الفصل الأول
Chapter (1)

مقدمة و مسح مرجعي
Introduction and Literature Survey

(1-1) مقدمة *(1-1) Introduction*

يكمن الاهتمام بانهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر في عدد التطبيقات الواسعة للبلازما المتكونة ذات درجة الحرارة و كثافة الإلكترونات العالية . ويمثل انهيار الغازات الخطوة الأولى في الدراسات التي تهتم بالانهيار المنحصر بالقصور الذاتي وتسخين البلازما بواسطة أشعة الليزر . وتتميز البلازما الناتجة في هذه الحالة عن تلك الشرارة التي تحدث أثناء التفريغ الكهربي بين الأقطاب بحجمها المتناهي الصغر, و طبيعتها الانتقالية , واختلاف أبعادها الهندسية . كما أنها تعتمد على خصائص أشعة الليزر التي تُحدث الانهيار, و عادة ما تتأثر بالنظام البصري المستخدم في القياسات مثل تغير بناء نمط الليزر والانحراف البصري للعدسة المجمعة لحزمة الليزر وغيرها .

وقد استخدمت الشرارة المستحثة بواسطة أشعة الليزر كمصدر لإنتاج الأشعة السينية (Wang et al, 1998) و الأشعة فوق البنفسجية البعيدة في الغازات النادرة (Kranzusch et al, 2003) وكذلك للحصول على مفاتيح فائقة السرعة (Dhareshwar et al , 1991 ؛Bellecci et al, 2003). كما أن لها المقدرة أيضاً في بدء إشعال الغازات المختلطة (Ma et al, 1998) أو حتى في إطفاء اللهب المنتشر(Phuoc et al, 2002).

وقد أشارت الدراسات العملية (Turcu et al ,1997) والنظرية (Gamal et al,1999) إلى أن أهم العمليات المسئولة عن تكوين الشرارة بواسطة أشعة الليزر هي :

التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات و التأين التدريجي . في العملية الأولى يحدث التأين نتيجة لامتصاص متلازم لعدد من الفوتونات لها طاقة تساوي جهد التأين للغاز. و قد وُجد أن الفيض الفوتوني اللازم لعملية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات يتغير مع ضغط الغاز (p) وفقاً للمقدار ($p^{-1/k}$) حيث k هي عدد الفوتونات الممتصة بواسطة ذرة أو جزيء في الوسط . أما العملية الأخرى فهي عملية التأين التدريجي و فيها تمتص طاقة المجال الكهربي لأشعة الليزر بواسطة الإلكترونات الحرة خلال تصادمها تصادماً مرناً مع ذرات (جزيئات) الغاز. وعند استخدام أشعة ليزر ذات شدة استضاءة عالية فإن الإلكترون يكتسب مقداراً كافياً من الطاقة , يمكنه عندئذ أن يعاني تصادماً غير مرناً مع الذرات المتعادلة مؤدياً لتأينها . ويحدث الانهيار عندما تصل كثافة الإلكترونات المتحررة إلى قيمة حرجة بغض النظر عن احتمالية فقد بعضها خلال نبضة الليزر نتيجة لعمليات الفقد , كعملية انسياب الإلكترونات خارج حيز التفاعل عند الضغوط المنخفضة للغاز أو إعادة اتحادها مع الأيونات الموجبة في حالة القيم المرتفعة لضغط الغاز . وقد اتجهت القياسات العملية و الدراسات النظرية لتعيين شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغاز بالأخذ في الاعتبار فقط التغير الزمني للشدة في حيز التفاعل. واهتمت هذه الدراسة بتغير شدة الاستضاءة كدالة في خصائص أشعة الليزر(الطول الموجي , زمن النبضة , شدة الاستضاءة ,حجم حيز التفاعل) ؛ وطبيعة الوسط (الضغط و طاقة التأين) (Phuoc ,2000).

و من جهة أخرى أجرى الباحثان يامادا و أوكودا (Yamada and Okuda,1979) دراسة لتفسير آلية تكوين البلازما الناتجة بواسطة شعاع من ليزر الياقوت المحكّم المخرج في غاز الأرجون عند قيم مرتفعة لضغط الغاز. وقد أشارت نتائج هذه الدراسة أنه بعد الحصول على حالة من الانهيار الابتدائي للغاز في بؤرة العدسة المجمعة , فإن البلازما المتكونة تتجه للخلف في اتجاه العدسة,كما لوحظ أن البلازما تتمدد تمدداً سريعا مع زيادة ضغط الغاز .وفي العقد الأخير من القرن الماضي استخدمت هذه الظاهرة للحصول على نوع جديد من مفتاح الفجوة أطلق عليه جسر مفتاح الفجوة الناتج عن بلازما الليزر,حيث أن تمدد البلازما في هذه الحالة يؤدي كلية إلى ملء الفراغ مكوناً جسراً لمفتاح الفجوة (Yamada et al,1991).

و في السنوات الأخيرة مع التطور السريع لمصادر أشعة الليزر اهتمت الدراسات بقياس آلية انتشار حزمة أشعة الليزر في حيز التفاعل خلال ظاهرة الانهيار عند مدى واسع من ضغط الغاز و طول نبضة الليزر(Lange et al,1998؛ al ,1998 Mlejnek et). وتحقق ذلك نظرياً بوضع علاقة رياضية مبسطة لوصف التغير الزمني و

البعدي لشدة الاستضاءة في حيز التفاعل لتفسير كيفية انتشار حزمة الليزر, ولم تتطرق هذه الدراسات للعمليات الفيزيائية التي تمتص بها طاقة الأشعة للحصول على كثافة عالية من الإلكترونات في حيز التفاعل و تلك التي تعمل على فقد طاقة الإلكترونات أو الإلكترونات ذاتها و كذلك آلية انتشار هذه الطاقة في البلازما المتكونة في حيز التفاعل.

(2-1) المسح المرجعي *(1-2) Literature survey*

بدأ الاهتمام بدراسة التفريغ الكهربي للغازات في أنابيب التفريغ منذ العشرينات من القرن الماضي وللآن, حيث أجريت أبحاث عديدة لدراسة العمليات الفيزيائية التي تؤدي إلى تأين الغازات و تحولها من الحالة العازلة إلى الحالة الموصلة (Ramsuer ,1921 ؛ Massey and Burhop ,1952 ؛ Christophorou and Pinnaduwage,1990 ؛ Bhoj and Kushner , 2004).

ومنذ اكتشاف أشعة الليزر ذات شدة الاستضاءة العالية (Maiman ,1960) اعتبرت هذه الأشعة من أهم المصادر لعمليات التفريغ الكهربي في الغازات , و اقتصرت الدراسة في بادئ الأمر على الغازات الخاملة نظراً لبساطة تركيبها . ففي عام 1963 أجرى الباحثان ميراند وهيوج (Meyerand and Haught ,1963) قياسات لتعيين خواص أشعة الليزر التي تؤدي إلى انهيار الغازات الخاملة . في هذه الدراسة تم تشعيع الغازات عند ضغوط معينة بواسطة أشعة ليزر تم تجميعها بعدسة لتعطي شدة استضاءة عالية,و ذلك لفحص التغير في الوسط الناتج عن التأين و انهيار الغازات عند بؤرة العدسة خلال نبضة الليزر . وتبع ذلك العديد من الدراسات المعملية و النظرية لفهم العمليات الفيزيائية الأساسية التي تؤدي إلى تحول الغاز في الحجم البؤري المتناهي الصغر من الحالة المتعادلة (العازلة كهربائياً) إلى الحالة الموصلة كليةً بواسطة أشعة الليزر (Rosen and Weyl ,1987 ؛ Turcu et al ,1997؛ Phuoc, 2000 ؛ Gamal and Azzouz, 2001).

وقد اتفقت هذه الدراسات على أن الانهيار في الغازات يتم بواسطة عمليتان أساسيتان هما :

عمليـة الامتصـاص متعـدد الفوتونـات وتـؤدي هـذه العمليـة إلـى تـأين الغـاز بواسـطة الإمتصاصـات المتتابعـة لفوتونـات أشـعة الليـزر التـي تعمـل علـى انتقـال الـذرات أو جزيئـات الوسط خـلال مستويات تخيلية تنتهـي إمـا بإثـارة أحد المستويات المسمـوحة بصـرياً أو إلـى تأينهـا .

أمـا العمليـة الثانيـة التـأين التـدريجي هـي عمليـة امتصـاص فوتونـات أشـعة الليـزر بواسـطة الإلكترونـات الحـرة المتواجدة فـي حيز التفاعل المتنـاهي الصـغر (10^{-9} cm^3-10^{-4} cm^3) عند بؤرة العدسة المجمعة خلال عملية تصادم مرن مع ذرات الغاز المتعادلـة . وسميت هذه العملية **بالعملية العكسية لبرمشتراهلنج** وهـي تؤدي إلـى النمو التدريجي لكثافـة الإلكترونـات الحرة والأيونـات الموجبـة فـي حيز التفاعل . وقد أُجريت القياسات لتحديد شدة الاستضـاءة اللازمـة لانهيـار الغـاز كدالـــة فـي ضـغط الغـــاز ونـــوعـــه وحجـــم حـــيز التفـــاعل (Sircar et al ,1996؛ Weyl et al ,1982؛Dewhurst ,1978).

