الفصل الأول

مقدمة ومسح مرجعي

Introduction and Literature survey

1-1 المقدمة . 1 – 1 Introduction .

تبع اكتشاف أشعة الليزر (Maiman,1960) استخداماتها في الحصول على بلازما في الغازات وأبخرة القلويات (Grey Morgan,1975). في بادئ الأمر تم استخدام هذه الأشعة في إثارة غير رنينية تعتمد على نبضة ضخمة ذات شدة استضاءة عالية ($10^{11} \rightarrow 10^{12} W/cm^2$) لإحداث انهيار في الوسط . وأعزي تكون البلازما إلى كل من عملية التأين بالامتصاص المتعدد للفوتونات (Multiphoton Absorption) وعملية الامتصاص العكسية لبرمشتراهلنج (Inverse Bremshtrahlung Absorption) (Meyerand and Haught,1963) . وفي عام 1970 اقترح ميجر (Maesures,1970) أنه من الممكن الحصول على بلازما عالية الكفاءة باستخدام مصدر لأشعة الليزر ذي شدة استضاءة منخفضة إذا ما تم تنغيم شعاع الليزر لتشبع أحد مستويات أبخرة المعادن القلوية ، وعرفت هذه التقنية بتقنية ليبورس LIBORS .

وكلمة ليبورس LIBORS هي الأحروف الأولى من العبارة اللاتينية (Laser Ionization Based On Resonance Saturation) والتي تعني التأين بالليزر المبني على التشبع الرنيني . تؤدي هذه التقنية إلى الحصول على تأين كامل إذا ما شبع خط رنيني أو أكثر لبخار ذري كثيف لمعدن قلوي بكثافة تزيد عن(10^{14} cm^{-3}) و لفترة زمنية ممتدة بواسطة مصدر لأشعة الليزر ذي شدة استضاءة منخفضة (1 MW/cm^2) . وتقل الفترة الزمنية اللازمة للحصول على تأين كامل كلما زادت كثافة البخار ، حيث وجد أنه عند

الضغط الجوي يمكن أن يحدث هذا التأين في فترة زمنية لا تزيد عن جزء من النانوثانية (Maesures et. al. ,1979a) .

وتعتبر هذه التقنية أفضل كثيرًا للحصول على تسخين سريع للغاز والالكترونات من تلك التي تعتمد على كل من عملية الامتصاص العكسية لبرمشتراهلنج وعملية الامتصاص المتعدد للفوتونات ، حيث يتطلب في هذه الحالة فقط أشعة ليزر بطول امتصاص قصير وشدة استضاءة منخفضة لأشعة الليزر (نتيجة لكبر مساحة المقطع) ، بالإضافة إلى الحالة الباردة للوسط عند بداية العملية . وتم تطبيق هذه التقنية في بادئ الأمر بتشعيع بخار صوديوم عند ضغط منخفض بمصدر لأشعة الليزر تم تنغيمه ليتوافق مع خط الصوديوم D_2 بشدة استضاءة ($1.0\ MW/cm^2$) . أكدت نتائج هذه القياسات الحصول على تأين بنسبة 99% من ذرات الصوديوم في فترة زمنية تصل إلى 400 ns (Measures et.al. ,1979a) .

وبسبب الاهتمام بهذه الظاهرة أجريت العديد من الدراسات العملية (Lucatorto and McIlrath,1980 ; Che'ret et. al. ,1982 ;Carre' et. al. ,1985 ; Veza and Sansonetti,1992 ; Movre et. al. ,2000) التي اتجهت نحو دراسة العمليات الميكروسكوبية المصاحبة للتفاعل خلال تشعيع أبخرة المعادن القلوية بواسطة أشعة الليزر. وتكمن أهمية هذه الدراسة في وصف الحالة الكاملة لبلازما التفريغ الكهربي من خلال هذه العمليات الميكروسكوبية ، كما أنها تعطي توضيحًا شاملاً لهذه الظاهرة . ويرجع ذلك إلى أن التفريغ الكهربي للغازات يمثل وسيلة بسيطة واسعة الانتشار للحصول على بلازما ذات درجة حرارة منخفضة ، يمكن التحكم بمدى واسع في معاملاتها الرئيسية (مثل درجة حرارة الأجسام المشحونة والمتعادلة ودرجة تأين وإثارة الجزيئات والذرات) وذلك بتغيير مكوناتها وشدة المجال الكهربي وكذلك تيار التفريغ . وبالتالي يوضح هذا سبب الاستخدام الواسع للتفريغ في ضخ الليزرات الغازية .

