للغاز ، وذلك باستخدام حزم من أشعة الليزر غير تقليدية , خالية تمامًا من الحيود ذات أنماط ببناء حلزوني لها شكل جاوسي-لاجير . استخدم لذلك أقنعة للسعة كقناع على شكل قرص أو ثقب دائري يمكنه تحويل الحزمة الجاوسية الشكل الى حزمة حلقية . و يتم انتقال طاقة النبضة بحيث تتوزع على حلقة ، وتتكون الحزمة المجمعة على شكل حزمة مخروطية . في هذه الحالة يكون نموذج الشدة في المنطقة البؤرية كحزمة متراكبة ذات زوايا ميل مختلفة متخذًا الشكل الجاوسي التقليدي. أوضحت نتائج هذه القياسات أن تأين غاز الزينون يتم بامتصاص ستة فوتونات من

المستوى الأرضي ، حيث يكون هناك توافقًا بين طاقة الفوتونات وطاقة تأين الغاز ، مما يحدث تحول ملحوظ في طيف التأين . وقد وجد انخفاض شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار في بعض مناطق الطيف في حالة امتصاص عدد من الفوتونات يؤدي فقط إلى إثارة الغاز يتبعه تأيناً سريعاً له وذلك عند استخدام حزم لأشعة الليزر ذات قلب مغلق (الحلقية الشكل) . وتم تفسير هذه التأثيرات باعتبار تكون توافقية من الرتبة الثالثة داخل الحزمة الحلقية ، والذي مكن من الحصول على مدى طيفي عريض عن ذلك الطيف الذي ينتج في حالة الحزم الجاوسية التقليدية, وهذا بالتالي أدى إلى ظهور مسارات تأين إضافية وتحول في طيف التأين .

ومع التطور السريع لأجهزة الليزر أمكن إنتاج مصادر لهذه الأشعة ذات قدرة عالية ونبضات متناهية القصر تقل عن ps 1 لذلك زاد الاهتمام بإمكانية استخدام أشعة الليزر للمعالجة التحليلية لكل المواد بدقة عالية ، وأقل تدمير حراري ممكن . وقد حد استخدام هذه النبضات متناهية القصر في قياسات ظاهرة الانهيار من تطبيق النماذج التقليدية التي وضعت لتفسير هذه الظاهرة حيث أنها لا تمتلك الدقة التي تمثل ما يحدث في التفاعل بين أشعة الليزر و المواد المؤدي للانهيار . لذلك تم وضع نموذجاً نظرياً يعتمد أساساً على عملية التأين الفوتوني لدراسة انهيار المواد بواسطة أشعة الليزر ذات نبضات في حدود الفيمتوثانية (Sun and Longtin, 2001) ، للحصول على تفسيراً نظرياً لسلوك التغير الزمني و البعدي لنبضة الليزر في منطقة الانهيار. اشتمل النموذج على إمكانية انتشار نبضة من قطار لنبضات متناهية القصر من أشعة الليزر في منطقة محددة من حيز التفاعل . أوضحت نتائج هذه الدراسة إمكانية استخدام النموذج لمتابعة ظاهرة الانهيار بدقة عالية في المنطقة البؤرية لأزمنة نبضة تقل عن ps 10 . كما أمكن أيضًا استخدام النموذج لتقدير التحليل الزمني أو البعدي لكثافة الالكترونات في حيز التفاعل . بالإضافة الى تحديد شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار المادة وتأثيرات الحجب وتوزيع درجة الحرارة أثناء العمليات الفيزيائية السريعة .

في عام 2004 أجريت قياسات التحليل الطيفي للبلازما المتكونة خلال ظاهرة انهيار الغازات المستحث بواسطة نبضات متناهية القصر (فيمتوثانية) من أشعة الليزر (Hermann et al, 2004) . وذلك باستخدام التحليل البعدي والزمني للانبعاث الطيفي. لإجراء ذلك تم تجميع حزمة الليزر بواسطة عدسة مايكروسكوب شيئية في غازت مختلفة (هواء – أرجون – هيليوم) عند ضغط غاز في مدى يتراوح ما بين10^2/133 torr -10^5 /133torr . ومن تحليل

الخط الطيفي المنبعث من كل من الأيونات والذرات المتعادلة تم تعين معاملات البلازما ومكوناتها كدالة في الزمن والبعد . بالإضافة إلى ذلك أهتم الباحثين بتفسير كيفية تكوين الالكترونات السريعة ، والأشعة فوق البنفسجية الفراغية نتيجة تفاعل نبضات أشعة الليزر متناهية القصر مع الغاز . ومن التحليل الزمني والفراغي لمعاملات البلازما أمكن بطريقة تقريبية تقدير قيم كثافة الالكترونات الابتدائية ، وكذلك معامل الانكسار في الحجم البؤري . و بمقارنة هذه النتائج مع تحليل انتقال حزمة البلازما ، أوضحت الأخيرة أن جزء صغير فقط من طاقة الليزر يمتص بواسطة البلازما ، بينما يلاقي التوزيع البعدي لحزمة الليزر المنتقلة اضطرابًا شديدًا في الوسط حيث تعمل كعدسة مفرقة . ومع ذلك فإنه في حالة الهيليوم وعند الضغط الجوي وجد أن تفريق الحزمة في البلازما يكون ضعيفًا نتيجة للقيمة المرتفعة لطاقة تأين الهيليوم .