وتوافقت هذه النتائج المعمليـة مع التوقعـات النظريـة التي تفسـر ظاهـرة انهيـار الغاز بواسطة أشعـة الليزر(Chan and Moody, 1974 ؛ Weyl and Rosen,1985 ؛ Gamal and Azzouz ,1987 ؛ Gamal et al ,1999).

في العقد الأخير من القرن الماضي تم تطوير أجهزة الليزر حيث أمكن الحصول على أجهزة تعمل بأكثر من طول موجي تحت نفس الظروف المعملية كالحصول على الأطوال الموجية للأربع توافقيات الأولى لليزر النيوديميوم يـاج (first four harmonics) بأطوال موجيـة 1064, 532, 355, 266 nm. في عام 1991 أجريت القياسـات لتحديد شـدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغازات الجزيئيـة ثنائيـة الـذرة و كذلك الغازات الخاملة كـدالة في الطول الموجـي تحـت نفـس الشـروط المعمليـة بواسطة ديفـز ومجموعتـه (et al,1991 Davis). وتبع ذلك سيركار ومجموعتـــه (Sircar et al,1996)حيث أجرى قياسات لتحقيق نفس العلاقة بالنسبة لهذه الغازات . وعلى الرغم من دقة القياس و ثبوت الظروف المعملية في القياسات إلا أن نتائج القياسات أوضحت عدم توافق في تغير شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغازات كدالة في الطول الموجي حيث شوهد قيمة عظمى لشدة الاستضاءة عند الطول الموجي 355 nm في القياسات التي أُجريت بواسطة ديفز ومجموعته.

و تم تفسير هذه الظاهرة في حالة الغازات الجزيئية ثنائية الذرة (النيتروجين و الأكسجين) حيث أُعزيت إلى عمليات فقد طاقة الإلكترونات نتيجة لعمليات الإثارة الدورانية و الإهتزازية للجزيء التي تحدث عند الطاقات المنخفضة للإلكترونات (Gamal et al ,1999) وكذلك

عملية التصاق الإلكترونات لتكوين أيونات سالبة في حالة غاز الأكسجين (Gamal and Omara , 2001) .

وفي السنوات الأخيرة أمكن تفسير هذه الظاهرة في غاز الأرجون (Hamam,2005) حيث وجد أن هذه الظاهرة تعتمد أساساً على طاقة الفوتون و التي هي أساس عملية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات .

و مع تطور أجهزة ليزر الأكسيمر للحصول على مصدر قوي يعمل في منطقة الأشعة فوق البنفسجية , حيث أن طاقة الفوتون المصاحبة لهذه الأشعة تتخطى تلك التي تصاحب الضوء المرئي أمكن الحصول على بلازما كثيفة بكفاءة عالية عند تجميع هذه الأشعة بواسطة عدسة في الغازات الذرية . فمثلاً عند تجميع حزمة من أشعة ليزر كلوريد الزينون في غاز الأرجون عند ضغط مرتفع , تم الحصول على بلازما كثيفة تنتشر ليس فقط في الاتجاه الخلفي و إنما أيضاً في الاتجاه الأمامي و التي تختلف عن تلك التي تم الحصول عليها بواسطة أشعة الليزر التي تقع في منطقة المرئية .و قد أمكن فقط حساب طول البلازما المنتشرة إلى الخلف و المتكونة بواسطة ليزر الأكسيمر و أعطت نتيجة هذه الحسابات توافقاً مع القياسات العملية , بينما لم تعطي هذه الدراسة تفسيراً لآلية الانتشار الأمامي للبلازما Yamada et al (,1994).

وفي محاولة لتفسير آلية الانتشار الأمامي أجريت قياسات على غاز الأرجون عند ضغط مرتفع يصل إلى 150 ضغط جوي شعع بواسطة ليزر الأكسيمر (كلوريد الزينون) بقدرة عظمى تصل إلى 17 MW وطول نبضة 30 ns . وقد تم وضع نموذج مبسط لدراسة آلية الانتشار الأمامي أطلق عليه موجة الانهيار الأمامي . في هذا النموذج أخذ في الاعتبار تأثير ظاهرة التجمع الذاتي لحزمة أشعة الليزر والتي تؤدي إلى صغر نصف قطر البلازما عن نصف قطر الحجم البؤري . وقد تمكن هذا النموذج من التنبؤ بالسلوك العملي للانتشار الأمامي بقدر جيد (Tsuda and Yamada,1997) .

وفي عام 2003 أجريت دراسة بواسطة بندهو ومجموعته (Bindhu et al ,2003) لقياس انتشار نبضة الليزر و امتصاص الطاقة في شرارة الأرجون المستحثة بواسطة أشعة الليزر عند قيم مختلفة لضغط الغاز . أستخدم في ذلك ليزر النيوديميوم ياج المحكّم المخرج الذي يعمل عند التوافقية الثانية له بطول موجي يقع في المنطقة المرئية(532 nm) وطول نبضة 8 ns. وقد أوضحت نتائج هذه القياسات أن امتصاص الطاقة بواسطة البلازما يحدث

بفاعلية عالية عند قيم ضغط الغاز التي تزيد عن 100 Torr . وقد وُجد أنه عند قيم لطاقة الليزر أعلى من الطاقة اللازمة للانهيار فإن البلازما تتحرك فقط في الاتجاه الخلفي بينما تختفي المركبة الأمامية , مما يدل على الامتصاص القوي لطاقة أشعة الليزر بواسطة مقدمة البلازما . ولم تعطي هذه القياسات أي تفسير للعمليات الفيزيائية المسئولة عن هذه الظاهرة .

وفيما يلي سوف نقدم شرحًا عن الدراسات التي أجريت حول المفاهيم الفيزيائية التي تفسر ميكانيكية الانهيار تحت تأثير أشعة الليزر .

(1-2-1) آلية الانهيار *(1-2-1) Breakdown mechanisms*

مما سبق يتضح أن انهيار الغازات بواسطة أشعة الليزر ذات شدة الاستضاءة العالية يتم خلال عمليتان أساسيتان ، هما التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات ، والتأين بالتدرج الالكتروني (أو ما يطلق عليه العملية العكسية لبرمشتراهلنج) .

وقد أجريت الكثير من القياسات العملية و الدراسات النظرية للحصول على مفاهيم فيزيائية لهاتين العمليتين كما سنوضح فيما يلي .

(1-2-1-أ) قياسات معملية ودراسات نظرية عن تأين الوسط بواسطة عملية الامتصاص متعدد الفوتونات

(1-2-1-A)Experimental measurements and theoretical studies on the ionization of a medium by multiphoton absorption processe.

فيما يلي سوف نستعرض الدراسات النظرية والعملية التي أجريت للحصول على مفاهيم فيزيائية بأنه يمكن لشعاع الليزر ذاته أن يؤين الوسط نتيجة لامتصاص متلازم لعدد من الفوتونات لها طاقة تساوي طاقة التأين . بدأت هذه الدراسة منذ عام 1931 حيث درس الباحث

جوبيرت ماير (Geoppert-Mayer ,1931) احتمالية تأين ذرة نتيجة لامتصاص متلازم لعدد k من الفوتونات بشرط أن يكون $k h\upsilon \geq \varepsilon_i$ حيث ε_i هي طاقة تأين الذرة . وقبل اكتشاف مصادر ذات قدرة عالية من أشعة الليزر لم يكن من الممكن إعطاء تفسيراً عملياً لهذه الاحتمالية . وبعد الحصول على هذه المصادر توصل الباحثين إلى أن معدل التأين بواسطة الامتصاص متعدد الفوتونات (Keldysh, 1965) يتغير كدالة في I^k (حيث I هي شدة استضاءة أشعة الليزر معبراً عنها بـ W / cm^2) . كما وجد أيضًا أن كثافة الالكترونات الناتجة عن تفاعل نبضات من أشعة الليزر ذات شدة استضاءة ثابتة تزيد بطريقة خطية مع الزمن خلال زمن النبضة (Tozer, 1965) .

ومن جهة أخرى استخدم الباحث كلديتش (Keldysh, 1965) مدخلاً مختلفاً اعتمد فيه على امتداد الدراسة الهامة التي قام بها بنكين (Bunkin , 1964) لتحديد الخصائص التي تصاحب وجود ذرة في مجال ذو مصدر إشعاعي قوي ومنه استنتج علاقة عامة لاحتمالية التأين بواسطة مجال كهربي ذو شدة عالية . وأنتجت معالجة كلديتش عند المجالات ذات الترددات المنخفضة الظاهرة المعروفة لتحرير الالكترونات خلال التأثير النفقي ، أما عند الترددات العالية والتي تناظر الانهيار الناتج عن الترددات البصرية فان احتمالية التأين تتناسب مع الفيض الفوتوني مرفوعاً للقوى k (رتبة اللاخطية).

