الفصل السادس
Chapter (6)

الخلاصة ونظرة مستقبلية
Conclusion and Future Work

قدم هذا البحث دراسة عددية عن ظاهرة انهيار غاز الأرجون بواسطة أشعة ليزر النيوديميوم ياج و الذي يعمل عند التوافقية الثانية له بطول موجي 532 nm و زمن نبضة 8 ns و طاقة تعمل في مدى من 20-500 mj . وذلك لدراسة العليات الفيزيائية المسئولة عن ظاهرة الانهيار و تكوّن البلازما في الحجم البؤري كدالة في ضغط الغاز ز واتجهت هذه الدراسة لتفسير ظاهرة انتشار البلازما و التي شوهدت عملياً بواسطة بندهو ومجموعته (Bindhu et al ,2003) .

أخذت هذه الدراسة مدخلين مختلفين من حيث معالجة تغير شدة الاستضاءة في الحجم البؤري , أحدهما التغير الزمني لشدة استضاءة أشعة الليزر و الذي فُرض بشكل جاوسي, وذلك لتعيين شدة الاستضاءة اللازمة لانهيار غاز الأرجون كدالة في الضغط . و تحديد العمليات الفيزيائية المسئولة عن انهيار الغاز و تكوّن البلازما عند القيم المختلفة لضغط الغاز و المختبرة معملياً . أما الآخر فقد فرض أن شدة استضاءة أشعة الليزر تتغير زمنياً و بعدياً في الحجم البؤري و تأخذ أيضاً شكلاً جاوسياً في كل من الزمن والمسافة المحورية و التي تتغير معها المسافة القطرية للحجم البؤري . تؤدي هذه الدراسة إلى إمكانية تفسير القياسات المعملية لميكانيكية انتشار البلازما في الحجم البؤري و ذلك تحت تأثير كلاً من طاقة أشعة الليزر الساقطة عند قيمة ثابتة لضغط الغاز (الضغط الجوي) و عند قيم مختلفة لضغط الغاز تصل إلى 100 ضغط جوي و قيمة ثابتة لطاقة أشعة الليزر .

أسفرت هذه الدراسة عن ما يأتي :

أولاً : نتائج التأثير المفرد للتغير الزمني لشدة استضاءة أشعة الليزر على ظاهرة الانهيار

- بالأخذ في الاعتبار فقط التغير الزمني لشدة الاستضاءة أعطت مقارنة القيم المحسوبة لشدة الاستضاءة اللازمة للانهيار و القيم المقاسة عملياً توافقاً مناسباً على مدى ضغط الغاز المختبر معملياً . أشار ذلك إلى أن الانهيار يُحكم بواسطة عمليات تصادمية يزداد معدلها مع زيادة ضغط الغاز مما يؤدي إلى انخفاض شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار وهذا يفسر القياسات المعملية لطاقة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الأرجون كدالة في ضغط الغاز و التي أجريت بواسطة بندهو ومجموعته عام 2003 . كما أكّد ذلك صلاحية النموذج لتفسير ظاهرة انهيار غاز الأرجون تحت الشروط المعملية التي أُعطيت بواسطة بندهو ومجموعته .
- أوضحت دراسة دالة توزيع طاقة الإلكترونات عند القيم المختلفة لضغط الغاز تزايد قيم دالة التوزيع بزيادة ضغط الغاز مع ملاحظة الانحدار السريع في قيم الدالة عند طاقة إلكترون تعادل طاقة إثارة المستوى الأول للذرة . ويشير ذلك إلى فقد طاقة الإلكترونات خلال عمليات تصادم غير مرنة تزداد بزيادة ضغط الغاز . و عند القيمة المنخفضة لضغط الغاز (10 torr) تعاني دالة التوزيع من انحدار سريع منذ القيم المنخفضة لطاقة الإلكترون و التي تشير إلى زيادة معدل فقد الإلكترونات نتيجة لعملية الانسياب .
- كما أوضحت دراسة التكوين الزمني لكثافة الإلكترونات القيم المنخفضة للكثافة خلال المراحل الأولى لزمن النبضة و التي تتزايد مع انخفاض الضغط , مما يدل على زيادة معدل التأين بالامتصاص الفوتوني عند هذه القيم المنخفضة لضغط الغاز و التي يتناقص معدلها مع زيادة الضغط لتحل محلها عمليات تأين بالتصادم الإلكتروني . ويتزايد معدل هذه العملية الأخيرة مع زيادة ضغط الغاز و خاصة حول منتصف زمن نبضة الليزر كما أشارت هذه النتائج أيضاً إلى التنافس بين عمليات الفقد و الكسب للإلكترونات خلال النصف الأخير من زمن النبضة .