2-3-2-1 خصائص أشعة الليزر اللازمة للتأين التدريجي بالتصادم الإلكتروني (العملية العكسية لبرمشتروهلنج)

1-2-3-2 Laser characteristics required for cascade ionization by electron impact(inverse bremsstrahlung processes)

تحدث هذه العملية عند تجميع حزمة عالية الشدة من أشعة الليزر النبضية في وسط غازي بحيث يتواجد على الأقل إلكتروناً حر مفرداً في المنطقة المجاورة للذرات (الأيونات , الجزيئات) في حيز التفاعل عند بؤرة العدسة . نتيجة لذلك يحدث تفاعل بين فوتونات أشعة الليزر و الإلكترون الحر في وجود الذرة وينتج عنه زيادة في طاقة الإلكترون لتصل في النهاية إلى طاقة إثارة أو تأين ذرات الوسط حينئذ تحدث عملية تصادم غير مرن ينتج عنها إما إثارة أو تأين الوسط . في العملية الأخيرة ينبعث إلكترونين ذو طاقة منخفضة يمكنهما إعادة هذه العملية ليؤديا إلى زيادة الشلالية في كثافة الالكترونات مما يشكل تأيناً تدريجياً للوسط . ويتم امتصاص الطاقة بواسطة الالكترونات خلال العملية العكسية لبرمشتراهلنج والتي تسمى أحياناً بالانتقال الحر- حر حيث أن الالكترونات في هذه العملية تكون ابتدائياً ونهائياً في صورة حره .

ويمكن النظر لهذه العملية من وجهة كلاسيكية كتفاعل بين متجه المجال الكهربي المصاحب للموجات الكهرومغناطيسية لأشعة الليزر مع الإلكترونات الحرة في وجود الذرة

لحفظ العزم و تسمى هذه العملية أيضاً بميكانيكية تونسيند الشلالية Townsend cascade mechanism والتي تعمل بمجالات لها ترددات تذبذبية عالية جداً.

كان هناك تناقضاً كبيراً في المفاهيم التي تحدد العلاقة بين الانهيار الكلاسيكي باستخدام أشعة الميكروويف والنظرية التي اعتمدت على العملية العكسية لبرمشتراهلنج , حيث اعتقد كثير من الباحثين أن هاتين النظريتين مختلفتين تماماً عن بعضهما . وفي عام 1965 برهن الباحث براون (Brawn ,1965) في دراسته النظرية أن العملية العكسية لبرمشتراهلنج ما هي إلا وصفاً كمياً لنظرية الميكروويف الكلاسيكية . كما وجد أيضاً أن النظرية الكلاسيكية يمكن تطبيقها عند استخدام مجالات إشعاعية ذات ترددات عالية حيث أنه لا يمكن قياس امتصاص فوتون خلال زمن يقل عن مقلوب احتمالية الانتقال الحر _حر , نظراً لإمكانية حدوث العديد من التصادمات بين الإلكترون والذرة خلال هذا الزمن. وأوضحت الحسابات النظرية التي بنيت أساساً على حركة ميكانيكا الكم بفرض عدم وجود أياً من عمليات الفقد . أن كلاً من المعالجة الكلاسيكية و الكمية تؤديان إلى نفس النتيجة عندما تكون طاقة الفوتون $h\upsilon$ أقل من الطاقة الكلية للإلكترون (ليست طاقة الإلكترون التذبذبية ε_o) .

كما تمت دراسة عملية الامتصاص العكسية لبرمشتراهلنج في مجالات إشعاعية ذات شدة عالية بواسطة الباحث بيرث (Pert ,1972) استخدم فيها مدخلين منفصلين أحدهم هو تقريب بورن و الأخر أعتمد على النظرية الكلاسيكية . في هذه الدراسة توصل الباحث إلى علاقة تربط النظرية الكلاسيكية بالحسابات الكمية ووجد أنه في كلتا الحالتين يجب تطبيق نفس الشروط وهي أن($h\upsilon << \varepsilon_i$).

اعد الباحث دي مونت جولفير (DeMontgolfier ,1972) نظرية للتدرج الإلكتروني أخذت في الاعتبار توزيع طاقة الإلكترون كحالة خاصة من توزيع بولتزمان . أوضحت هذه الدراسة إمكانية امتلاك الإلكترونات لنفس قيمة الطاقة ما عدا عند القيم المنخفضة لشدة استضاءة أشعة الليزر . كما إشارت هذه الدراسة أيضاً أنه يمكن بسهولة حساب درجة حرارة الاتزان . وعند اعتبار العملية العكسية لبرمشتراهلنج بين الإلكترونات والأيونات اتضح انه لا يمكن اعتبار أن للإلكترونات طاقة مفردة . وأن هناك قيمة محددة لضغط الغاز أقل منها لا

يمكن أن يحدث التدرج إلكتروني . وتم تطبيق هذا النموذج على كل من غازي الهليوم والارجون.

وفي عام 1971 قدم الباحثان نلسون وكنفان (Nelson and Canavan ,1971) حسابات للتغير الزمني لدالة توزيع طاقة الالكترونات عند تفاعل غاز الهليوم المؤين ابتدائياً مع مجال لأشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون . في هذه الحسابات أخذ في الاعتبار التصادمات المباشرة بين الإلكترونات بالإضافة إلى التصادمات غير المرنة والفائقة المرونة بين الالكترونات والمستويات المثارة للغاز, وكذلك العملية العكسية لبرمشتراهلنج في المجال بين الأيونات والذرات المتعادلة للوسط . أوضحت نتائج هذه الحسابات توافقا جيداً لقيم شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة للانهيار وتلك المقاسة بواسطة بروان وسميت (Brown and Smith ,1973) .

في عام 1975 أوضح فريدلاند (Friedland,1975) أنه في حالة كمات طاقة ذات قيم كبيرة ($h\upsilon>1eV$) , فان عمليات الانهيار يجب معالجتها باستخدام ميكانيكا الكم حيث أن المعالجة الكلاسيكية يمكن أن تعطي قيم كبيرة جداً للزمن اللازم لانهيار الغاز.

بالإضافة إلى ذلك أجريت العديد من الحسابات النظرية للتأين التدريجي لغازات مختلفة عند مدى واسع من ضغط الغاز (Louis –Jacquet and Decoster, 1977; and Afans'ev et al ,1979) .