ومن أهم الدراسات العملية المثمرة التي تختص بعملية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات تلك المجموعة ذات التفسيرات الدقيقة التي أجريت في مركز ليبديف (Delone et al , 1965 ,1966 ,1966 ,1967,Voronov, 1967 Voronov et al, 1968 ,1969). وكذلك في سكلي بفرنسا (Agostini et al, 1968 ,1970 ,1971)، حيث تم اختبار تأثيرات مختلفة في اختيار أنظمة العدسات المصححة وكذلك في استخدام مصادر أشعة الليزر ذات المخارج المستقرة لتقليل عدم الدقة الناتج عن الزيغ الكروي وتغيرات شدة استضاءة الحزمة نتيجة لعدم تحكم الخصائص الزمنية و البعدية لها .

وتم وضع العديد من التحاليل التي تؤدي لتعين معدل الانتقال والذي يعطي بدوره تقديراً لكثافة الفيض الفوتوني اللازم للحصول على درجة تأين محددة (Gold et al ,1965 ,Bebb et al, 1966, Gontier and Trahin ,1967 a,b ,1968 a,b , Morton 1967 ,Vonorov, 1967 ,Chan and Tang ,1969 ,Lambropoulos ,1976 ,Mainfray

1982,) . وأوضحت هذه التحاليل أن مستويات الطاقة المتوسطة تساهم فقط في تحديد قيمة احتمالية التأين وكذلك الفيض الفوتوني المصاحب لأشعة الليزر إذا ما توافقت طاقة عدد من الفوتونات مع طاقة أحد مستويات الطاقة المتوسطة (المثارة) في الذرة . كما يمكن أيضاً الحصول على توافق بين طاقة أحد مستويات الطاقة المتوسطة (المثارة) وطاقة عدد من الفوتونات الممتصة نتيجة لإزاحة مستويات الطاقة تحت تأثير شدة المجال الكهربي المصاحب لأشعة الليزر . وهذا بالتالي يؤدي إلى زيادة معدل التأين كما يمكنه أن يؤدي إلى عكس ذلك وتعتمد هذه الإزاحة أساساً على شدة استضاءة أشعة الليزر . وقد أكدت هذه الظاهرة بعدد من التجارب عند استخدام غازات ذرية وجزيئية (Baravian et al , 1970 ؛ Berezhetskaya et al , 1972).

بالإضافة إلى ذلك تم توضيح الزيادة الملحوظة في احتمالية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات عند استخدام مصادر من أشعة الليزر لها مخرج يعمل بأنماط طولية متعددة (Bebb and Gold ,1966 ؛ Agarwel, 1970 Carusotto ؛ Debethune, 1972, and Starti ,1973). في هذه الدراسة تم قياس كثافة الأيونات المتحررة بواسطة هذه العملية في غاز الزينون كدالة في متوسط شدة استضاءة أشعة الليزر باستخدام أشعة ليزر ذات نمط عرضي مفرد والذي يمكنه أن يعمل بعدد متجاور متغير من الأنماط الطولية . وأوضحت نتائج هذه الدراسة أنه عند تشغيل مصدر الليزر بأنماط متعددة فان كثافة الأيونات المتحررة يزداد بمعامل يتغير من $k! \rightarrow 1$ معتمداً على عدد الأنماط المستخدمة حيث k رتبة اللاخطية .

وأوضحت هذه التجارب انه في جميع الأحوال يحدث زيادة ملحوظة في احتمالية التأين مع نقص واضح في عدد الفوتونات الممتصة (التي يطلق عليها رتبة اللاخطية) . وقد تمت دراسة التأثير الرنيني في حالة ذرات بخار السيزيوم باستخدام مصدر من نبضات الليزر المتوافقة بواسطة عدد من الباحثين (Lampre .et.al., 1978 ؛ Gontier and Trahin ,1979).

من جهة نظر أخرى أجريت حسابات عديدة لتعين احتمالية التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات لذرات غاز الهيليوم والهيدروجين وأبخرة القلويات (Aymar and Crance 1980 a,b, 1981, Crance and Aymar, 1980 a,b)، واعتمدت هذه الدراسات على نظام ذري مع الأخذ في الاعتبار مساهمة مستويات الطاقة المثارة العليا ، وكذلك منطقة الاستمرار

بواسطة إدخال المؤثرات الفعالة (effective operators) . كما قاما أيضاً بوضع نموذج لوصف ديناميكية التأثير بالامتصاص متعدد الفوتونات في اتجاه مناطق الاستمرار المتعددة . كما تم أيضاً إعطاء تفسيرًا عملياً للأيونات متعددة الشحنة التي نتجت عن التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات في الغازات الخاملة (L'Huillier et al , 1983)، وكذلك في الكالسيوم باستخدام نبضات ذات مدى في حدود البيكوثانية (Agostini and Petite, 1984).

في عام 1984 تمكن الباحث كرانس (Carance ,1984) من إعطاء تفسيراً ناجحاً للنتائج العملية للغازات الخاملة باستخدام نظرية إحصائية بسيطة . أما في عام 1985 فقد تمت دراسة عملية التأين الثاني لذرات بخار الإسترانشيوم بنبضات ذات مدى بيكوثانية من ليزر الصبغات بواسطة الباحثان أجوستيني و بيتي (Agostini and Petite, 1985) وأوضحت هذه الدراسة أن التأين يحدث خلال خطوتين ، حيث يشمل أولاً على تأين يزيد عن طاقة التأين ويتبعه تأين متوافق مع طاقة تأين أيون .

وفي عام 1986 قام كرانس بدراسة التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات في اتجاه منطقة الاتصال المتعدد (الدور الذي تلعبه شحنة الفضاء) (Carance , 1986) . أوضحت هذه الدراسة أنه عند ضغوط الغاز المنخفضة فان شكل التوزيع الطيفي لطاقة الالكترونات يمكن أن يتغير بشدة بتأثير شحنة الفضاء وذلك عند مشاهدة عدد كبير من القيم العظمى في طيف طاقة الالكترونات .

في عام 1997 أجريت قياسات على تأين غاز الزينون بواسطة الامتصاص متعدد الفوتونات المؤدي إلى حالة الانهيار البصري للغاز (Pett and Tsubin , 1997) ، وذلك باستخدام حزم من أشعة الليزر غير تقليدية والتي تكون خالية تمامًا من الحيود ذات أنماط ببناء حلزوني لها شكل جاوسي-لاجير . وذلك بمساعدة أقنعة للسعة كقناع على شكل قرص أو ثقب دائري يمكنه تحويل الحزمة الجاوسية الشكل إلى حزمة حلقية . و يتم انتقال طاقة النبضة بحيث تتوزع على حلقة ، وتكون 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 . وأوضحت النتائج أن تأين غاز الزينون يتم بامتصاص ستة فوتونات من المستوى الأرضي ، حيث يكون هناك توافقًا بين طاقة الفوتونات وطاقة تأين الغاز ، يؤدي إلى تحول ملحوظ في طيف التأين . وقد لوحظ انخفاض شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار في بعض

مناطق الطيف عند امتصاص عدد من الفوتونات لإثارة الغاز الذي يتبعه تأين سريع وذلك في حالة حزم أشعة الليزر ذات القلب المغلق (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 الذي نتج في حالة الحزم الجاوسية التقليدية . وهذا بالتالي أدى إلى ظهور مسارات تأين إضافية وتحول في طيف التأين .

وقد وجد أنه باستخدام نبضات متناهية القصر من أشعة الليزر فإن النمذجة التقليدية لظاهرة الانهيار لا تكون من الدقة التي تمثل التفاعل المؤدي للانهيار بين أشعة الليزر والمواد . لذلك تم وضع نموذج لانهيار المواد بواسطة أشعة الليزر ذات النبضات في حدود الفيمتوثانية (Sun and Longtin , 2001) ، وذلك للحصول على تفسير لتصرف خواص النبضة مع التغير الزمني والبعدي لمنطقة الانهيار واشتمل النموذج على انتشار نبضة في منطقة محدودة من الفراغ من قطار النبضات المتناهية القصر من أشعة الليزر . وأوضحت النتائج أن النموذج يمكن أن يُستخدم في متابعة ظاهرة الانهيار بدقة في المنطقة البؤرية لأزمنة نبضة تقل عن 10 ps . أيضًا يمكن استخدام النموذج لتقدير التحليل الزمني والموضعي لكثافة الالكترونات في حيز التفاعل , بالإضافة إلى تحديد شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار المادة وتأثيرات الحجب وتوزيع درجة الحرارة أثناء العمليات الفيزيائية السريعة .