من جهة أخرى أدى البحث عن حلول للمشاكل العاجلة في الكترونيات الكم (مثل معايرة أنظمة الليزر ورفع كفاءتها) إلى تقدم ملموس في تفهم العمليات الفيزيائية التي تحدث في بلازما تفريغ الغازات ، وذلك بدراسة البلازما المتكونة نتيجة التشبع الرنيني بأشعة الليزر. في الحالة الأخيرة يمكن أن يساعد مفهوم التسخين فائق المرونة في تفسير بعض المشاهدات التي تم الحصول عليها في تجارب الضخ بالليزر والتي تعتمد على تقنية ليبورس

LIBORS مثل تلك التجارب التي أجريت بواسطة كل من تام وهبر (Tam and Happer,1977) وليسلي وفريقه (Leslie et. al. , 1977) .

وتعتبر دراسة البلازما المستحثة بواسطة أشعة الليزر أحد المجالات سريعة النمو في الفيزياء حيث أن لها العديد من التطبيقات مثل معالجة المواد من حيث تغير نوعيتها واللحام و الحفر وأسلحة الحزم ذات القدرة العالية (High power beam weapons) . كما أنها تمثل هدف كثير الإثارة في إنتاج آمن لطاقة انصهار نووي نظيفة بدون عوادم وبتكلفة وقود منخفضة (Measures et. al. ,1979 a) .

بالإضافة إلى ذلك فقد وجد أن هذه الظاهرة أكثر تحديدا للاستخدام في فيزياء أشباه الموصلات مثل الانصهار وإعادة التبلور وتوليد عيوب بلورية أو زيادة صلابتها (Von Allmen et. al. ,1978 ; Yonas et. al. ,1978) . وقد وجد أن أهم تفاعل في هذه الظاهرة هو الذي يؤدي إلى تبخير الوسط وتوليد البلازما ، وربما يكون لهذه التقنية أهمية في تجارب الليزر.

وبشكل عام فإن البلازما المتكونة بتقنية ليبورس لها العديد من التطبيقات التي تشمل تكوين قنوات بلازما من الالكترونات وحزم الأيونات والتي أمكن استخدامها في تجارب الاندماج الخامل (Yonas et. al. ,1978 ; Measures et. al. ,1979 a) ، حيث يستخدم تفاعل الليزر في هذه التقنية لتسخين وتأين الوسط .

ومن التطبيقات المعروفة لهذه التقنية في مجال البلازما هي الانصهار بالليزر وتكوين ليزر أشعة إكس ، والتسخين بالليزر للبلازما المحصورة مغناطيسيًا (Billman,1975; Measures et.al. ,1979 b) .

وفي عام 1981 تمكن ميلر وهيرتل (Muller and Hertel,1981) من استخدام تشعيع بخار الصوديوم بواسطة أشعة الليزر لإنتاج انبعاث ليزري في منطقة الأشعة تحت الحمراء . كما أن تطبيق هذه الظاهرة أدى إلى استخدام البلازما في فصل النظائر، وفيه يتم اختيار الطول الموجي لأشعة الليزر اللازم لإثارة مستوى في الوسط المتفاعل ، حيث يؤدي التصادم بين الذرات المثارة إلى الحصول على المنتج المختار (Allegrini et. al. ,1983) . كما وجد أن عمليات التأين التي تحدث في التصادمات الذرية المنخفضة الطاقة لها أهمية في الكشف

عن ذرات الشوائب أو الذرات للنظائر المختلفة في العناصر الكيميائية للغاز (Smirnov,1981) . وقد تم الكشف عن هذه الذرات خلال إثارتها وتحويلها المتتابع إلى أيونات (Letokhov,1979) . بجانب هذه التطبيقات فإن لهذه الظاهرة اهتمامات في مجالات تختلف عن فيزياء البلازما ، مثل فيزياء الفلك والكيمياء البصرية وذلك للحصول على معلومات أفضل لعمليات التصادم والتأين في وسط يحتوي على ذرات مثارة وغير مثارة وكذلك الحصول على أيونات (Le Gouet et. al. ,1982) .

أمكن الحصول على تأين فعال لأبخرة المعادن القلوية باستخدام أشعة ليزر منغمة لأحد مستويات الإثارة في ذرات البخار مؤديًا إلى تشبعها (Measures,1977) . كما أوضحت الدراسة أنه تحت هذه الظروف يمكن لطاقة الالكترونات الحرة أن تتزايد بسرعة نتيجة لعملية تصادم فائق المرونة (Super elastic collision) مع ذرات المستوى المشبع ، ويؤدي ذلك إلى زيادة معدل التأين بصورة مبالغة ليس فقط نتيجة لدرجة الحرارة المرتفعة للالكترونات ولكن أيضًا نتيجة للكثافة العالية للذرات في مستوى التشبع والتي في الظاهر تؤدي إلى خفض طاقة تأين البخار بمقدار طاقة فوتون أشعة الليزر.