في عام 1980 تم إعداد نموذج عددي للتدرج الإلكتروني بواسطة الباحثان إيفانز وجمال (Evan and Gamal ,1980) - أعتمد هذا النموذج على امتداد نظرية الميكروويف الكلاسيكية إلى المنطقة البصرية من الأشعة الكهرومغناطيسية , وتميز بمعالجه انسياب الإلكترونات على امتداد محور الطاقة . وتمكن بنجاح تفسير ظاهرة الانهيار في غاز الهليوم تحت تأثير أشعة ليزر الياقوت بطاقة فوتون تساوى 1.78 eV . وتبع ذلك تطبيق النموذج لتفسير العديد من القياسات العملية التي أجريت لتعيين شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغازات الذرية (Gamal et al,1983;1987;1999;2001) و الجزيئية (Gamal and Omara ,2001) .

وفي نفس العام أيضا طبق سنتياغو وروبنسون (Santiago and Robinson, 1980) نموذجاً نظرياً اعتمد على عمليات التدرج الإلكتروني المؤدية إلى حالة الانهيار . أعطت نتائج الحسابات العددية توافقاً للقيم المحسوبة لشدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار غاز الارجون المحث تحت تأثير ليزر ثاني أكسيد الكربون مع القيم المقاسة عملياً عند استخدام عوامل تؤدي إلى التأين المبدئي للغاز . وتبع ذلك نموذجاً فيزيائياً مبسطاً للتأين بواسطة أشعة الليزر قام بوضعه الباحثان ميجر وكاردينال (Measures and Cardinal ,1981) اعتمد على ظاهرة التشبع الرنيني لأحد مستويات الطاقة المثارة . أشتمل النموذج على معظم العمليات الهامة المتوقع حدوثها خلال التفاعلات التصادمية والإشعاعية وأعطى الحل التحليلي لهذا النموذج كيفية تغير التكوين الزمني لكثافة الإلكترونات الحرة مع قدرة الليزر.

وأشارت هذه الدراسات أن ظاهرة الانهيار لا يمكن الحصول عليها إلا عند القيمة العظمى لشدة الاستضاءة خلال زمن النبضة . وأعطي ذلك دليلاً قوياً على أن عملية التأين تحدث فقط خلال عمليات تصادم إلكتروني أي أن عملية الامتصاص متعدد الفوتونات لاتلعب دوراً فعالاً تحت هذه الظروف .

بالإضافة إلى ذلك أجريت العديد من الدراسات العملية والنظرية لظاهرة الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر التي اعتمدت على كلاً من عملية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات والنمو التدريجي للإلكترونات (Weyl et al, 1982, 1985) . طبقت هذه الدراسة على الغازات النادرة باستخدام أشعة الليزر ذات الطول الموجي القصير لتحديد مفهوم استخدام نبضات من أشعة الليزر لتوليد قوة دافعة حرارية , والتي استخدم فيها في بادئ الأمر مصدراً لأشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون ذي الطول الموجي الطويل , ثم امتدت الدراسة باستخدام مصادر أشعة الليزر ذات الأطوال الموجية القصيرة .

ومن وجهة نظر أخرى أجريت قياسات لظاهرة الانهيار في الهواء وبعض الغازات النادرة بمعمل رذرفورد Rutherford باستخدام مصدر ليزر الإكسيمر KrF للحصول على بلازما تستخدم كمصدر للأشعة السينية (Turcu et al, 1987, 1990, 1997) . كما تمت دراسة تغير شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الهواء مع الطول الموجي بواسطة

تاريجا وتمباي (Thareja and Tambay, 1991) , وكذلك لغازي الزينون والكربتون بواسطة الفيروف (Alferov et al, 1991) .

وامتداداً لهذه الدراسات أجريت الحسابات (Xin Miau zhao et al,1995) باستخدام نبضات أشعة ليزر متناهية القصر (200 فمتو ثانية) و طول موجي يعمل في المنطقة فوق البنفسجية للحصول على تفريغ كهربي في الهواء الجوي . تمت دراسة تأثير غاز الأكسجين على ظاهرة الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر, وذلك لتحديد العمليات المسئولة عن إنتاج كثافة الإلكترونات الابتدائية اللازمة لبدء عملية التفريغ الكهربي , وكيفية تكوين مناطق انهيار . اتفقت نتائج هذه الحسابات مع النتائج المعملية التي أجريت لنفس المجموعة .

في عام 1995 قام الباحثان تاكاهاشي ونيشيجاما (Takahashi and Nishijima 1995), بتقديم تفسيراً نظرياً لعملية الانهيار الكهربي للهواء المستحث بواسطة نبضات ذات شدة عالية من حزم أشعة الليزر . استخدم لذلك نموذجاً حسابياً يعتمد على كلاً من معادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن ومعادلات معدل تغير كثافة مستويات الإثارة المتكونة خلال التفاعل . أجريت الحسابات عند أطوال موجية مختلفة من أشعة ليزر الإكسيمر XeCl ذو الطول الموجي 308 nm , وليزر الياقوت ذو الطول الموجي 694 nm , وليزر النيوديميوم ياج ذو الطول الموجي 1064 nm بالإضافة إلى ليزر ثاني أكسيد الكربون . أوضحت نتائج هذه الدراسة تطابقاً بين القيم المحسوبة والقيم المقاسة عملياً (التي أجريت بواسطة نفس الباحثين) لشدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة للانهيار الكهربي للغاز كدالة في الطول الموجي , كما أعطت تفسيراً مفصلاً للظواهر الفيزيائية المصاحبة لظاهرة الانهيار.

وكتطبيق لظاهرة الانهيار في إشعال الشرارة لاحتراق الغازات أجرى الباحث فوك (Phuoc, 2000) قياسات لتعين شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغازات المحترقة. أجريت التجربة على كل من الهواء والأكسجين والنيتروجين والهيدروجين بالإضافة الى غاز الميثان . استخدم في ذلك مصدراً محكم المخرج لليزر النيوديميوم ياج الذي يعمل بأطول موجية 1064 nm, 532 وزمن نبضة 5.5 ns . وتم قياس شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار على مدى من ضغط الغاز يتراوح ما بين 150-3400 torr . أوضحت النتائج أن تغير شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار مع ضغط الغاز يكون على الصورة

$I_{th} \propto p^{-n}$ والتي تعطي توافقًا مع التوقعات النظرية التي فيها يتم الانهيار بواسطة عملية الامتصاص العكسية لبرمشتراهلنج . وقد وجد أن درجة تغير I_{th} مع ضغط الغاز تكون أكثر شدة عند الطول الموجي 532 nm عنه للطول 1064 nm ، وأعزي ذلك لأهمية تأثير عملية فقد الالكترونات نتيجة لانسيابها خارج حيز التفاعل .