- ارتبطت هذه النتائج مع القيم المحسوبة للتكوين الزمني بكثافة المستويات المثارة عند نفس قيم ضغط الغاز حيث أشارت هذه العلاقة إلى زيادة معدل كثافة المستويات المثارة بزيادة ضغط الغاز و التي بدورها تساهم في زيادة كثافة الإلكترونات خلال عمليات تأين فوتوني و تصادم إلكتروني بإلكترونات ذات طاقة منخفضة .
- أوضحت العلاقة التي تعطي التغير الزمني لمتوسط طاقة الإلكترون أن العمليات الفيزيائية المسئولة عن تأين الغاز تختلف باختلاف الضغط , حيث يتشابه التغير الزمني لمتوسط طاقة الإلكترون على مدى الضغط المنخفض من 10 torr إلى 210 torr , أما عند القيم المرتفعة لضغط الغاز 550 torr و 760 torr فنجد أن التغير الزمني لمتوسط طاقة الإلكترون يسلك سلوكاً مختلفاً . فبينما يزداد متوسط طاقة الإلكترون خلال النصف الأخير من زمن النبضة عند الضغوط المنخفضة تتناقص قيمته خلال نفس الفترة على المدى المرتفع لضغط الغاز .
- تأكيداً لهذه الدراسة أعطى التغير الزمني لكلٍ من معدل الإثارة ومعدل التأين دليلاً لاختلاف العمليات الفيزيائية المسئولة عن التأين باختلاف ضغط الغاز , حيث وُجد أنه عند القيم المنخفضة للضغط تلعب عملية التأين الفوتوني دوراً هاماً في زيادة كثافة الإلكترونات نتيجة لتأين المستويات المثارة و التي يزداد معدل نموها بزيادة ضغط الغاز . أما عند المدى المرتفع لضغط الغاز فإن التأين يتم خلال كلاً من التصادم الإلكتروني و الامتصاص الفوتوني للمستويات المثارة للذرة , مما يؤكد انخفاض متوسط طاقة الإلكترون خلال النصف الأخير من نبضة الليزر .
- أعطت دراسة التكوين الزمني لدالة توزيع طاقة الإلكترونات برهاناً على أن نمو دالة التوزيع خلال نبضة الليزر يتبع التغير الجاوسي لشدة الاستضاءة و يظهر ذلك بشكل واضح عند القيم المنخفضة لضغط الغاز . أما عند الضغوط المرتفعة فنجد أن قيم دالة التوزيع تنطبق تماماً خلال النصف الأخير من زمن النبضة , وهذا بالتالي يؤدي إلى تغير شكل البلازما المتكونة و التي أوضحتها الأشكال ثلاثية الأبعاد حيث تبدأ البلازما في التكوّن خلال النصف الأخير من زمن النبضة عند الضغوط المرتفعة بينما تكون عند نهاية النبضة فقط عند الضغوط المنخفضة .

- أكّدت دراسة تأثير عمليات نمو كثافة الإلكترونات على أهمية الدور الذي تلعبه عملية التأين الفوتوني للمستويات المثارة عند المدى المنخفض لضغط الغاز و عملية التأين بالتصادم الإلكتروني لكلٍ من المستوى الأرضي و المستويات المثارة , بجانب عملية التأين الفوتوني للمستويات المثارة على المدى المرتفع لضغط الغاز .
- أشارت دراسة عملية فقد الإلكترونات إلى الدور الهام الذي تلعبه عملية الانسياب في نمو كثافة الإلكترونات عند المدى المنخفض لضغط الغاز , أما عند القيم المرتفعة للضغط فوُجد أن عملية إعادة الاتحاد بين إلكترونين و أيون موجب تعمل على زيادة كثافة مستوى الإثارة العلوي و التي بدورها تتأين خلال تصادم إلكتروني أو امتصاص فوتوني لتنافس فقد الإلكترونات نتيجة لعملية إعادة الاتحاد أو زيادة كثافتها عندما تتخطى معدل تكوّن الذرات المتعادلة في المستوى المثار معدل فقد الإلكترونات بإعادة الاتحاد , أي أن هذه العملية تصبح عملية كسب و ليست فقد للإلكترونات .

