الفصل السادس

خاتمة ونظرة مستقبلية

Conclusions and future work

تم في هذه الدراسة أولاً تطبيق نموذج عددي للتأين المستحث بواسطة أشعة الليـــزر مبنـــي على التشبع الرنيني لذرات بخار الروبيديوم (ليبورس LIBORS) . سبق وضع هذا النموذج بواسطة محمود وجمال (Mahmoud and Gamal,1995) ، ويعتمد على الحل العددي لمعادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن ومجموعة من معادلات المعدل التي تصف تغير كثافة مستويات طاقة ذرة الروبيديوم وكذلك تيار الأيونات الجزيئية والذرية الناتجة عن التفاعل . ثم ُطـــور النموذج ليأخذ في الاعتبار عمليات تأين تعمل على اضمحلال مستويات الطاقة المثارة للذرة مثل التأين الفوتوني وتأين هورنبك مولنار ، بجانب عملية تعمل على تكون تيار من الأيونات الموجبة والسالبة . تم تطبيق النموذج على بخار الروبيديوم تحت الشروط المعملية لبـــاربير وشيري (Barbier and Che'ret,1987) ، وفيهـــا تـــم تشعيـــع بخار الروبيديوم بكثافة ابتدائية تساوي 10^{13} cm^{-3} ودرجة حرارة للبخار تساوي 450 K بواسطة أشعة ليـــزر ذات قـــدرة P تتراوح مابين 50-500 mW ، والتي تعطي شدة استضاءة من العلاقة $I = P\backslash \pi r^2$ حيث r هي نصف قطر الحزمة المجمعة (r = 0.11 cm) واستخدم طولين لأشعة الليزر هما 795 nm و 780 nm ليتوافقا مع الانتقال $5s \rightarrow 5p_{1/2,3/2}$ على الترتيب .

وقد أمكن بتطبيق هذا النموذج المطور تفسير ظاهرة الحصول على بلازما في بخـــار الروبيديوم الذري المشعع بواسطة لـــيزر الـــصبغة للانتقال 5s – 5p ، وتحديـــد العمليـــات التصادمية المسؤولة عن تكون البلازما من خلال دراسة التركيب الطيفي للالكترونات الناتجة عن عمليات التأين . أي أنه يمكن إعطاء صورة فيزيائية واقعية لما يحدث في حجم التفاعل من مراحل تكون البلازما على النحو التالي .

عند بدء الإشعال تعمل عمليات التأين المشارك وتأين بننج وكذلك تأين هورنبك – مولنار بالإضافة إلى عملية التأين الفوتوني للحصول بسرعة عالية على كثافة من الالكترونات الحرة . تكتسب هذه الالكترونات طاقة بواسطة عمليات متتابعة من تصادم فائق المرونة ، والتي تعمل على تسخينها لينتج في النهاية تأين سريع في حجم التفاعل يصل إلى حالة البلازما . من هنا يتضح أن هذا التفاعل ينتج عنه كثافة عالية من الالكترونات تمتلك قيم مختلفة من الطاقة لتكون ما يسمى بالطيف الالكتروني أو دالة توزيع طاقة الالكترونات والتي تعكس بشكل واضح الطبيعة الغير ماكسويلية واعتماد التوزيع على الإسكان النسبي للمستويات المثارة من بخار الروبيديوم . من جهة أخرى يحدد شكل دالة توزيع طاقة الالكترونات المساهمة الحقيقة لكل عملية في كثافة الالكترونات عند كل قيمة من طاقة الالكترون . فنجد أن دالة التوزيع تتكون من مجموعة من القمم تناظر قيم مختلفة لطاقة الالكترون تحدد العمليات الفيزيائية المسؤولة عن تكون هذه الكثافة .

- عند القيمة المنخفضة لطاقة الالكترون (لاتزيد عن 0.2 eV) يظهر تأثير عملية التأين المشارك .
- مع زيادة طاقة الالكترون في المنطقة 0.5 eV – 0.25 فإن الكثافات العالية للالكترونات ترجع إلى عملية تأين بننج .
- تعمل عملية التأين الفوتوني للحصول على كثافات عالية من الالكترونات عند قيم للطاقة 0.75 eV و 1.25 eV .
- تسخن هذه الالكترونات خلال عملية تصادم فائق المرونة من الدرجة الأولى ، لينتج عنها كثافة عالية من الالكترونات تناظر قيمة للطاقة 2.75 eV – 1.5 .
- تتصادم الالكترونات المسخنة مرة أخرى مع ذرات الروبيديوم في المستوى المشبع تصادمًا فائق المرونة من الدرجة الثانية ، ينتج عنه كثافة عالية من الالكترونات عند قيمة للطاقة تناظر مدى 4.0 eV – 2.75 .
- كما تظهر كثافة عالية من الالكترونات نتيجة لعملية تسخين بتصادم فائق المرونة من الدرجة الثالثة عند قيم لطاقة الالكترون 4.25 eV – 4.0 .
- تشارك عمليات التأين التصادمية لمستويات الطاقة المثارة بواسطة الالكترونات التي اكتسبت طاقة من خلال عملية تصادم فائق المرونة في زيادة كثافة الالكترونات على المدى الكلي لطاقة الالكترون .