في عام 2000 قام مجموعة من الباحثين (Francois Vidal et al,2000) بوضع نموذجاً لدراسة العمليات المصاحبة لتوليد الموجات المتأينة المستحثة بواسطة نبضات متناهية القصر من أشعة الليزر المجمعة في الهواء عند ضغط 350 torr داخل أنبوبة تفريغ يؤثر عليها مجال كهربي منتظم . اعتمد النموذج العددي على حل المعادلات في بعد واحد , وأعطي وصفاً للتفاعل بين نبضة الليزر والهواء . اخذ النموذج في الاعتبار عدة تفاعلات بين أشعة الليزر والمناطق المتأينة في الهواء وكذلك تمدد هذه المناطق على امتداد نصف قطر الأنبوب . أوضحت الحسابات زيادة شدة المجال الكهربي اللازم للحصول على موجات تأينية مع زيادة دالة التأخر بين نبضة الليزر ونبضة المجال الكهربي . كما وجد أن شدة المجال الكهربي اللازم للحصول على موجات تأينية تنخفض بانخفاض طاقة أشعة الليزر . و أشارت نتائج الحسابات أيضاً بان كل من درجة حرارة الإلكترونات و كثافة الموجات التأينية و نصف قطر الأنبوب و التوصيل الحراري خلال الأنبوب وحدود مناطق التأين تلعب دوراً هاماً في كفاءة تكون الموجات التأينية المستحث بواسطة أشعة الليزر . وقد تم مقارنة نتائج الحسابات بالنتائج المعملية المتاحة .

في عام 2001 استخدمت ظاهرة انهيار وإشعال الغاز لخليط من NH_3/O عند الضغط الجوي (Chen and Lewis, 2001) . وتم تفسير ذلك عمليًا باستخدام مصدر ليزر النيوديموم ياج يعمل عند طول موجي 1064 nm وزمن نبضة في حدود النانو ثانية ، للحصول على انهيار بصري للغاز بطبيعة تدريجية . وتمت دراسة البلازما والإشعال الناتج عن الانهيار باستخدام تقنيات طيفية , للانبعاث التلقائي و الخط الوميضي العريض لـ NH المستحث بواسطة أشعة الليزر. أعطت صور التحليل الزمني ذات البعدين معلومات عن الانبعاث وديناميكية الغاز وأيضًا الكثافة الوميضية ، والزمنية لدرجة الحرارة والجسيمات

المتكونة خلال زمن النبضة . كما أعطت النتائج مفهومًا عن ديناميكية البلازما ، وتكوين اللهب ، اللذان يعتبرا ضروريان لتحقيق نمذجة المحاكاة للإشعال المستحث بواسطة أشعة الليزر .

ومن وجهة نظر أخرى أجريت قياسات لتعين النسبة بين الوقود والهواء في الخليط المحترق نتيجة للشرارة المستحثة بواسطة أشعة الليزر (Phuoc and White, 2002) . لعمل ذلك استخدمت ظاهرة انهيار الغاز المستحث بواسطة أشعة الليزر لاختبار سلوك زمن التأخر للإشعاع الخطي عند الطول الموجي لخطوط H_α و OI الثلاثي المنبعثة من الشرارة المتكونة في مخاليط من غاز الميثان والهواء . وأجريت التجربة للحصول على شرارة باستخدام مصدر ليزر النيوديميوم ياج المحكم المخرج ذو النمط المفرد . ويتصف هذا المصدر بقطر حزمة يساوي 6 mm ، وطول موجي 1064nm ، وزمن نبضة 5.5 ns . وقد وجد أنه عند نسب تكافيء تتراوح مابين 5→0.1 فإن نسبة شدة استضاءة الانبعاث الطيفي للخطوط H_α إلى خطوط OI الثلاثي تتزايد خطيًا مع النسبة المكافئة . كما وجد أيضًا أنه لطاقة من مصدر الليزر تتغير ما بين 50→10 mJ فإن هذه النسبة لا تتغير مع طاقة أشعة الليزر عندما تزيد الطاقة عن 20 mJ ، أمكن استخدام هذه التقنية لقياس نسبة احتراق الوقود للهواء في بيئة متحركة .

بالإضافة إلى ذلك أجريت حديثًا قياسات لدراسة الوصف الفراغي للشرارة المستحثة بواسطة أشعة الليزر في الهواء (Beduneau and Ikeda, 2004) . قد اعتمدت هذه الدراسة على تحليل الصور والانبعاث الطيفي الناتج من الشرارة المتكونة بواسطة أشعة الليزر كدالة في كلاً من طاقة الليزر والنظام البصري المستخدم . وتم استخدام مصدر ليزر النيوديميوم ياج المحكم المخرج بنبضات في حدود نانوثانية ، وطول موجي 532 nm وتم تركيز الأشعة في الهواء للوصول إلى حالة الانهيار . وقد جمعت النتائج باستخدام كاميرا (ICCD Intensefied Couple Charge Device) ، ونظام كاسي جرين البصري متزاوج مع مطياف (ICCD) . أثمرت النتائج بمعلومات عن المراحل الأولية لشرارة الانهيار المستحثة بواسطة أشعة الليزر . وقد شوهد إعادة جيدة للحصول على البلازما من حيث الموقع والشكل ، وأن هذه المعاملات تعتمد بشكل واسع على النظام البصري ، ومعدل امتصاص الطاقة في البلازما. واستخدام نظام كاسي جرين البصري لها ذو التحليل البعدي العالي لمشاهدة مستويات

التأين المختلفة في حيز البلازما ، والتي أكدت ميكانيكية التدرج الالكتروني في تكوينها . وقد تم التفسير الجزيئي للإشعال المستحث نتيجة لتكوين البلازما في خليط الغازات من خلال تأين المستويات المختلفة ، كما شوهد أيضًا انتشار البلازما العكسي على امتداد مسار أشعة الليزر وذلك باستخدام أجهزة تجريبية ذات تحليل بعدي وزمني عالي. وأعزي هذا الانتشار نتيجة لسمك البلازما بالنسبة للطول الموجي لشعاع الليزر ، والذي ينتج عنها مستويات تأين مختلفة ومعدلات امتصاص طاقة خلال البلازما وقد تم تعديل هذه المشاهدات بواسطة صور تم الحصول عليها باستخدام الكاميرا Intensefied Couple Charge Device(ICCD) .