وعلى الرغم من أن هناك دراسات عملية عديدة أجريت لإثارة أبخرة المعادن القلوية بواسطة أشعة الليزر ذات الطاقة المنخفضة إلا أن هذه الدراسة وجهت فقط لتعيين معدل حدوث أحد العمليات الفيزيائية المسؤولة عن تكون البلازما (Measures et. al. ,1980; Kushawaha and Leventhal,1982; Che'ret et. al. ,1982; Huynh et. al. ,1998). أما الدراسات النظرية فقد اعتمدت على وضع نماذج تأخذ في الاعتبار التأثير المشترك لبعض العمليات الفيزيائية التي أجريت القياسات عليها والتي يمكن حدوثها عند تكون البلازما ، وتشمل عملية التأين المشارك (Associative ionization process) وعملية تأين بنتج (Penning ionization process) والتصادم فائق المرونة للالكترونات والمستويات المثارة المتكونة خلال التفاعل، بالإضافة إلى عملية التأين التصادمي بالالكترونات ذات الطاقة المنخفضة (Impact ionization with low energy electrons) والتأين الفوتوني لمستويات الإثارة المرتفعة (Photo ionization with highly excited stats) ، بجانب عمليات فقد الالكترونات خلال عملية إعادة الاتحاد (Recombination) . و تمت دراسة هذه العمليات من خلال حل

المعادلات التفاضلية التي تصف معدل تغير كثافة مستويات الطاقة المثارة ودالة توزيع طاقة الالكترونات ، كما تشمل أيضا على معادلة معدل تغير كثافة الأيونات الذرية والجزيئية الناتجة من التفاعل ، بالإضافة إلى المعادلات التي تصف فقد الالكترونات خلال إعادة الاتحاد .

ومع التقدم السريع في الدراسات العملية للعمليات الفيزيائية المصاحبة لإثارة ذرا ت أبخرة القلويات بأشعة الليزر تمكن الباحثون من التوصل إلى عمليات فيزيائية أخرى يمكن أن تساهم في تأين الأبخرة وكذلك تكوين كثافات من الأيونات الموجبة للبخار (Barbier et. al. , 1986; Barbier and Che'ret,1987; Majetich et. al. ,1989; Dengel et. al. ,1993) ، مما يتطلب إعادة النظر في النماذج النظرية التي استخدمت لتفسير تقنية ليبورس لتأخذ هذه العمليات الفيزيائية في الاعتبار .

1–2 المسح المرجعي . 1 – 2 Literature survey .

أجريت أول دراسة عملية لظاهرة التأين المستحث بواسطة أشعة الليزر المبني على التشبع الرنيني بواسطة لوكاتورتو و ماكإلراس (Lucatorto and McIlrath,1976)، حيث شوهد تأين تام بنسبة 100% لبخار الصوديوم عند كثافة 10^{16} cm^{-3} عندما أستخدم طول موجي لشعاع ليزر يتوافق مع الخط الطيفي للصوديوم D_1 بتشعيع البخار لفترة زمنية حوالي 500 ns . استخدم لذلك ليزر صبغة مضخ بواسطة لمبة وميض بشدة استضاءة حوالي 1.0 MW/cm^2 بعرض خط 0.05 nm . في هذه الدراسة لم يذكر تفسير وافي للتأين السريع للبخار، إلا أن وضع ميجر (Measures,1977) تفسيرًا اقترح فيه أن التسخين فائق المرونة للالكترونات بالمشاركة مع الالكترونات الابتدائية المتولدة عن التأين بالامتصاص متعدد الفوتونات هو غالبًا الآلية الممكنة لتفسير هذه الظاهرة . وبناء على ذلك قام بوضع دراسة نظرية اعتمدت على برنامج حسابي مفصل لشرح هذا التفاعل، مستخدمًا نموذجًا لذرة الصوديوم مكونًا من 20 مستوى و مصدر لشعاع الليزر منغم مع الخط الطيفي D_1 .

ومتابعة لهذه الدراسة النظرية أوضح جيلتمان (Geltman,1977) أن عملية التأين المشارك يمكن أن تولد الكترونات ابتدائية بنفس كفاءة عملية الامتصاص المتعدد للفوتونات ، وبناء على ذلك فإن هذه الفترة الزمنية التي تم قياسها عمليًا (Lucatorto and McIlrath,1976) تعتبر حد أقصى لفترة التأين .