في عام 2004 أجريت قياسات تحليل طيفي بواسطة (Hermann et al, 2004) لظاهرة انهيار الغاز المستحث بواسطة نبضات متناهية القصر (فيمتوثانية) من أشعة الليزر ، وذلك لدراسة البلازما المتكونة من التفاعل . واستخدم في ذلك تحليل بعدي وزمني للانبعاث الطيفي . ولإجراء ذلك تم تجميع حزمة الليزر بواسطة شيئية ميكروسكوب في غازات مختلفة (هواء – أرجون – هيليوم) عند ضغط غاز في مدى يتراوح ما بين 10^2-10^5 Pa و التي تناظر (0.76-760 torr) . ومن تحليل الخط الطيفي المنبعث من كل من الأيونات و الذرات المتعادلة تم تعين معاملات البلازما ومكوناتها كدالة في الزمن والبعد . بالإضافة إلى ذلك أهتم الباحث بتفسير كيفية تكوين الالكترونات السريعة ، والأشعة فوق البنفسجية الفراغية نتيجة تفاعل النبضات المتناهية في الصغر لأشعة الليزر مع الغاز . ومن التحليل الزمني والبعدي لمعاملات البلازما أمكن بطريقة تقريبية تقدير قيم كثافة الالكترونات الابتدائية ، وكذلك معامل الانكسار في الحجم البؤري . و تمت مقارنة هذه النتائج مع تحليل انتقال حزمة البلازما ، وأوضحت الأخيرة أن جزء صغير فقط من طاقة الليزر يُمتص بواسطة البلازما ، بينما أشار التوزيع البعدي لحزمة الليزر المنتقلة إلى إنها تلاقي 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 . وأوضحت هذه الدراسة أن مفهوم انهيار الغاز المستحث بواسطة نبضات متناهية في القصر من أشعة الليزر يلاقي أهمية عند اختيار أحسن عملية لتطبيقات هذا النوع من مصادر أشعة الليزر في الميكنة الدقيقة أو التحليل الدقيق للأسطح .

(1-2-1-ب) دراسات عملية و نظرية عن تأين الوسط خلال العملية العكسية لبرمشتراهلنج

(1-2-1-B)Experimental and theoretical studies on the ionization of a medium through the inverse Bremshtrahlung process

كما ذكرنا سابقاً أن عملية التأين التدريجي تحدث عند تجميع حزمة نبضية ذات شدة استضاءة عالية من أشعة الليزر في غاز ما ، حيث يمكن لإلكترون حر متواجد بالقرب من ذرات (أو أيونات أو جزيئات) الغاز أن يتجاوب مع المجال الكهربي المصاحب للأشعة خلال تصادم مرن ليكتسب مقدار من الطاقة تمكنه من حدوث تصادمات غير مرنة تؤدي في النهاية إلى إثارة أو تأين الغاز . وينتج عن العملية الأخيرة الكترونيين لهما طاقة منخفضة يمكنهما تكرار هذه العملية للحصول على حالة من التأين الشلالي أو التدريجي الذي ينتهي غالباً بانهيار الغاز عند بؤرة العدسة .

ويمكن النظر لعملية الامتصاص العكسية لبرمشتراهلنج (والتي يطلق عليها أحياناً الانتقال الحر - حر حيث أن الالكترونات تكون في الحالة الابتدائية والنهائية حرة) من الوجهة الكلاسيكية كتفاعل بين المتجه الكهربي لموجة أشعة الليزر الكهرومغناطيسية مع الالكترونات الحرة في وجود الذرات والتي تعمل على حفظ العزم . لذلك فان هذه العملية يمكن أن تسمى أيضاً بالميكانيكية الشلالية لتوينزيند (Townsend) التي تعمل عند المجالات المتذبذبة بترددات عالية جداً .

وكان هناك شائعة جادة منتشرة للعلاقة بين النظرية الكلاسيكية للانهيار بالموجات القصيرة والعملية العكسية لبرمشتراهلنج ، حيث أعتقد كثير من الباحثين أن هاتين العمليتين هما عمليتان مختلفتان تماماً (Meyerand and Haught ,1964 ,Wright, 1964, .Tozer, 1965, Measures and Cardinal, 1981)

وفي عام 1965 برهن الباحث براون (Brown, 1965) في دراساته أن العملية العكسية لبرمشتراهلنج ما هي إلا وصفًا كميًا للنظرية الكلاسيكية للموجات القصيرة . كما وجد أيضاً أن النظرية الكلاسيكية يمكن تطبيقها عند المجالات الإشعاعية ذات الترددات عالية الشدة ، حيث أن امتصاص فوتون مفرد لا يمكن قياسه في زمن يقل عن مقلوب احتمالية الانتقال الحر- حر ، خلال هذا الزمن يمكن أن يحدث كثير من التصادمات بين الإلكترون والذرة .

وقد أُجريت الكثير من الدراسات النظرية (Zel'dovich and Raizer, 1965) على أساس الحركة الميكانيكية الكمية بفرض إهمال عمليات الفقد . وقد توصلت هذه الدراسات إلى أن كلاً من المعالجة الميكانيكية الكمية والكلاسيكية تؤدي إلى نفس النتيجة عند القيم الصغيرة لطاقة الفوتون مقارنة بالطاقة الكلية للإلكترون (ليست طاقة الإلكترون الاهتزازية في المجال) .

وأُجريت أيضاً دراسة لعملية الامتصاص العكسية لبرمشتراهلنج في مجالات إشعاعية عالية الشدة بواسطة الباحث بيرت (Pert, 1972) . في هذه الدراسة استخدم مدخلين مختلفين أحدهما هو تقريب بورن أما الأخر فهو النظرية الكلاسيكية . وقد توصلت هذه الدراسة لإيجاد علاقة بين النظرية الكلاسيكية والحسابات الكمية وتم الحصول على نفس الشروط التي وجدت من قبل وهي $h\upsilon \leq \varepsilon$. وفي عام 1975 أوضح فريدلاند (Friedland, 1975) أنه في حالة طاقة فوتون ذات قيمة مرتفعة فان عمليات الانهيار يجب معالجتها على أسس ميكانيكا الكم حيث أن المعالجة الكلاسيكية أعطت قيماً كبيرة جداً للزمن اللازم لانهيار الغاز.

بالإضافة إلى ذلك فقد أجريت حسابات نظرية كثيرة للتأين التدريجي لغازات مختلفة تغطي مدى واسع من ضغط الغاز (e.g.Young and Hercher, 1967 , Nielson et al , 1971 ,Morgan et al , 1971 ,Demontgolfier ,1972 ,Kroll and Watson

,1972 ,Seely and Harri, 1973 ,Gray Morgan ,1975 ,Louis-Jacquet and (Decoster, 1977 , Afans'ev et al , 1979 ,Fetzer et al , 1986). وأوضحت هذه الدراسات كثيرًا من المفاهيم الفيزيائية التي تصاحب ظاهرة انهيار الغازات .

ففي محاولة لتفسير ظاهرة انهيار الغازات الجزيئية بواسطة أشعة الليزر, قام الباحثان كرول وواتسون (Kroll and Watson, 1972)بوضع نموذج نظري لتفسير ظاهرة انهيار الهواء بواسطة مجالات تردد راديوي (RF) وكذلك بمصادر من أشعة الليزر. وقد تم استخدام قيم لثوابت المعدل مقاسة عملياً لكل من عمليات الإثارة (الدورانية والاهتزازية والالكترونية) للجزيء بالإضافة إلى عمليات التأين وتكوين الايونات السالبة (لغاز الأكسجين) . واعتمدت الدراسة على حل معادلة بولتزمان Boltzmann equation بأخذ في الاعتبار امتصاص فوتون مفرد أو عدد من الفوتونات في عمليات التأين أو انتزاع الكترونات من الايونات السالبة. وقد تم دمج العمليات الأخيرة بطريقة تقديرية وذلك لعدم توفر معامل الامتصاص الذي يعطي قيماً حقيقية لعملية الامتصاص متعدد الفوتونات. وأوضحت النتائج بعض الحيود بين القيم المحسوبة لشدة استضاءة أشعة الليزر و تلك القيم المقاسة عملياً , وخاصة عند استخدام مصادر لأشعة الليزر لها طاقة فوتون في المدى بين 1 و 2 إلكترون فولت ، باستخدام عدسات مجمعة تعطي حيزًا للتفاعل ذو حجم كبير.

وامتدادًا لهذه الدراسات في عام 1980 وضع الباحثان ايفانز وجمال (Evans and Gamal, 1980) نموذجاً للتدرج الالكتروني مبني أساساً على امتداد النظرية الكلاسيكية للموجات القصيرة لمنطقة الضوء المرئي وما بعدها والمنطقة فوق البنفسجية . واشتمل هذا النموذج على مفهوم انسياب الالكترونات على امتداد محور الطاقة بالإضافة إلى تأين مستويات الطاقة المثارة خلال الامتصاص المتعدد للفوتونات وكذلك التصادم الالكتروني . واستطاع النموذج بنجاح تفسير ظاهرة انهيار غاز الهيليوم تحت تأثير أشعة ليزر الياقوت ذات الطول الموجي 694.3 nm ، أي بطاقة فوتون تساوي 1.87 eV .