من جانب أخر 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 Omara,2001) . في هذه الدراسة تم تطبيق نموذج التدرج الإلكتروني الذي سبق وضعة بواسطة ايفانز وجمال (Evans and Gamal, 1980) . أعتمد هذا النموذج على الحل العددي لمعادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن لحساب دالة توزيع طاقة الالكترونات بالإضافة إلى معاملات المعدل التي تصف معدل تغير كثافة مستويات الإثارة الإلكترونية للجزيئات . أكدت النتائج الحسابية صلاحية النموذج العددي لتفسير القياسات المعملية التي أجريت بواسطة ديفيز ومجموعته (Davis et al ,1991) بين شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار غاز الأكسجين وضغط الغاز على مدى الأطوال الموجية المختبرة معملياً .

ومن وجهة نظر أخرى في عام 2004 قام أدريس ومجموعته (Idris et al , 2004) بدراسة انبعاث الهيدروجين من البلازما الناتجة عن تجميع حزمة من ليزر النيودميوم ياج بطول موجي 1064 nm وطاقة 50 mJ وزمن نبضة 8 ns , على عينات من أنواع مختلفة مثل النحاس والزنك و الزجاج في وجود غازات مساعده , حيث استخدم غاز الهيليوم عند ضغط منخفض يبدأ من 2 torr ليصل إلى الضغط الجوي . تم التشعيع الضغط بواسطة قيم مختلفة من شدة استضاءة أشعة الليزر . وقد وجد أن انبعاث خط H_α بمدى طيفي ضيق يحدث بكفاءة عالية عندما تتكون البلازما في جو من الغاز عند ضغط منخفض. وقد تم وصف تغير خط الهيدروجين المنبعث مع ضغط الغاز نظرياً بنموذج الموجه التصادمية باعتبار أن كتلة الهيدروجين أخف كثيراً مقارنة بالمادة المستضيفة .

وفي عام 2005 قام باردید و مجموعته (Pardede et al , 2005) بتطوير تقنية الانبعاث الطيفي من الانهيار المستحث بالليزر (LIBS) لتحسين حالة الانبعاث الطيفي للهيدروجين من عينه صلبة في وجود غاز الهيليوم عند الضغط الجوي . في هذه التقنية تم توليد البلازما بتجميع حزمة ليزر النيوديميوم ياج عند الطول الموجي لها 1064nm في غاز الهيليوم المحيط للعينة . نتج عن ذلك إثارة ذرات الهيليوم لمستويات الإثارة الشبه مستقرة والتي تستخدم عندئذ لإثارة ذرات المادة الصلبة المتبخره باستخدام مصدر آخر من ليزر النيوديميوم ياج . وعند الضبط المحكم وضح انبعاث خط الهيدروجين H_α الناتج عند 656.2 nm تحسناً فائقاً لشدة الانبعاث والحالة الطيفية عن ذلك الذي تم الحصول عليه باستخدام الطريقة التقليدية Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) . كما أثمرت هذه الدراسة أيضاً أن هذا التحسن يرجع أساساً إلى الدور الذي تلعبه ذرات الهيليوم المثارة شبه مستقرة والتي تسمح بتأخر الكشف الناتج عند لحظه مفضله والتي فيها تتحمل الأجسام المشحونة مسئولية تأثير زيادة عرض ستارك القوي في البلازما والتي يتم اختفاؤه تحت تأثيرهذه الظروف .

وتلا ذلك في نفس العام دراسة عمليه عن تحليل الهيدروجين في عينات صلبه في وجود غاز الهيليوم عند ضغط مرتفع بتطبيق نظام يشبه نظام الانبعاث الطيفي للانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر قام بها عبد المجيد و مجموعته (Abdulmadjid et al ,2005) . أوضحت هذه الدراسة إمكانية استخدام الذرات المثارة شبه المستقرة لغاز الهيليوم لإحداث تأخير في إثارة ذرات الهيدروجين المنتزعة , وبذلك تفادي تأثير عرض شتارك للخط الطيفي وكذلك التغلب على تأثير عدم التوافق و المسئول عن الإثارة غير الكافية .

في عام 2007 أجرى رملي ومجموعته (Ramli et al , 2007) قياسات عن التحليل الكمي للهيدروجين في مادة Zircaloy- 4 . استخدام لذلك تقنية الانبعاث الطيفي للانهيار المستحث بأشعة الليزر في وجود غاز الهيليوم كغاز وسيط ومناسب لتحليل الهيدروجين المنبعث من نتائج دراسة عينات لمادة Zircaloy- 4 من محطة قوى نووية . أشارت هذه الدراسة إمكانية الحصول على انبعاث طيفي حاد جداً من الهيدروجين النقي الناتج عن أبخرة سطح ما في الهواء الجوي, وذلك باستخدام مصدر لأشعة الليزر يؤدي إلى انهيار الوسط . أوضحت نتائج هذه القياسات أهمية هذه التقنية عنداستخدامها كوسيلة للتحليل الكمي لشوائب

الهيدروجين في أنابيب مادة Zircaloy– 4 و التي تستخدم في محطات القوى النووية بالماء الخفيف .