من وجهة نظر أخرى فقد أفاد بعض الباحثين(Bachor and Kock ,1980;1981) بأهمية عملية التأين بامتصاص فوتونين (Tow-photon process) في تأين الأبخرة . حيث وجد أن الأشعة الرنينية المحبوسة (Trapped resonance radiation) ترفع من معدل عمليات الامتصاص متعدد الفوتونات (Salter,1979) . وعلى الرغم من ذلك فإن الدلائل تؤيد الرأي بأن التصادم فائق المرونة للذرات المثارة بالليزر هو الآلية السائدة في تأين الأبخرة الكثيفة (Skinner,1980) .

وفي عام 1983 أجريت دراسة عملية بواسطة الباحثان جاهريس وهوبر (Jahreiss and Huber,1983) لتفسير إثارة وتأين بخار الباريوم المبني على التشبع الرنيني بواسطة أشعة الليزر. في هذه الدراسة أخذت القياسات على أبخرة ذات كثافة متوسطة تتراوح من $10^{19} \rightarrow 10^{21}$ cm^{-3} أضيئت بواسطة شدة استضاءة عالية (7 GW/cm^2) لفترة زمنية تصل إلى 1.0 µs من نبضة ليزر الصبغة . وتم تنغيم شعاع الليزر للخط الرنيني للباريوم عند طول موجي 553.5 nm حيث تأين عمود من البخار بطول0.25 m في فترة زمنية تقل عن 50 ns . وقد وجد أن التأين يعتمد بشكل كبير على كثافة البخار، وهذا بالتالي يشير إلى أن التصادم هو آلية التأين السائدة .

وتلازم مع هذه القياسات دراسة نظرية (Morgan,1983) أجريت لوصف الحركة الانتقالية لعمليات التأين في البلازما المتولدة بالإثارة الرنينية لذرات الصوديوم بواسطة أشعة الليزر. استخدم في ذلك نموذج سبق وضعه (Measures et. al. ,1979) لدراسة التأين التدريجي وإعادة الاتحاد الإشعاعية التصادمية في عملية تفريغ لخليط من الصوديوم والزينون عند ضغط مرتفع . وقد أخذ هذا النموذج في الإعتبار العمليات الفيزيائية الآتية : معدل تبادل العزم التصادمي ، التصادمات غير المرنة ، التصادمات فائقة المرونة ، بالإضافة إلى التصادم بين الكترون والكترون . أوضحت نتائج هذه الدراسة أن البلازما الناتجة عن ضخ الليزر الرنيني بعيدة تمامًا على أن تكون في حالة اتزان حراري لفترة من الزمن ، كما أنها تعتمد أيضًا على كثافة البخار وكذلك قدرة مصدر الليزر المستخدم . إضافة إلى ذلك فإن دراسة البلازما أشارت بأن الالكترونات ليس لها توزيع ماكسولي بل تتصف بقمم حادة متتابعة عند طاقات تبعد بقيمة طاقة الانتقال $ns \rightarrow np$ في ذرة الصوديوم(2.1 eV) أي طاقة الفوتون الساقط .

وفي عام 1984 أجريت أول قياسات عملية لمشاهدة الطيف الالكتروني (Carre' et. al. ,1984) عند تأين بخار الصوديوم المستحث بواسطة أشعة الليزر باستخدام تقنية ليبورس . أفادت هذه الدراسة بأن الالكترونات الأولية ذات الطاقة المنخفضة تنتج عن عملية تأين مشارك وكذلك تأين بنتج لذرات الصوديوم في المستويات المثارة ذات الطاقة المرتفعة (nl) . وقد شوهدت قيم مرتفعة للطيف الالكتروني تقع عند طاقات تساوي مضاعفات طاقة فوتون شعاع الليزر المستخدم للحصول على حالة تشبع ذرات الصوديوم وهي(2.1 ,4.2 ,6.3 eV) . وأعزي وجود هذه القيم المرتفعة لعملية تسخين الالكترونات الابتدائية خلال تصادمات فائقة المرونة مع ذرات الصوديوم في المستوى المشبع Na(3p) . وأجريت القياسات للحصول على علاقة تمثل تغير معدل التأين المشارك مع كثافة الذرات المثارة ، وذلك باستخدام تأين فوتوني لقشرة داخلية تنتج عن أشعة السنكروترون (Synchrotron radiation) . وأتاحت القياسات إمكانية تعيين قيم لكل من مساحة مقطع التأين المشارك 3.8×10^{-17} cm^2 وتأين بنتج للمستوى 5s مساويًا 1.1×10^{-12} cm^2 وذلك بنسبة خطأ في حدود 50% عند درجة حرارة للبخار 520 K .