ثانياً : نتائج تأثير التغير الزمني والبعدي لشدة استضاءة أشعة الليزر على البلازما المتكونة في الحجم البؤري

أعطى التغير الزمني و البعدي لشدة الاستضاءة ذات الشكل الجاوسي حجماً بؤرياً يتغير في القطر مع المسافة المحورية . ووفقاً لنتائج القياسات المعملية التي أُجريت بواسطة بندهو و مجموعته لتغير طاقة أشعة الليزر مع ضغط الغاز, وُجد أن انهيار غاز الأرجون يحدث بقيم منخفضة نسبياً لطاقة أشعة الليزر عند ضغط غاز يزيد عن 500 torr , حيث تتكون البلازما و تؤدي إلى امتصاص ملحوظ لطاقة الليزر , ومع زيادة ضغط الغاز على الضغط الجوي يحدث تغير طفيف في معدل امتصاص هذه الطاقة . وأُعزي ذلك إلى استهلاك جزء من الطاقة في تمدد البلازما المتكونة في منطقة الانهيار , وبزيادة الطاقة الساقطة يزداد معدل الامتصاص .

- أعطت دراسة تغير القيمة العظمى لشدة الاستضاءة على امتداد المسافة المحورية و القيم المناظرة لها من كثافة الإلكترونات عند قيم مختلفة من طاقة أشعة الليزر الساقطة تغير موضع تكوّن البلازما مع الطاقة , بالإضافة إلى أن هناك قيمة حرجة

للطاقة عندها يحدث الانهيار , ومع زيادة طاقة أشعة الليزر يحدث الانهيار قبل مركز الحجم البؤري في اتجاه حزمة الليزر , مما يؤدي إلى زيادة طول البلازما المتكونة . و أثبت ذلك مقارنة القياسات العملية للانبعاث الطيفي من منطقة البلازما و كثافة البلازما المحسوبة و الممثلة في أشكال ثلاثية البعد .

- أوضحت دراسة انهيار الغاز و تكوّن البلازما عند القيم المرتفعة لضغط الغاز زيادة شدة الاستضاءة اللازمة للانهيار عند قيم لضغط الغاز تزيد عن 10 ضغط جوي (10000 torr) .
- أشارت دراسة تغير عدد الإلكترونات في الحجم البؤري على امتداد المسافة المحورية تغير طول البلازما المتكونة مع ضغط الغاز , حيث تبدأ صغيرة عند الضغط الجوي ليتزايد طولها مع زيادة الضغط إلى 10 ضغط جوي ثم يتناقص مرة أخرى عند 100 ضغط جوي , أُعزي ذلك إلى زيادة معدل عمليات فقد الإلكترونات و التي تؤدي إلى اضمحلال البلازما خلال عملية إعادة الاتحاد , ومع زيادة قدرة الليزر وُجد أن طول البلازما لا يتأثر بتغير ضغط الغاز .
- أعطت دراسة التكوين الزمني لعدد الإلكترونات في الحجم البؤري كدالة في المسافة المحورية الفترة الزمنية التي تتكون فيها البلازما و التي وُجد أنها تختلف باختلاف ضغط الغاز و كذلك قدرة الليزر .

نظرة مستقبلية

Future work

اهتمت هذه الدراسة بتحديد التغير في طول البلازما المتكونة في غاز الأرجون عند الضغط الجوي ومدى انتشارها في الحجم البؤري عند تشعيع الغاز بنبضات من أشعة الليزر بطول موجي يقع في المنطقة المرئية لقيم مختلفة من طاقة الليزر . أسفرت هذه الدراسة عن أن طول البلازما يزداد بزيادة الطاقة الساقطة نتيجة لتكون كثافة عالية من الإلكترونات و التي بدورها تعمل على امتصاص الطاقة في حجم صغير جداً مما يؤدي إلى تمددها .

كما أشارت الدراسة التي أُجريت لتعيين طول البلازما عند قيمة ثابتة للطاقة الساقطة و قيم مختلفة لضغط الغاز أن تغير طول البلازما يحدث بشكل واضح في المنطقة المتوسطة من ضغط الغاز , حيث يحدث انتشار ملحوظ للبلازما في الحجم البؤري.

استكمالاً لهذه الدراسة يمكن تطبيق النموذج العددي لتفسير ظاهرة انتشار البلازما عند القيم المختلفة لضغط الغاز , وتحديد الدور الذي تلعبه العمليات الفيزيائية في تكون البلازما و تمددها . ولعمل ذلك يتم تطوير البرنامج ليأخذ في الاعتبار عملية التجمع الذاتي لحزمة الليزر في الحجم البؤري و تأثير ذلك على عملية الامتصاص متعدد الفوتونات المسئولة عن الإلكترونات الابتدائية اللازمة لتكوّن البلازما , و إيجاد صورة كاملة لما يحدث خلال التفاعل .

كما يجب أيضاً تطبيق النموذج لدراسة هذه الظاهرة عند أطوال موجية مختلفة لأشعة الليزر و كذلك نبضات قصيرة ومتناهية القصر تصل إلى قليل من الفيمتو ثانية , حيث أن البلازما المتكونة في هذه الحالة تلاقي العديد من التطبيقات في المجالات العملية المختلفة .