وفي نفس العام قدم رملي ومجموعته دراسة عن تحليل الانبعاث الطيفي للهيدروجين الناتج من تكون البلازما في عينات صلبة باستخدام حزمه مجمعه من ليزر ثاني أكسيد الكربون (350 mJ – 1.5 J, 10.6 μm , 200 ns , 10Hz) في وجود غاز الهيليوم عند ضغط جوي . وقد نتج عن التفاعل ذرات مثارة شبه مستقره من الهيليوم خلال عملية الانتزاع من السطح الصلب , نتيجة للانهيار القوي للغاز , حيث تلعب البلازما المتكونة دوراً هاماً في إثارة الذرات . وقد أكد ذلك الصفات المحددة لانبعاث خط هيدروجين H_α والتي أعطت شدة استضاءة عاليه وعرض طيفي ضيق وكذلك خلفيه منخفضة مع زمن حياه طويل . ويمكن استخدام هذه التقنية لتحليل عينات من الغاز و الصلب . وفي حالة تحليل مواد صلبه غير معدنية استخدمت شبكات معدنية أمام سطح العينة ليساعد في بدء انهيار غاز الهليوم و تكون البلازما . أما لتحليل العينات المعدنية فقد أجريت هذه التقنية باستخدام مشاركة ليزر ثاني أكسيد الكربون وليزر النيودميوم ياج , حيث استخدم الليزر الأخير لانتزاع العينة الصلبة و التي تنبعث منها الذرات المنتزعة من المادة الصلبة في منطقة انهيار غاز الهيليوم المستحث بواسطة ليزر ثاني أكسيد الكربون , لتتم إثارتها بواسطة ذرات الهيليوم المثارة شبه المستقرة . وقد أمكن استخدام هذه التقنية لتحليل عناصر أخرى غير الهيدروجين مثل الهالوجينات .

وفي عام 2009 تم تحليل البلازما الناتجة عن ليزر النيودميوم ياج المحكم المخرج ذو الطاقة 50 mJ وزمن نبضة 7 ns عند تشعيع الغازات بواسطة زهانج و مجموعته (Zhang et al , 2009) . استخدم في ذلك مقياس التداخل لماخزندر Mach – Zehnder Interfrometer وأمكن في هذه القياسات دراسة توزيع كثافة الإلكترونات في ثلاثة أبعاد عند أزمنة مبكرة لتكون البلازما و طبق تحليل تحويل فوريير السريع Fast Forrier Transform (FFT) كما استخدم تحويل أبل العكسي العددي لحساب معامل الانكسار. أعطت نتائج هذه الدراسة مفهوماً للتكوين الزمني و البعدي لكثافة الإلكترونات في البلازما المستحثة بأشعة الليزر في الغازات لفترة زمنية تتراوح مابين 18-100 ns بعد انقضاء نبضة الليزر .

وفي نفس العام قام كورنيوان ومجموعته (Kurniawan et al , 2009) بعدد من القياسات عن التغير الزمني لشدة استضاءة الانبعاث لكل من الهيليوم والهيدروجين والديوتيريوم من البلازما المستحثة في غاز الهيليوم بواسطة مصدر لأشعة الليزر عند الضغط الجوي , وذلك لقيمتين مختلفتين لمعدل انسياب الغاز. وقد أشار استطالة كل من انبعاثي H_α وH_β مع ثبات نسبة شدة استضاءتهما على امتداد الفترة الزمنية إلى الحاجة لإمداد ميكانيكية إثارة أخرى عن تلك المعروفة جيداً لعملية الإثارة الحرارية في البلازما الساخنة . و ترتبط أيضاً ميكانيكية الإثارة هذه بمستوى الإثارة الشبه مستقر لذرة الهيليوم, والذي أوضحته الخواص المتشابهة لتغير الزمني المشاهد لشدة الاستضاءة المنبعثة . وتم تفسير الزيادة الملحوظة في شدة الاستضاءة و زمن حياة انبعاث خط الهيليوم عند المعدل العالي لانسياب الغاز بواسطة التصادم المستحث لزيادة كثافة ذرات الهيليوم المثارة لأعلى من المستوى الشبة مستقر $^1S_0$ 2(مستوى إثارة أدنى عند طاقة حرجة eV 19.80 و مستوى إثارة أعلى عند طاقة حرجة 20 .21 eV وزمن حياة 10^{-3} s وهذه المستويات شبه مستقرة), والمسئول ايضاً عن تأخر إثارة ذرات الهيدروجين والديوتيريوم خلال ميكانيكية تحويل الطاقة المشمولة في عملية بينج المؤدية إلى شبه التأين . بالإضافة إلى ذلك تم توضيح المميزات التي تصاحب غاز الهيليوم والتي ساعدت في تأخر إثارة ذرات الهيدروجين والديوتيريوم وكذلك الزيادة الملحوظة في شدة إستضاءة وزمن الحياة عند المعدل العالي لانسياب غاز الهيليوم بالحصول على تحليل واضح لكل من انبعاث خطي H_α و D_α .

3-1 تطبيقات ظاهرة الانهيار المستحث بواسطة الليزر

1-2 Applications of the phenomenon of laser induced breakdown

على الرغم من أن أشعة الليزر تم استخدامها في طب العيون منذ أوائل الستينات من القرن الماضي, أي مع اكتشاف أشعة الليزر نفسها وحتى يومنا هذا, (Bass et al, 1979 ;

(Wolbarsht , 1980 and Robin and Pollack, 1984 , إلا أنه في العقود الأخيرة من القرن الماضي وجد أن تفاعل أشعة الليزر مع الأوساط المختلفة يعتبر مفتاحاً هاماً لتطبيق هذه الأشعة في أفرع الطب المختلفة , حيث تم نشر كثير من المقالات العلمية تفيد بأنه أصبح من الممكن تفتيت الحصوات بواسطة أشعة الليزر (Thomsen ,1986 and Bhatta ,1989). وظهر هذا الخبر محيراً في بادئ الأمر من حيث كيف يمكن لأشعة الليزر أن تفتت الوسط ولكنها كانت حقيقة , حيث أمكن لهذا التفاعل أن يكون وسيلة نافعة في تطبيقات الليزر الطبية لخدمة الإنسانية . ويتم ذلك عن طريق إدخال ألياف ضوئية (مناظير طبية) تحمل أشعة الليزر لتقوم بتفتيت حصوات الكلي في المرضى عن طريق تفاعل المادة المكونة للحصوات مع أشعة الليزر ذات الطاقة العالية والتي تؤدي في النهاية إلى تفتتها . وقد أوضحت النتائج العملية نجاح هذه التطبيقات في مجال المسالك البولية لتفتيت حصوات الكلى والمثانة . بالإضافة إلى ذلك تمكن الأطباء باستخدام هذه الظاهرة إزالة جلطات القلب من الشرايين الرئيسية عن طريق المنظار الطبي دون الحاجة إلى جراحة (Princ et al, 1986 ,1987 ;Clarke ,1988 and LaMuraglia , 1988) وكذلك في إمراض العيون (Zysset et al ,1989) .