في عام 1986 أجرى باربير وفريقه (Barbier et. al. ,1986) دراسة لتحليل تيار الأيونات السالبة الناتج عن إثارة بخار الربيديوم (Rb) والذي أعطى دليلاً على حدوث تفاعل تصادمي بين ذرات الربيديوم المثارة وإحدى ذرات المستوى الأرضي نتج عنه زوج من أيون موجب وأيون سالب . وأجريت دراسة تكوين زوج من الأيونات لمدى واسع من المستويات تقع تحت المستويات (5d ,7s ,6d ,8s) أو فوق المستويات (7d ,9s ,8d ,10s) لحدود منحنى جهد كولوم. أشارت نتائج القياسات بأن معامل معدل هذا التفاعل يزداد من $(1.1\pm0.6)\times10^{-14}cm^3s^{-1}$ للمستوى 5d إلى $(1.1\pm0.3)10^{-12}cm^3s^{-1}$ للمستوى 6d ثم ينخفض تقريبًا إلى $6 \times 10^{-14}cm^3s^{-1}$ للمستوى 9s . تم تفسير النتائج العملية للمستويات 5d , 7s باستخدام علاقة من نوع لانداو–زينر (Landau-Zener-type formalism) بينما للمستويات الأخرى فقد تم وضع نموذج نظري لتفسيرها .

استكمالاً لهذه الدراسة أجريت حسابات نظرية بواسطة باربير وفريقه (Barbier et. al. ,1987) لتعيين مساحة مقطع عمليتي التأين المشارك وتأين بنتج في بخار الروبيديوم ، عند تصادم إحدى الذرات المثارة في مستويات الطاقة العليا وأخرى في المستوى المشبع $Rb(5p\ ^2P_{3/2})$ ، باستخدام التعبير الرياضي لمتغير التصادم الكلاسيكي

للمستويات 5d إلى 9d وكذلك 7s . وقد أعطت نتائج هذه الحسابات تفسيرًا للقيمة الكبيرة لثابت معدل عملية تأين بننج التي تم الحصول عليها خلال القياسات العملية التي أجريت بواسطة نفس المجموعة . استخدم في ذلك نموذج أخذ في الاعتبار مدى من عمليات تأين آلي مباشرة ومتبادلة وكذلك مساهمات لتأين مشارك والتي وجد أنها تختلف تمامًا في حالة المستويات nd , ns .

وفي تجربة أخرى تمكن بورخاردت وفريقه (Burkhardt et. al. ,1988) من تعيين قيمة مساحة مقطع التأين الفوتوني لذرة مثارة وكثافة ذرات في المستوى الأرضي . وأجريت الدراسة على كل من الباريوم Ba(6s 6p $^1P_1$) والبوتاسيوم K(4p) والصوديوم Na(3p) عند استخدام طول موجي لأشعة الليزر (3533A$^\circ$) يعادل طاقة تأين فوتوني تساوي 3.51 eV ، وأعطت القياسات قيمًا مناسبة لمساحة مقطع التأين للعناصر المستخدمة .

وفي عام 1990 أجرى باردت وفريقه (Bardet et. al. ,1990) دراسة للتشخيص الطيفي للبلازما المتولدة بالليزر الرنيني لبخار الصوديوم بكثافة تزيد عن $10^{16}cm^{-3}$، وذلك بتشعيعها لفترة زمنية طويلة تصل إلى 0.2 µs . في هذه التجربة تم توليد البلازما عند تنغيم تردد مصدر ليزر الصبغة مع خط الصوديوم الذري المزدوج D_2 بطول موجي 589 nm . واستخدمت تقنية عرض شتارك (Starck broadening) لتشخيص الخطوط المنبعثة من الإشعاع الفلورسيني . وأوضحت نتائج هذه القياسات التكوين الزمني لكثافة الالكترونات ودرجة حرارتها ، حيث وجد أن أعلى كثافة الكترونات تصل إلى $5.0\times10^{16}cm^{-3}$ بدرجة حرارة أقل من 1.0 eV .

ولدراسة تأثير التفاعل بين ذرات نوعين من أبخرة القلويات أجريت تجربة بواسطة جابانيني وفريقه (Gabbanini et. al. ,1991) لقياس ثابت معدل عملية التأين المشارك عند تصادم ذرتين في المستوى المشبع لكل من الصوديوم Na($3P_{3/2}$) والسيزيوم Cs($6P_{3/2}$) . في هذه الدراسة تمت الإثارة الرنينية للذرات بواسطة مصدر مستمر لليزر الأصباغ وليزر ثنائي (diode laser) ، وشوهد تكون أيون جزيئي من $NaCs^+$. وتم قياس ثابت معدل هذه العملية بالنسبة لثابت المعدل المعروف لعملية التأين المشارك للصوديوم ووجد أن قيمته تساوي $(5.4\pm3.2)\times10^{-11}cm^3s^{-1}$.