من جانب أخر في عام 1980 وضع الباحثان سانتياجو و روبنسون (Santiago and Robinson, 1980) نموذجاً نظرياً اعتمد على عمليات تدريجية تؤدي إلى الانهيار . وأعطت نتائج الحسابات قيماً لشدة الاستضاءة اللازمة للانهيار متفقة جداً مع القياسات التي أجريت على غاز الأرجون باستخدام عوامل خارجية للحصول على الكترونات ابتدائية عند تفاعل هذا الغاز مع ليزر ثاني أكسيد الكربون للوصول به إلى حالة الانهيار .

تبع ذلك في عام 1981 دراسة نظرية بواسطة ميجير و كاردينال (Measures and Cardinal ,1981) لتفسير تأين الوسط المعتمد على حالة التشبع الرنيني ، واستخدم في ذلك نموذجاً مبسطاً يشمل معظم التفاعلات الإشعاعية والتصادمية الهامة .

كما أجريت دراسات عملية ونظرية لظاهرة الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر اعتمدت أساساً على عمليتي التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات والنمو التدريجي للالكترونات (Weyl et al , 1982 ,Rosen and Weyl, 1987). وقد طبقت هذه الدراسة على الغازات الخاملة باستخدام مصدر لأشعة الليزر ذا طول موجي قصير لتعيين ما إذا كان مفهوم الدفع بالتسخين لنبضات الليزر والذي استخدم في بادئ الأمر بواسطة أشعة الليزر ذات الطول الموجي الطويل يمكن تطبيقه عند الأطوال الموجية القصيرة .

بالإضافة إلى ذلك فإنه أجريت قياسات عديدة في معامل رذرفورد لظاهرة انهيار بعض الغازات الخاملة والهواء الجوي باستخدام ليزر الإكسيمر للحصول على بلازما تستخدم كمصدر للأشعة السينية (Oneill et al , 1989 ,Turcu et al , 1987 ,1990 ,1991 1997,). كما استخدم أيضاً ليزر الإكسيمر في وجود مجال كهربي استاتيكي يعمل في اتجاه عرضي لبؤرة الليزر (Kumar and Thareja, 1988).

وفي عام 1991 قام الباحثان تاريجه وتامبي كذلك الباحث الفيروف ومجموعته (Thareja and Tambay ,1991 ,Alferov et al , 1991) بدراسة تغير شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار كل من الهواء وغازي الزينون والكربتون مع تغير الطول الموجي المستخدم ولم تفسر هذه النتائج نظرياً .

في عام 1995 قام الباحثان تاكاهاشي و نيشي جيما (Takahashi and Nishijima, 1995) بإجراء تحليلاً عدديًا لظاهرة الانهيار الكهربي المستحث بواسطة أشعة الليزر في خليط من غازي النيتروجين والأكسجين (الهواء). ولعمل ذلك قاما بوضع نموذج محاكاة حسابي يشمل كل من معادلة بولتزمان ، ومعادلات لمعدل تغير كثافة المستويات المثارة . وأجريت الحسابات لأطوال موجية مختلفة لليزر الأكسيمر (كلوريد الزينون Xe Cl) ذو الطول الموجي 308 nm ، وليزر الياقوت بطول موجي 694 nm ، وليزر النيوديميوم ياج بطول موجي 1.06 µm ، وليزر ثاني أكسيد الكربون بطول موجي 10.6 µm . وأوضحت النتائج توافقًا وصفيًا بين تغير القيم المحسوبة لشدة الاستضاءة اللازمة للانهيار مع الطول

الموجي وتلك المقاسة عمليًا . كما أعطى الباحثان وصفًا تفصيليًا للعمليات التي تحدث عند انهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر . وأشارت الدراسة بأن العمليات التي تؤدي إلى تكون البلازما عند الأطوال الموجية القصيرة تختلف عن تلك العمليات في حالة الأطوال الموجية في المنطقة المرئية وتحت الحمراء . فبينما تسود عملية الامتصاص متعدد الفوتونات عند استخدام أشعة الليزر ذات أطوال موجية قصيرة فإن عملية التأين التدريجي بالامتصاص الالكتروني هي المسئولة عن تكون البلازما في حالة الأطوال الموجية الطويلة . وأوضحت الدراسة أيضًا أن الطاقة الممتصة من المجال المصاحب لأشعة الليزر بواسطة الالكترونات تتحول إلى طاقة اهتزازية والكترونية للجزيئات عند قيمة شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار ، ويبقى مقدار صغير جدًا من الطاقة لتأين الجزيئات ولذلك فإن مقدار الطاقة المخزونة في مستويات الطاقة الاهتزازية تلعب دورًا هامًا في ظاهرة الانهيار .

وامتدادًا لهذا البحث وضع نفس الباحثان (Takahashi and Nishijima, 1998) عام 1998 نموذج حركة للتفسير النظري لظاهرة انهيار وتسخين الغاز المستحث بواسطة أشعة الليزر ، وذلك على خليط من غازي النيتروجين والأكسجين (الهواء) . واستخدم النموذج لحساب كثافة مكونات البلازما وطاقة الإلكترون ومعدل كفاءة الإلكترون ودرجة حرارة الاهتزاز ودرجة حرارة الغاز ، بالإضافة إلى بعض معاملات البلازما المتكونة في حيز التفاعل . وقد تم حساب درجة حرارة الغاز من فروق الجهد لكل التفاعلات الكيميائية ، وأجريت التحاليل على خليط من غازي النيتروجين والأكسجين عند الضغط الجوي ، وقد تم تشعيعه بمصدر لليزر ثاني أكسيد الكربون . وأوضحت النتائج أنه للوصول إلى حالة الانهيار وتسخين الغاز فإن كثافة من الالكترونات قدرها 10^{13} m^{-3} تتكون في حيز التفاعل ، وأن كل من عملية إعادة الاتحاد بين الإلكترون والأيون الموجب واضمحلال مستويات الطاقة الاهتزازية لجزيء النيتروجين في المستوى $X^1 \Sigma_g^+$ بالتصادم لها تأثيرًا قويًا على تسخين الغاز . وقد أتاح الحل التحليلي للنموذج لتعين التغير الزمني لكثافة الالكترونات الحرة .

وكتطبيق لظاهرة الانهيار في إشعال الشرارة لاحتراق الغازات أجرى الباحث فوك (Phuoc, 2000) قياسات لتعين شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغازات المحترقة ، وأجريت التجربة على كل من الهواء والأكسجين والنيتروجين والهيدروجين بالإضافة إلى غاز الميثان ، واستخدم في ذلك مصدر 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 150-340 Torr . وأوضحت النتائج أن تغير شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار I_{th} مع ضغط الغاز p يكون على الصورة $I_{th} \propto p^{-1/k}$ 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 .

وفي 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 النيوديميوم ياج يعمل عند طول موجي 1064 nm وزمن نبضة في حدود النانوثانية ، للحصول على انهيار بصري للغاز بطبيعة تدريجية . وتمت دراسة البلازما والإشعال الناتج عن الانهيار باستخدام تقنيات طيفية ، والتي تشمل على الانبعاث التلقائي والوميض المستحث بواسطة ليزر عريض للخط NH . وأعطت صور التحليل الزمني ذات البعدين ليس فقط معلومات عن الانبعاث وديناميكية الغاز بل أيضًا عن الكثافة الوميضية ، والزمنية لدرجة الحرارة والجسيمات المتكونة خلال زمن النبضة . وأعطت النتائج مفهومًا عن ديناميكية البلازما ، وتكوين اللهب ، اللذان يمكن اعتبارهما من العوامل الأساسية 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 الأشعة لاختبار تصرف زمن التأخر للإشعاع الخطي عند الطول الموجي لخطوط H_α و $O\,I$ الثلاثي المنبعثة من الشرارة المتكونة في مخاليط من غاز الميثان والهواء . وأجريت التجربة للحصول على شرارة باستخدام مصدر لليزر النيوديميوم ياج المحكم المخرج ذو النمط المفرد . وينتج عن هذا المصدر حزمة لها قطر يساوي 6 mm ، وتعمل بطول موجي 1064 nm ، وزمن نبضة 5.5 ns . وقد وجد أنه عند نسب تكافئ 5→0.1 فإن نسبة شدة استضاءة الانبعاث الطيفي للخطوط H_α إلى خطوط $O\,I$ الثلاثي تتزايد خطيًا مع النسبة المكافئة ، كما وجد أيضًا أنه لطاقة

أشعة الليزر تتغير ما بين 10→50 mJ فإن هذه النسبة لا تتغير مع طاقة أشعة الليزر عندما تزيد هذه الطاقة عن 20 mJ ، وقد وجد أن هدف استخدام هذه التقنية لقياس نسبة احتراق الوقود للهواء في بيئة متحركة .