و استخدمت هذه الظاهرة أيضا كتقنية متقدمة لإزالة التسوس وتجويف الفجوات في الأسنان, ودراسة أسبابها عن طريق التحليل الطيفي (Niemz ,1996) . كما استخدم الانبعاث الطيفي في منطقة الانهيار في كثير من التطبيقات مثل التطبيقات الطبية حيث تم تشخيص وعلاج الأمراض كالأورام السرطانية والأمراض الجلدية بتحليل الأطياف المنبعثة من منطقة التفاعل .

أما تفاعل أشعة الليزر ذات الشدة العالية مع المواد الصلبة سواءً كانت عازلة أو موصلة فقد لاقى اهتماماً كبيراً في الصناعة , حيث استخدمت هذه الأشعة في عمليات القطع واللحام والتثقيب بطريقة متناهية الدقة والجودة . كما استخدمت في قياس سمك التآكل وذلك عن طريق التحليل الطيفي لأشعة الانبعاث(Adrain et al, 1980 , 1984) .

بالإضافة إلى التطبيقات الطبية والصناعية لأشعة الليزر فإن اكتشاف هذه الأشعة قد أعطى الكيميائيين العديد من التقنيات الجديدة لدمج المواد وطرق بدء التفاعلات الكيميائية وكذلك التحليل الزمني السريع للمواد , حيث مكنت هذه التقنيات الباحثين من قياس النسب

الضئيلة من الشوائب في المواد . وساعد تشغيل أجهزة ليزر الصبغات في أواخر الستينات من القرن الماضي , والتي تتصف بمقدرتها على التحكم في الطول الموجي المستخرج المصاحب لهذه الأشعة, من التقدم الملحوظ في الدراسات الطيفية لقياس درجة التلوث في العديد من المواد مثل الهواء والماء والمعادن بأشكالها وأوصافها المختلفة بالإضافة إلى النبات والتربة (Diomande et al, 1998 ;Yasunari et al, 1998) , وهي من أهم التطبيقات التي تخدم البشرية حيث أن تلوث البيئة ازداد بنسبة عالية في دول العالم وهذا بالتالي اثر على صحة الإنسان (Dolson et al,1981) .

وقد بدأت هذه الدراسات باستخدام أجهزة الليدار التي تستخدم أشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون ذات الطاقات العالية , لتكوين مناطق متأينة ذات وميض طيفي في الهواء , ورصد الملوثات الكيميائية عن طريق دراسة الأطياف المنبعثة من هذه المناطق وتحديد نسب الملوثات بها . أوضحت النتائج المعملية أن هذه التقنية في قياس التلوث فاقت كثيراً من حيث الدقة تلك الطرق الكلاسيكية التي كانت تستخدم فيما قبل.

وزاد الاهتمام بدراسة تلوث البيئة بعد التطور المستمر في أجهزة الليزر حيث تمكن الباحثين في نهاية الثمانينات من القرن الماضي من تعديل أجهزة ليزر النيوديميوم ياج وذلك عن طريق استخدام بلورات تعمل على التحكم في الطول الموجي مثل KDP,BBO وأصبحت هذه الأجهزة تستخدم بديلاً لليزر الصبغات وذلك لسهولة حملها إلى المواقع التي يتم فيها القياس . تعتمد هذه الدراسة على قياس الطيف المنبعث من المناطق المضيئة الناتجة من تفاعل أشعة الليزر مع هذه المواد نتيجة لتأينها . وأثبتت هذه التقنية كفاءتها من حيث الدقة العالية للكشف عن الجسيمات الدقيقة عن طريق تشتت الأشعة (Giammanco and Gozzini ,1981 ;Alexander et al, 2000) , وكذلك النسب الضئيلة جدا من الملوثات الكيميائية باستخدام الوميض المحث بواسطة أشعة الليزر (Laser Induced Fluorescence LIF) . وقد ركزت الأبحاث والدراسات اهتمامها لاستخدام هذه الظاهرة كأحد الطرق الأساسية للبحث عن ملوثات الهواء والتي باتت من أهم المخاطر البيئية . (Amirav et al ,1980;Coveleskie et al, 1980)

وتطورت هذه الأجهزة فاستخدمت مصادر مختلفة من أشعة الليزر ذات أطوال موجية تغطي مدى واسع من الأشعة الكهرومغناطيسية لتحديد نسب الملوثات من المواد الكيميائية والعضوية وغيرها في الهواء الجوي(Gasmi et al ,2000)

ومن جهة أخرى أتاح استخدام أشعة الليزر ذات شدة الاستضاءة العالية عملية تأين الغازات التي يتولد عنها قوة دفع عالية, تستخدم في القواعد الأرضية للصواريخ لدفعها إلى الفضاء الخارجي . في هذه الحالة يتم تركيز شعاع الليزر في نفاث الصاروخ , حيث يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة الوقود لدرجة حرارة عالية تعمل على تسخين الغاز وإعطائه قوة دفع تعادل قوة محرك يعمل بكفاءة عالية, تزيد كثيراً عن تلك القوة التي يمكن الحصول عليها عن طريق العبوات الكيميائية الدافعة (Weyl et al, 1982) .