من جهة أخرى تمكن دنجل وفريقه (Dengel et. al. ,1993) باستخدام إثارة عرضية لمصدر لأشعة الليزر ومطياف الكتروني ذي كفاءة عالية وحزمة مفردة لذرات الصوديوم المجمعة من دراسة كل من العمليات التصادمية والتأين الفوتوني التي تشمل ذرات الصوديوم المثارة بأشعة الليزر في المستويات $3p_{3/2}$ و$3d_{5/2}$. ونتيجة للتحليل العالي المستخدم لطاقة الالكترونات والذي يصل إلى 6.0 meV تمكنت مجموعة الباحثين لأول مرة من قياس تغير استقطاب لشكل الخط الطيفي لطيف بننج الالكتروني الناتج من تصادم ذرتين مثارتين ، والفصل بين المساهمات المتداخلة نتيجة لعملية تأين بننج والتأين الفوتوني .

وفي عام 1995 أجريت دراسة نظرية عن التأين التصادمي لذرات الصوديوم المثارة بواسطة أشعة الليزر (Mahmoud and Gamal,1995) . في هذه الدراسة أستخدم نموذج عددي لتعين دالة توزيع طاقة الالكترونات يعتمد على حل معادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن بأخذ في الاعتبار بعض العمليات الفيزيائية المتوقع حدوثها خلال التفاعل بين ذرات الصوديوم المثارة للمستوى المشبع بواسطة شعاع الليزر. وأوضحت الحسابات أن دالة توزيع طاقة الالكترونات لا تأخذ شكلاً ماكسويليًا خلال زمن التشعيع ، كما أن العمليات الفيزيائية المسؤولة عن تكوين المراحل المختلفة للبلازما هي عمليات تصادمية مطلقة تؤدي إلى إثارة وتأين ذرا ت الصوديوم . بالإضافة إلى ذلك فإن دراسة دالة توزيع طاقة الالكترونات أتاحت الفرصة لتحديد طاقة الالكترونات الناتجة عن التفاعل خلال عملية التأين المشارك وكذلك تسخين الالكترونات نتيجة لعمليات التصادم فائق المرونة المتتابع . وأعطت نتائج الحسابات توافقًا مناسبًا مع نتائج القياسات العملية التي أجريت بواسطة كاري وفريقه (Carre' et. al. ,1984) .

وتبع هذه الدراسة تحليل نظري لتحديد الدور الذي تلعبه عملية التأين المشارك بين ذرتين للصوديوم مثارتين بواسطة أشعة الليزر الرنيني . لعمل ذلك تم وضع نموذج نظري بواسطة هيونه وفريقه (Huynh et. al. ,1998) لدراسة التفاعل بين ذرتي صوديوم في المستوى المثار 3p لتكوين أيون جزيئي موجب والكترون ، ثم مقارنة نتائج الحسابات بالنتائج المتوفرة للقياسات العملية . اعتمد هذا النموذج على الحصول على كثافة عالية من المستويات الجزيئية للصوديوم ذات المدى الطويل والتي تنتج عن تصادم ذرتين مثارتين ثم نقل هذه الكثافة إلى مستويات آلية التأين ذات إثارة مزدوجة لها مدى قصير. وأعطت نتائج

الحسابات توافقا مع القياسات العملية لمساحة المقطع الكلية لعملية التأين المشارك وكذلك تغير الاستقطاب للإثارة الأيونية عند سرعات تصادم تزيد عن 400 m/s . أما عند السرعات الأقل فوجد أن هذا النموذج لا يمكن تطبيقه . كما وجد أيضًا أن تغير السرعة المحسوبة مع الإشارة الأيونية لا يتفق مع بعض نتائج القياسات العملية .

في عام 2001 قام فاروق وفريقه (Farooq et. al. ,2001) بإجراء قياسات عملية لتأين بخار الصوديوم المبني على التشبع الرنيني بواسطة أشعة الليزر. وتم الحصول على بعض النتائج الهامة عند استخدام صمام ثنائي خلال انتقال ذرات بخار الصوديوم والوصول إلى حالة التشبع من المستوى 3s إلى المستوى 3p . استخدم في ذلك مصدر ليزر الإكسيمر لضخ ليزر الصَبغات المنغم . تمت مقارنة نتائج هذه القياسات بتلك التي أستخدم فيها ليزر الإكسيمر لتأين المستوى المشبع 3p لبخار الصوديوم خلال الامتصاص الفوتوني .