في عام 2003 قام بندهو ومجموعته (Bindhu et al ,2003) بتفسير انتشار حزمة الليزر و امتصاص طاقتها في منطقة انهيار غاز الأرجون المستحث بواسطة أشعة ليزر النيوديميوم ياج المحكّم المخرج والذي يعمل عند التوافقية الثانية له بطول موجي 532 nm وزمن نبضة 8 ns و وذلك عند قيم مختلفة لضغط الغاز تتراوح ما بين 10 torr إلى واحد ضغط جوي (760 torr) . أشارت نتائج هذه القياسات إلى امتصاص ملحوظ في طاقة أشعة الليزر بواسطة البلازما عند القيم المرتفعة و التي تزيد عن 100 torr , بينما يُهمل هذا الامتصاص عندما ينخفض ضغط الغاز إلى قيم تقل عن 50 torr . كما أوضحت المنطقة المركزية للبلازما المتكونة سلوكاً مميزاً بالنسبة لطاقة الليزر حيث وُجد أنه عند طاقة تزيد عن القيمة اللازمة للانهيار تتحرك البلازما فقط في الاتجاه الخلفي بينما تختفي المركبة الأمامية . ويشير ذلك إلى الامتصاص القوي لطاقة أشعة الليزر بواسطة جبهة البلازما . مما يدل على أهمية العملية العكسية لبرمشتراهلنج في التسخين المتتالي و تأين البلازما . وعند الضغوط المرتفعة و القيم العالية للطاقة لوحظ زيادة الطاقة النافذة مع زيادة الطاقة الساقطة حيث صاحب ذلك سلوكاً مسنناً في شكل النبضة النافذة , و قد أُعزي ذلك إلى حالة التشبع التي تصل إليها البلازما و التي تؤدي إلى نقص الامتصاص و زيادة الطاقة النافذة . أما عند الضغوط المنخفضة فقد أوضح شكل التغير الزمني للنبضة النافذة تغيراً مهملاً .

بالإضافة إلى ذلك أجريت حديثًا قياسات لدراسة الوصف الفراغي للشرارة المستحثة بواسطة أشعة الليزر في الهواء (Beduneau and Ikeda, 2004) . وقد اعتمدت التحاليل في هذه الدراسة على الصور والانبعاث الطيفي الناتج من الشرارة المتكونة بواسطة أشعة الليزر كدالة في طاقة الليزر والتكوين 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) ، ونظام كاسي جرين البصري متزاوج مع مطياف (ICCD) وأثمرت 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 (ICCD) .

في عام 2005 قام دونج و مجموعته (Dong et al,2005) ببناء جهاز قياس لمصدر إشعاعي من قوس أرجون للأشعة فوق البنفسجية , ثم دراسة كيفية بدء المصدر و ذلك باستخدام انهيار الغاز المستحث بواسطة الليزر دون أي شوائب أو تحلل لمكوناته . وقد أعطى تفسير خصائص مصدر قوس التفريغ و خصائص الإشعاع الطيفي للقوس الشروط المثالية للتشغيل . حيث أوضح الإشعاع الطيفي لمصدر القوس استقرار بنسبة 0.3% يمكن ضبطه بالتحكم في تيار القوس و ضغط غاز الأرجون خلال التشغيل العادي .

وفي نفس العام أُستخدم غاز الأرجون كوسط مساعد لدراسة الانبعاث الطيفي من منطقة الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر في معدن الرصاص . فقد وضع بابشوك و مجموعته (Babushok et al, 2005) نموذجاً لهذه الدراسة لفهم المعاملات الفيزيائية و الكيميائية التي تحكم ظاهرة الانبعاث الطيفي من الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر . اشتمل النموذج على عدد من عمليات الإثارة و التأين و كيمياء التأين بجانب عدد من العمليات التي تؤثر على تركيز كلاً من ذرات غاز الأرجون و الرصاص و كذلك الأيونات الناتجة عنهم . و قد احتوى النموذج على 15 نوع كيميائي و 90 تفاعل . كما أُجريت قياسات عملية للتغير الزمني لعدد من خطوط الانبعاث في الرصاص الناتجة من منطقة الانهيار في وجود كلاً من غاز الأرجون والهواء . و أمكن من ذلك مقارنة القيم المحسوبة من النموذج مع تلك المقاسة عملياً في كلا الغازيين .

في عام 2006 قام جاسون و جاري (Jason and Gary, 2006) بتحسين تقنية شليرن (schlieren) وتصوير الظل (shadowgraph) باستخدام انبعاث الضوء لأبيض من انهيار كلاً من الأرجون والهواء المستحث بواسطة أشعة الليزر . أُستخدم في ذلك مصدر ليزر

النيودميوم ياج في جهاز قياسي لهذه التقنية , والذي تم تحويله إلى نبضة ضوء أبيض بواسطة هذه الطريقة و قد تم الحصول على صور شليرن ذات كفاءة عالية . كما أعطت القياسات في غاز الهيليوم باستخدام هذا المدخل الجديد نتائج جيدة مقارنة بالنتائج السابقة .

ومن وجهة نظر أخرى أُستخدم الجيل الثاني لبلازما الأرجون لدراسة التأثير على التجلط في الأنسجة مقارنة بليزر النيودميوم ياج (Manner et al, 2007) . اتجهت القياسات لتعيين كفاءة تلف الأنسجة بهذه الطريقة مقارنة بالطريقة القياسية للتجلط ببلازما الأرجون و ليزر النيودميوم ياج و وذلك بتطبيق هذه الطرق على كبد 35 من حيوانات التجارب . باستخدام قيم مختلفة من حيث القدرة و زمن التطبيق و معدل انسياب الغاز . وأعطت نتائج هذه القياسات باستخدام التقنية الجديدة أعلى تجلط عند 6 mm بقطر 15mm .و مقارنة بالطريقة القياسية التقليدية وُجد تأثيراً عالياً للتجلط بينما لم يشاهد أي اختلاف في متوسط العمق عند استخدام الجيل الثاني للتجلط ببلازما الأرجون . أشارت محصلة هذه القياسات بكفاءة هذه الطريقة عن الطريقة القياسية السابقة في التجلط ببلازما الأرجون , كما أن استخدام مصدر ليزر النيودميوم ياج لهذه التقنية يتحدد بقدرة متوسطة و زمن تطبيق محدود .

و في عام 2008 (Lunt et al,2008) استخدمت بلازما الأرجون لزيادة رقعة القدرة على أسطح الأهداف لمساحات واسعة , حيث تم اختيار زوايا سقوط خطوط المجال أوسع ما يمكن . تم معالجة هذا الوضع لأول مرة و الذي يختلف تماماً عن انتقال البلازما للسطح تحت السقوط العمودي بواسطة شودرا (Chodura,1982) . وعلى الرغم من أن هذه المشكلة تمت مناقشتها نظرياً بشكل جيد (Weinlich and Carlson,1977 ؛ Claasben and Gerhauser , 1996 ؛ Riemann ,1994 ؛ Chodura,1982) , إلا أن القياسات المعملية تعتبر نادرة . لذلك يتجه هذا البحث لملىء الفراغ بتسجيل قياسات للانبعاث الفلورسيني المستحث بواسطة الليزر أمام هدف من التنجستين معرّض لبلازما الأرجون تحت السقوط غير المباشر .

بالإضافة إلى ذلك أُجريت دراسة لتحسين التوافق بين قيم جهد الانهيار المحسوبة نظرياً و المقاسة عملياً خلال اختيار أفضل العمليات التكنولوجية للبلازما (Iliev et al, 2009) . تم الحصول على شرط انهيار تحليلي مطور و بسيط للتفريغ في غاز الأرجون عند قيم منخفضة و متوسطة لضغط الغاز و تردد يصل إلى 13.56 MHz . و قد ارتكز هذا الشرط على نتائج تجريبية لها شكل ضمني كدالة في المعامل pd , حيث p ضغط الغاز و d

المسافة الفاصلة بين قطبي التفريغ , وقد أعطت النتائج المحسوبة توافقاً جيداً مع القياسات المعملية .

وفي دراسة مشابهة أخرى أجرى ليندرنيز (Ledernez et al ,2009) تحسين لقانون باشن عند التفريغ الكهربي لغاز الأرجون , حيث تم استنتاج قيم النظرية لمعاملات باشن من نموذج توينزيند و مقارنتها بالقيم المقاسة عملياً و المتوفرة في المجلات العلمية المنشورة . أوضح الشكل النظري لمعاملات باشن أن هذا القانون يجب أن يشتمل على المسافة بين الأقطاب كمعامل منفصل , بمعنى أن جهد الانهيار يساوي دالة في الضرب الاتجاهي لضغط الغاز و المسافة بالإضافة إلى المسافة الفاصلة بين القطبين . أكَّدت هذه النتائج قياسات منحنى باشن في التفريغ الكهربي للأرجون عند مسافة فاصلة بين القطبين تتغير من 2 cm إلى 9 cm .

و كما رأينا أنه عند تفاعل أشعة الليزر ذات شدة استضاءة عالية مجمعة بواسطة عدسة في غازٍ ما ، فإن الغاز عند بؤرة العدسة (أي في الحجم البؤري) يتحول إلى حالة عالية من التأين ، ويطلق عليه في هذه الحالة أنه أصبح في حالة انهيار . هذه الحالة تستلزم الحصول على كثافة محددة من الالكترونات الحرة في الحجم البؤري يجب أن تساوي قيمة محددة تُؤخذ كشرط للانهيار كما سنرى فيما يلي .