كما استخدمت هذه الظاهرة أيضا في تطبيقاً هاماً يخدم البشرية وهو قدح البرق , حيث أمكن استخدام أشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون ذات شدة الاستضاءة العالية, والتي يمكنها أن تنتشر في الجو لمسافات بعيده, لتحديد مسار البرق وتفريغ شحنته (Xin Miao et al . (1995, من المعروف خطورة البرق على الكائنات الحية وكذلك على الطائرات والصواريخ التي تتواجد بالقرب من سحب مكهربة, حيث تؤدي هذه السحب لتحطمها إذا قدح البرق عفوياً, بالإضافة إلى أن العواصف الرعدية تؤثر على مركبات الفضاء بالرغم من الاهتمام في تصميمها. ويعتبر المجال الكهربي في السحب ذو شدة ضعيفة للحد الذي لا يمكنه إن يطلق البرق من نفسه , وعلى الرغم من ذلك فان شدته يمكنها تعزيز البرق بعد أن يبدأ بفعل الصاروخ . لذلك فانه من المهم أن تكون هناك وسيلة لتحديد ومعرفة السحب الحاملة للشحنات الكهربية , وإمكانية تفريغ شحنتها لحماية عمليات النقل الجوي بالإضافة إلى حماية المنشآت الأرضية مثل محطات الجهد العالي وعمليات التنقيب عن المعادن . وهذا ما تفعله أشعة الليزر عند توجيهها نحو السحب المشحونة لتفريغ شحنتها خلال عملية التأين وكذلك التحكم في مسار هذه السحب .

وأخيراً تم استخدام ظاهرة الانبعاث الطيفي الناتج من مناطق الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر للكشف عن المحتوى الكربوني في البيئة عند ارتفاع كل من درجة الحرارة والضغط , حيث قام نودا و مجموعته (Noda et al , 2002) بتحليل الانبعاث الطيفي من مناطق الانهيار للكشف عن الكربون في الرماد المنتشر في الهواء الجوي والفحم المحترق ,

عند درجات حرارة مرتفعة وضغط عالي . كما تستخدم هذه التقنية في الكشف عن الكربون في محطات القوى وذلك باختبار تأثير مكونات الغاز للحصول على انسب معاملات يمكن أن تعمل بها هذه المحطات .

ومما سبق يتضح أن جميع تطبيقات أشعة الليزر في نواحي الحياة المختلفة تعتمد على العلاقة بين ميكانيكية تفاعل الأشعة مع الأوساط المادية وخصائص هذه الأشعة كمحور رئيسي يدور حوله أياً من هذه التطبيقات . من هنا كانت دراسة ميكانيكية التفاعل بين أشعة الليزر والوسط لها من الأهمية الدور الفعال لتحديد خصائص أشعة الليزر من حيث شدة الاستضاءة والطول الموجي أو التردد وطول زمن النبضة كركيزة أساسية لاختيار أشعة الليزر المناسبة لكل تطبيق .

4-1 الهدف من البحث

1-4 Aim of The Present Work

كما رأينا أن الغازات الخاملة وعلى وجه الخصوص غاز الهيليوم يستخدم كوسط مساعد لاستخراج الأشعة السينية من البلازما المتولدة من سطح صلب باستخدام أشعة الليزر. وفي السنوات الأخيرة استخدم هذا الغاز ايضاً للحصول على بلازما كوسط مساعد لتحسين الانبعاث الطيفي لغاز الهيدروجين من عينات صلبة , وفي كلتا الحالتين تستخدم البلازما الناتجة عن انهيار الغاز . وقد أوضحت القياسات التي أجريت بواسطة تركو و مجموعته (Turcu et al , 1997) لدراسة ظاهرة انهيار عدد من الغازات الخاملة منها (الهيليوم والنيون و الارجون و الكربتون بالإضافة إلى الهواء الجوي) بواسطة نبضات من ليزر الأكسيمر بطول موجي 248 nm وزمن نبضة 18 ns لتحديد شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار كدالة في ضغط الغاز. أن قيم الشدة المقاسه عملياً في منطقة التفاعل قد تصل إلى 3×10^{13} W/cm^2 . تمت هذه الدراسة عند مدى لضغط الغاز يتراوح مابين 10^{-4} torr < p < 10 , وقد أشارت هذه الدراسة أن أعلى قيم لشدة الاستضاءة تناظر غاز الهيليوم عند المدى المرتفع لضغط الغاز , و أقلها تلك المقاسة لغاز الكريبتون عند قيم منخفضة لضغط الغاز . وحيث أن شدة الاستضاءة تتحدد بالعمليات الفيزيائية المسئولة عن ظاهرة الانهيار بجانب طبيعة الغاز من حيث ضغط الغاز و طاقة تأينه , لذلك يهدف هذا البحث إلى

تفسير هذه القياسات المعملية متجهاً إلى تحديد العمليات الفيزيائية المسئولة عن انهيار كل من غازي الهليوم والكربتون لتوضيح العلاقة بين قيم شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغاز كداله في طبيعة الغاز و الضغط .

ويعطي **الفصل الثاني** شرحاً مفصلاً عن علاقة شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز والعمليات الفيزيائية المسئولة عن الانهيار.

أما **الفصل الثالث** فيقدم عرضاً عن بعض النماذج النظرية والعددية التي سبق وضعها لتفسير الظواهر الفيزيائية التي تصاحب تفاعل أشعة الليزر مع الغاز المؤدي إلى حالة الانهيار في الغازات.

أختص **الفصل الرابع** بسر مفصل عن الدراسة النظرية التي وضعت لتفسير ظاهرة انهيار غازي الهيليوم و الكريبتون بواسطة أشعة الليزر و يشتمل على إعداد النموذج العددي ومساحات مقطع ومعدلات العمليات الفيزيائية التي أدمجت في النموذج في حالة كلاً من غازي الهيليوم و الكريبتون .

يعرض **الفصل الخامس** نتائج حسابات النموذج العددي ومناقشتها.

أما **الفصل السادس** فيقدم الخلاصة يتبعها نظرة مستقبلية لهذه الدراسة .

وتم تذييل الرسالة بقائمة من المراجع التي تم استخدامها في هذا البحث وعدد من الملاحق وملخص باللغة الإنجليزية .