وفي عام 2002 أجرى بارزانتي و بيتشي (Barsanti and Bicchi,2002) دراسة عن إعادة التوزيع الذري الناتج عن التأين في بخار جاليوم كثيف خلال عملية تأين بمشاركة الطاقة مستحث بواسطة الليزر الرنيني المعاون للتصادمات . ويحدث التفاعل في خلايا من الكوارتز مملوءة ببخار الجاليوم المركز والمثار رنينيًا بأشعة الليزر . وعند تصادم ذرتين مثارتين في هذا المستوى يحدث مشاركة في طاقتيهما يؤدي إلى تأين أحدهما ، بينما الأخرى تنتقل إلى المستوى الأرضي ، وتعرف هذه العملية بعملية التأين بمشاركة الطاقة (Energy Pooling Ionization - EPI) . بالإضافة إلى ذلك تحدث عملية إعادة الاتحاد بين الكترون وأيون في البلازما المتكونة ذات الكثافة المنخفضة والتي ينتج عنها زيادة في كثافة إسكان مستويات ريدبيرج الذرية ومنها خلال انتقالات تدريجية تنتقل إلى المستويات المنخفضة . وقد تم الكشف عن هذه الانتقالات خلال قياس الانبعاث الطيفي الفلوروسيني بالنسبة للانبعاثات الإشعاعية من هذه المستويات والتي تناظر سلسلة من الانتقالات تعطى $nP \rightarrow 5S_{½}$ مع أخذ قيمة n محصورة $9 \leq n \leq 26$ وكذلك الانتقالات $4D \rightarrow 4P_{1/2,3/2}$. وقد أشارت صفات الانبعاث الطيفي الفلورسيني الناتج عن هذه الانتقالات إلى مصدرها من كونها تنشأ عن عملية التأين بمشاركة الطاقة . وتم تأكيد هذه النتائج بالتحليل الزمني لهذه الانبعاثات الفلورسينية . من حيث ظهوره وزمن تكوينه والذي يتأثر بشدة بديناميكية هذه العملية . بالإضافة إلى ذلك أخذت الدراسة في الاعتبار وجود غاز مساعد بقيمة ضغط القليل من التور

داخل خلية الكوارتز والذي يؤدي إلى التخلص من هذه الانبعاثات الطيفية الفلورسينية لمستويات لها قيمة $n \geq 12$.

وفي السنوات الأخيرة أجرى محمود (Mahmoud,2004 ; 2005) دراسة نظرية لتفسير عمليات التصادم التي تؤدي إلى تأين ذرا ت بخار الروبيديوم المثار رنينيًا بواسطة أشعة الليزر. استخدم في ذلك نموذج عددي مطور يعتمد على حل معادلة بولتزمان التي تأخذ في الإعتبار عملية تشبع المستوى 5p في ذرة الروبيديوم نتيجة لامتصاص فوتون مفرد من أشعة الليزر ، بالإضافة إلى عمليات التأين التي تنتج عن تصادم بين الذرات في المستوى المشبع . واستخدم النموذج لدراسة التكوين الزمني لدالة توزيع طاقة الالكترونات وتغييرها مع قدرة أشعة الليزر الساقطة . أوضحت هذه الدراسة التحليل الطيفي لطاقة الالكترونات الناتجة من التفاعل ، حيث وجد أنها تعاني من عدد من القمم تناظر طاقات إلكترون يتحدد منها العمليات التصادمية االمسؤولة عن تكون هذه الالكترونات . أفادت الحسابات أنه عند القيم المنخفضة لكل من شدة استضاءة أشعة الليزر وكذلك كثافة ذرات البخار فإن العمليات السائدة لتكوين البلازما هي التأين التصادمي و الإثارة التصادمية .

أيضًا تم إجراء دراسة نظرية (Gamal et. al. ,2005; Mahmoud et. al. ,2006) بتطبيق نفس النموذج العددي لدراسة حركة تكون البلازما في بخار السيزيوم تحت تأثير الإثارة الرنينية لتشبع الخط الطيفي $D_{1,2}$ بواسطة أشعة الليزر. طبق النموذج لحساب التكوين الزمني لكثافة المستويات المختلفة ، وأعطت نتائج الحسابات تفسيرًا للحركة التي تحكم مسارات التأين . بالإضافة إلى ذلك تمت مقارنة القيم المحسوبة لتغير كثافة الالكترونات كدالة في قدرة الليزر مع تلك المقاسة عمليًا بواسطة هيوننكينز ومجموعته (Hunnenkens et. al. ,1985) والتي أجريت على بخار السيزيوم ، أعطت المقارنة توافقاً جيدًا بين القيم المحسوبة وتلك المقاسة عمليًا . أوضحت نتائج الحسابات تغير كثافة الأيونات الموجبة الذرية والجزيئية كدالة في قدرة أشعة الليزر والتي أشارت أن عمليتي التأين المشارك وتأين بنج تلعبان دورًا هامًا للحصول على هذه الأيونات الموجبة خلال تكون البلازما .