(1 -3) شرط الانهيار *(1-3) Breakdown criterion*

من المعروف أنه تم تحديد شرط انهيار الغاز خلال التفريغ الكهربي بين لوحين متوازيين تفصلهما مسافة d بالعلاقة

$$I=\left(\omega_T/\alpha_T\right)\left[\exp\left(\alpha_T d\right)-1\right] \qquad (1-1)$$

حيث α_T و ω_T هما معاملا تأين توينزيند الأول والثاني على الترتيب .

أما في حالة التفريغ الكهربي في الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر فعلى الرغم من أنه أمكن تحديد بدأ ظاهرة الانهيار عمليًا ، حيث صاحب ذلك الحصول على شرارة مرئية في

المنطقة البؤرية عند حيز التفاعل, إلا أن تحديد قيمة شدة الاستضاءة التي تظهر عندها هذه الشرارة هي عملية في غاية الحساسية . وقد تمت محاولات عديدة بواسطة الباحثين لتحديد شرط الانهيار ، وذلك إما بمعلومية شدة استضاءة أشعة الليزر أو قيمة كثافة الالكترونات الحرة التي يتم الحصول عليها في حيز التفاعل . فقد 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).

كما وجد أيضًا أن إشعال هذه الشرارة المرئية يعتمد بشكل عالي الحساسية على قدرة مصدر أشعة الليزر ، حيث أشارت القياسات العملية إلى أن أي تغير في القدرة بمعامل يساوي 2 يحدث تغير في احتمالية ظهور الشرارة من 0.05 إلى 0.9 (Rosen and Weyl, 1987) . ومن وجهة نظر أخرى أستخدم نفس الباحثين تقنية أخرى لتحديد شرط الانهيار وهي الكشف عن مقدار التضعيف (Attenuation) لحزمة 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 لقياسات شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار التي تم الحصول عليها بواسطة مجموعة مختلفة من الباحثين .

وفي محاولة لتحديد هذا الشرط قام الباحث سبتزر (Spitzer ,1965) بتعين قيمة تمثل الحد الأدنى لكثافة الالكترونات كشرط للوصول إلى حالة انهيار الغاز . ووجد أن هذا الشرط يتحقق عندما يكون هناك كثافة كافية من الالكترونات تحيط بأيون موجب بحيث تكون المسافة الواقية لديباي (Debye shielding distance) η_D في حدود قطر حزمة أشعة الليزر المجمعة بحيث

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

حيث n و T هما كثافة ودرجة حرارة الالكترونات على الترتيب . أما كحد أعلى لكثافة الالكترونات فوجد باعتبار أنه الكثافة التي عندها يتم انعكاس حزمة أشعة الليزر وهذا يحدث عندما يكون تردد هذه الأشعة مساوياً لتردد البلازما (Gamal, 1978) أي

$$\omega_p = \omega_L \approx 10^4 \sqrt{n} \qquad (1-3)$$

حيث ω_p تردد البلازما و ω_L تردد الأشعة المنعكسة .

بالإضافة إلى ذلك فقد أجريت محاولات عديدة لتحديد شرط الانهيار بواسطة بعض الباحثين مثال لذلك ففي عام 1973 أخذت حالة الانهيار بأنها الحصول على تأين كامل لذرات الغاز في حيز التفاعل (الحجم البؤري) (Phelps, 1973). كما عُرف شرط الانهيار أيضاً بأنه تضخيم لكثافة الالكترونات الابتدائية بمعامل 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 (Zel'Dovich and Raizer, 1965). كما عرف أيضاً بأنه الحصول على درجة تأين $\delta = 0.1\%$ لذرات الغاز في الحجم البؤري والتي تكفي لإحداث امتصاص وتشتت لأشعة الليزر بدرجة كافية (Grey Morgan, 1975).

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 .

(4-1) تطبيقات عن ظاهرة انهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر

(1-4) Applications on the breakdown phenomenon of gases induced by laser radiation

لاقت ظاهرة انهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر اهتمامًا كبيرًا من الباحثين منذ السنوات الأولى لاكتشاف هذه الأشعة . حيث استخدمت هذه الظاهرة كوسيلة يمكنها أن تحد من فشل مصادر أشعة الليزر الغازية عندما تزداد شدة الأشعة داخلها عن الشدة اللازمة لانهيار الغاز(Berger and Smith 1972) .

كما جذبت هذه الظاهرة اهتمام الباحثين لما وُجد من استخدامات لمنطقة الانهيار كمصدر قوي للأشعة السينية ذات شدة الاستضاءة العالية ، وكذلك الأشعة فوق البنفسجية التي تستخدم عادةً لضخ ليزر الصبغات (Silfvast et al, 1979) . بجانب ذلك فإن دراسة انهيار الغازات أُخذت كخطوة عملية لتسخين البلازما في الاندماج النووي المحكّم بواسطة أشعة الليزر (Haught and Polk, 1966 ,Bruechner and Jorna ,1974)

ومع التطور السريع في مصادر أشعة الليزر أخذت التطبيقات في الآونة الأخيرة شكلاً مختلفًا ، حيث أهتم الباحثين بالتطبيقات العملية بجانب التطبيقات الأكاديمية . فقد اتجهت التطبيقات لاستخدام هذه الظاهرة في مجالات مختلفة مثل الصناعة والبيئة والطب وغيرها .

فمثلاً ارتكزت التطبيقات البيئية على تفاعل أشعة الليزر مع المواد المختلفة لدراسة خصائص المادة نفسها عن طريق الطيف المنبعث منها . وكأحد الاستخدامات الحديثة الهامة هو استخدام أشعة الليزر في تنظيف الأسطح (Watkins et al, 2002) ، حيث أن التفاعل المباشر مع الأسطح يؤدي إلى إحداث تلف فيها لذلك تجري عملية التنظيف في وجود طبقة من الهواء أمام الأسطح لتلافي هذا التلف . وفي هذه الحالة تتفاعل أشعة الليزر مع الهواء قبل أن تصل لهذه الأسطح ، وعند انهيار الهواء تتكون موجات تصادمية تؤدي إلى عملية التنظيف .

وأخيراً استخدمت ظاهرة الانبعاث الطيفي الناتج من مناطق الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر للكشف عن المحتوى الكربوني في البيئة عند ارتفاع كلاً من درجة الحرارة والضغط (Noda et al, 2002). استخدمت تقنية الانبعاث الطيفي من مناطق الانهيار للكشف عن الكربون في الرماد المنتشر في الهواء الجوي والفحم المحترق عند درجات حرارة وضغط عالية . وتستخدم هذه التقنية في الكشف عن الكربون في محطات القوى وذلك باختبار تأثير مكونات الغاز للحصول على أنسب معاملات يمكن أن تعمل بها هذه المحطات .

هذا بجانب أنه أمكن استخدام هذه الظاهرة لتحديد نوعية الملوث من المواد الكيميائية والعضوية وغيرها في الهواء الجوي (Porthov et al, 2003) ، وذلك باستخدام مصادر لأشعة الليزر تعمل عند أطوال موجية تعطي مدى واسع من الأشعة الكهرومغناطيسية . حيث أن هذه الدراسة بدأت باستخدام فقط أجهزة أشعة ليزر ثاني أكسيد الكربون وتمكنت فقط من تحديد نسبة ضئيلة من ملوثات الهواء (Coveleskie et al, 1980 ,Amirav et al, 1980) .

بالإضافة إلى ذلك تم استخدام ظاهرة الانهيار لتعين مكونات السبائك الصلبة من خلال دراسة الانبعاث الطيفي الناتج عن منطقة الانهيار (Giacomo and Paseale, 2004) .

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

ومن أهم التطبيقات التي استخدمت فيها الظاهرة لخدمة البشرية هي قدح البرق حيث أن أشعة الليزر ذات شدة الاستضاءة العالية الناتجة من مصدر غاز ثاني أكسيد الكربون والتي يمكنها أن تنتشر في الجو لمسافات بعيدة أمكن استخدامها في تحديد مسار البرق وتفريغ شحنته (Xin Miao et al, 1995) , حيث أنه من المعروف مدى خطورة البرق على البشرية وكذلك على الطائرات والصواريخ التي تتواجد بالقرب من سحب مكهربة حيث تؤدي هذه السحب لتحطيم كلاً منهما إذا قدح البرق عفوياً. 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 الصاروخ. و لحماية عمليات النقل الجوي بالإضافة إلى حماية المنشآت الأرضية مثل محطات الطاقة العالية وعمليات التنقيب عن المعادن فإنه من المهم أن تكون هناك قدرة على تحديد ومعرفة السحب الحاملة للشحنات الكهربية وإمكانية تفريغ شحنتها. وهذا تفعله أشعة الليزر عند توجيهها نحو السحب المشحونة لتفريغ شحنتها خلال عملية التأين وكذلك التحكم في مسار هذه السحب (Black et al ,1995) .