- بالإضافة إلى ذلك فإن عملية مشاركة الطاقة بالتصادم أظهرت تأثيرًا فعالاً على تكون البلازما ، حيث أنها تعمل على زيادة كثافة مستويات الطاقة المرتفعة والمسؤولة عن عملية تأين بننج وتأين هورنبك مولنار ، بالإضافة إلى عملية تكون زوج من الأيونات .
- كما تعمل أيضًا عملية إعادة الاتحاد على زيادة كثافة مستويات الطاقة العليا ، وهذه العملية تعمل على فقد كثافة الالكترونات من حيز التفاعل .

وقد تم الحصول على هذه النتائج وفقا لقيم معاملات معدل العمليات الفيزيائية التي أعطيت من القياسات المعملية والتي أجريت بواسطة كلٍ من (Borodin et. al. ,1975;Klucharev et. al. ,1980;Barbier and Che'ret,1983; Barbier et. al. ,1986; Barbier and Che'ret,1987)

وخلاصة هامة أخرى يمكن استنباطها من هذه الحسابات أن تيار الأيونات الجزيئية التي تكونت في حجم التفاعل خلال تشعيع الليزر نتجت عن عمليتي التأين المشارك وتأين هورنبك مولنار . بينما تيار الأيونات الذري فنجد أنه ينتج عن عملية تأين بننج والتأين الفوتوني بجانب التأين بالتصادم الالكتروني . وقد أوضحت نتائج الحسابات أن العملية التي لها مساهمة فعالة في هذا التيار هي عملية تأين بننج ، وقد أعزي ذلك إلى التأثير الفعال لعملية مشاركة الطاقة التي تعمل على زيادة إسكان كثافة مستويات الإثارة العليا والتي تعتمد عليها عملية تأين بننج . كما أن كثافة هذه المستويات أيضًا يمكن أن تزداد نتيجة لعمليات إعادة الاتحاد (الإشعاعية وثلاثية الأجسام) والتي أخذت في الاعتبار في هذا النموذج ، وأعطى حساب تيار الأيونات السالبة المتكونة نتيجة لعملية تكون زوج أيوني قيمًا مرتفعة أخذت في القياسات المعملية كدليل لحدوث هذه العملية .

من هذه الدراسة نجد أن النموذج العددي المطور نجح في تفسير ظاهرة تكون البلازما في بخار الروبيديوم ، عند تشعيعه بواسطة مصدر مستمر لأشعة ليزر الأصباغ المنغم للانتقال من المستوى الأرضي 5s إلى المستوى الأول المثار 5p ، وتحديد بشكل واقعي العمليات الفيزيائية المسؤولة عن تكون البلازما في حيز التفاعل ، ومساهمة كلٍ منها في الحصول على كثافة من الالكترونات والأيونات .

6-1 نظرة مستقبلية . 6 – 1 Future work .

على الرغم من أن النموذج المطور أعطى نتائج مقبولة فيزيائيًا لتفسير تكون البلازما في بخار الروبيديوم تحت تأثير تقنية ليبورس باستخدام مصدر لأشعة الليزر تعمل بموجات مستمرة ، حيث وجد أن زيادة زمن التشعيع لا تؤثر بشكل ملحوظ في نمو كثافة الالكترونات لفترة لا تتخطى 200 ns ؛ إلا أنه من الضروري اختبار صحة النموذج للقياسات المعملية التي تستخدم مصدر نبضي لأشعة الليزر .

بالإضافة إلى ذلك فإنه يمكن أيضًا أخذ في الاعتبار عمليات تأين تعمل على زيادة سرعة تكون البلازما مثل التأين الناتج عن عملية مشاركة الطاقة والتي تعمل على إعادة توزيع إسكان المستويات المثارة بجانب تأين الذرة خلال هذه العملية .

من جهة أخرى وجد أن الدراسات التي أجريت باستخدام تقنية ليبورس لتعين كفاءة البلازما المتكونة بواسطة هذه التقنية اقتصرت فقط على المعادن القلوية ، والتي يمكن أن يكون لها دورًا محددًا في التطبيقات لذلك من الضروري امتداد هذه التقنية لدراسة البلازما المتكونة في أبخرة المعادن المختلفة وخليط من هذه الأبخرة .

كما أن الدراسات التي أجريت على أبخرة المعادن القلوية لم تأخذ في الاعتبار عملية تكون زوج من الأيونات إلا في حالة الروبيديوم ، وحيث أن هذه العملية تعتمد على كثافة المستوى الأرضي والمستويات المثارة والتي تتوفر في أي من حالات البلازما المتكونة بواسطة تقنية ليبورس . لذلك من المقترح دراسة إمكانية حدوث هذه العملية في أبخرة معادن قلوية أخرى عن طريق القياسات المعملية وتأكيد ذلك بواسطة النمذجة العددية .