كما تم استخدام ظاهرة انهيار الغازات كمصدر للتسخين النبضي ذا فاعلية عالية وتكلفة زهيدة لدفع الأقمار الصناعية الصغيرة في المدارات المنخفضة للأرض بكتلة تتراوح مابين 5- 10 Kg (Schall ,Eckel, 2004) .

وفي السنوات الأخيرة تم نشر كثير من المقالات العلمية تفيد أنه أصبح من الممكن تفتيت الحصوات بواسطة أشعة الليزر (Thomsen ,1986) . وبدا هذا الخبر محيرًا في بادئ الأمر من حيث كيف يمكن أن تؤدي أشعة الليزر إلى 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 الكلى في المرضى عن طريق تفاعل المادة المكونة للحصوات بواسطة أشعة الليزر ذات الطاقة العالية ، والتي تؤدي في النهاية إلى تفتتها . وقد بينت النتائج العملية أنه بالإضافة إلى هذه التطبيقات في مجال المسالك البولية ، فإن لهذه الظاهرة استخدامات في طب العيون منذ أوائل الستينات من القرن الماضي ، أي في زمن يعاصر اكتشاف أشعة الليزر نفسها والى الآن . (Bass et al ,1979 ,Wolbarsht, 1980 ,Robin and Pollack, 1984)

وفي العقود الأخيرة من القرن الماضي أيضًا تمكن الأطباء من إزالة جلطات القلب من الشرايين الرئيسية عن طريق المنظار الطبي دون الحاجة إلى جراحة (Princ et al, 1986 ,1987 , Clarke, 1988 , LaMuraglia, 1988 ,Bhatta, 1989) .

كما استخدمت هذه الظاهرة أيضًا كتقنية متقدمة لإزالة التسوس وتجويف الفجوات في الأسنان ودراسة أسبابها عن طريق التحليل الطيفي (Niemz, 1994).

وقد وجد أيضًا أن لظاهرة تأين المواد بواسطة أشعة الليزر ذات الشدة العالية استخدامات هامة في الصناعة ، حيث استخدمت في عمليات القطع واللحام بطريقة متناهية الدقة والجودة . كما استخدمت في قياس سمك التآكل وذلك عن طريق التحليل الطيفي للأشعة المنبعثة من الوسط (Adrain et al, 1980, 1984) , بالإضافة إلى ذلك استخدمت هذه الظاهرة للنبضات متناهية الصغر لانتزاع دقائق من المادة بواسطة أشعة الليزر في الميكنة الدقيقة والصناعات ، وتكوين الأفلام الرقيقة ، والهندسة الحيوية . وقد وجد أنه خلال الانتزاع بواسطة أشعة الليزر ، فإن خلع المادة وجودة صفاتها تعتمد بشدة على منطقة الانهيار البصري المستحث بواسطة أشعة الليزر ، وبالتطور الحديث الذي أنتج مصادر لأشعة الليزر ذات قدرة عالية ونبضات متناهية في الصغر تقل عن 1 ps زاد الاهتمام بإمكانية استخدام أشعة الليزر للمعالجة التحليلية لكل المواد بدقة عالية ، وأقل تدمير حراري ممكن .

على الرغم من أن ظاهرة الانهيار كما رأينا أخذت نصيبًا واسعًا من الدراسات العملية والنظرية،إلا أنه مع التطور السريع لمصادر أشعة الليزر ، والحصول على مواصفات ذات تقنية عالية من حيث الطول الموجي وزمن النبضة وشدة الاستضاءة , فإن المفاهيم الفيزيائية

التي تصاحب تفاعل هذه الأشعة مع الغازات مازالت محل سؤالاً مطروحًا . لذلك يهدف هذا البحث إلى توضيح و إعطاء المفاهيم الفيزيائية التي تجيب عن هذه التساؤلات كما يلي .

(1-5) الهدف من الدراسة *(1-5) Aim of study*

اتضح من المسح المرجعي أن معظم الدراسات التي اتجهت لتفسير ظاهرة انهيار الغازات المستحث بواسطة أشعة الليزر ارتكزت على قياس شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار الغاز عند مركز حيز التفاعل كدالة في كل من خصائص أشعة الليزر و طبيعة الوسط . بينما بُذل جهد قليل جدا لدراسة آلية امتصاص و انتشار طاقة أشعة الليزر في منطقة الانهيار (Yamada et al ,1991؛ Yamada and Okuda,1979,1989) . وفي عام 2003 أجري بندهو ومجموعته (Bindhu et al ,2003) قياسات عملية لدراسة انتشار و امتصاص طاقة أشعة الليزر في البلازما المتكونة في غاز الأرجون , وذلك بتجميع حزمة من أشعة ليزر النيودميوم ياج المحكّم المخرج يعمل عند التوافقية الثانية له بطول موجي 532 nm و زمن نبضة 8 ns . وعلى الرغم من أن هذه القياسات نجحت في دراسة العلاقة بين الطاقة الساقطة لأشعة الليزر والطاقة النافذة خلال البلازما , وكذلك خطوات تمدد البلازما على امتداد محور حيز التفاعل كدالة في طاقة أشعة الليزر الساقطة وضغط الغاز, إلا أنها لم تعطي أي تفسير للآليات الفيزيائية المصاحبة لامتصاص وانتشار حزمة من أشعة الليزر في البلازما المتكونة , وكذلك العوامل التي تؤثر على ديناميكية الانتشار. لذلك يهدف هذا البحث لتقديم دراسة نظرية لتفسير ظاهرة امتصاص و انتشار حزمة الليزر في منطقة الانهيار لغاز الأرجون عند قيم مختلفة للضغط و تحديد العمليات الفيزيائية المسئولة عن هذه الظاهرة و ذلك بتطبيق نموذج عددي تم وضعه سابقا (Gamal et al,1999 ؛ Evans and Gamal, 1980) للأخذ في الاعتبار التغير الزمني لشدة الاستضاءة ليتم حساب انتشار البلازما في الحجم البؤري . يعتمد النموذج على حل معادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن عند الشروط المعملية التي أجريت بواسطة بندهو و مجموعته (Bindhu et al ,2003) و ذلك لدراسة ما يلي :

- أولاً: شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار غـاز الأرجون بواسطة أشعـــــة الليـزر و تحديد كيفية امتصاص الأشعة في الحجم البؤري و العمليات المسئولة عنه . وذلك عند قيم مختلفة لضغط الغاز بالأخذ في الاعتبار التغير الزمني لشدة الاستضاءة فقط.
- ثانياً : كيفية تكون البلازما و انتشارها على امتداد محور الحجم البؤري بالأخذ في الاعتبار التغير الزمني و البعدي لشدة الاستضاءة في منطقة التفاعل و ذلك عند قيم مختلفة لطاقة أشعة الليزر و قيمة ثابتة لضغط الغاز (الضغط الجوي= 760 torr) و كذلك عند قيمة ثابتة لطاقة أشعة الليزر و قيم مرتفعة من ضغط الغاز(7MW-20MW) .

وقد تم اختيار غاز الأرجون كمثال لانتشار النبضة في الغازات النادرة لتوفر معاملات العمليات الفيزيائية الخطية و اللاخطية المتوقع حدوثها خلال التفاعل. كما أنه يستخدم كوسط مادي للحصول على أشعة الليزر في صورة بلازما , هذا بجانب استخداماته العديدة في التطبيقات الصناعية كغاز وسيط لإزالة نتوءات وصقل الأسطح بواسطة أشعة الليزر (Adrain,1984) .بالإضافة إلى استخداماته في مفاتيح الشرارة و كذلك الحصول على مصادر للأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية الفراغية (Dhareshwar et al,1991؛ Wang et al ,1998؛ Bellecei et al , 2003 ؛ Kranzusch et al , 2003) .كما أن هذا الغاز يتميز بقيمة صغرى في مساحة مقطع عملية تشتت الإلكترون خلال التصادم المرن في العملية العكسية لبرمشتراهلنج و التي تؤدي إلى تأخر في نمو كثافة الإلكترونات بواسطة هذه العملية (Ramsauer ,1921).

يقدم الباب الثاني شرحاً تفصيلياً للترابط بين خصائص أشعة الليزر اللازمة للانهيار والعمليات الفيزيائية التي تعمل على تأين الوسط .

بينما الباب الثالث يوضح عرضاً لبعض النماذج العددية التي سبق وضعها لتفسير ظاهرة التأين التدريجي المستحث بواسطة مصادر مختلفة من أشعة الليزر و المؤدي إلى حالة انهيار الوسط .

في الباب الرابع يتم شرح النموذج العددي المستخدم في هذا البحث وكيفية تطويره وتطبيقه، والعمليات الفيزيائية التي أخذت في الاعتبار ، وكذلك معدّلات و مساحات مقطع ومعاملات هذه العمليات .

أما الباب الخامس فيقدم نتائج الحسابات ومناقشتها.

بالإضافة إلى هذه الأبواب الخمس فيلحق في الباب السادس مستخلص للبحث ونظرة مستقبلية لمتابعته .

وتذيل الرسالة بقائمة مراجع و ملاحق و ملخصاً للرسالة باللغة الإنجليزية.