في عام 2008 أجريت دراسة عن تكون تيار الأيونات الجزيئية والذرية الموجبة في بخار الروبيديوم المشعع بواسطة مصدر لأشعة الليزر منغم للانتقالات 5s-5p و 5p-nl (Mahmoud,2008) . واستخدم في هذه الدراسة نموذجًا نظريًا لتفسير التكوين الزمني وتأثير قدرة الليزر على كثافة التيار الأيوني الموجب Rb^+ , Rb_2^+ . وتم حل مجموعة من معادلات المعدل التي تصف التغير الزمني لكثافة المستويات المثارة وكثافة الأيونات الذرية وكذلك كثـــافـــة الالكترونـــات تحت الشروط المعملية التي أعطيت بواسطة باربير و شيري (Barbier and Che'ret,1987) . في هذه التجربة أخذ بخار الروبيديوم بكثافة 10^{13} cm^{-3} وقدرة ليزر تتراوح ما بين 50 – 500 mW ودرجة حرارة بخار تساوي 450 K . أوضحت نتائج هذه الحسابات أن العمليات الأساسية المسؤولة عن تكون تيار الأيونات الجزيئي Rb_2^+ هي التأين المشارك وعملية تأين هورنبك مولنار ، بينما التيار الذري Rb^+ فوجد أنه ينتج عن عملية تأين بننج وكذلك التأين الفوتوني . وقد حصل الباحث على توافق بين القيم المقاسة عمليًا والقيم المحسوبة لكل من التيار الأيوني الجزيئي والتيار الأيوني الذري .

وفي عام 2009 قدم الباحثان محمود وجمال دراسة عن تأثير عملية تصادمات الطاقة على تكون البلازما في بخار السيزيوم باستخدام مصدر مستمر من أشعة الليزر للإثارة الرنينية . ولعمل ذلك تم تطبيق نموذج عددي سبق وضعه بواسطة الباحثان للتفسير الكمي لعلاقة دالة توزيع طاقة الالكترونات وكثافة إسكان مستويات الطاقة لذرات البخار والتي تكون خلال التفاعل مع قدرة أشعة الليزر . وقد أوضح طيف الطاقة للالكترونات الناتجة من التفاعل أن الآليات التي تكتسب بها الالكترونات طاقة كافية من المستوى المشبع يمكنها أن تزيد بشكل ملحوظ من كثافة البلازما الرنينية . كما أشار السلوك اللحظي لتيار الالكترونات أن تكون البلازما يبدأ خلال تأين تصادمي وإثارة تصادمية مثل التأين المشارك وتأين بننج أو التأين الفوتوني بجانب تصادمات مشاركة الطاقة . وأوضحت الحسابات أن العملية الأخيرة تلعب دورًا هامًا في تكوين مستويات الطاقة العليا لذرة السيزيوم عند استخدام مصادر ذو قدرة منخفضة نسبيًا لأشعة الليزر لانتقال الإثارة الرنيني . بالإضافة إلى ذلك أعطت المقارنة بين القيم المحسوبة للتيار الأيوني كدالة في قدرة الليزر توافقًا مناسبًا مع القيم المقاسة عمليًا بواسطة باباس و مجموعته (Pappas et. al. ,2000) . هذه النتائج يمكن أن تخدم تصميم وضع مصادر أشعة ليزر مستمرة من أبخرة القلويات .

1-3 Aim of the work. 3-1 الهدف من البحث .

من الدراسات السابقة وجد أن معظم القياسات المعملية التي أجريت على أبخرة المعادن القلوية وضعت أساسًا لتحديد مساحات مقطع العمليات الفيزيائية التي تعتمد على تصادم الذرات . ونظرًا لأن هذه الدراسات أوضحت أيضًا أن عند التأين المبني على التشبع الرنيني لأبخرة القلويات فإن البلازما المتكونة تنتج أساسًا عن مثل هذه العمليات التصادمية ، مما أتاح الفرصة لبعض الباحثين من وضع نماذج نظرية لتفسير نتائج القياسات المعملية التي اعتمدت على هذه الظاهرة ، والتي اقتصرت على بعض من هذه العمليات الفيزيائية . لذلك استكمالاً لهذه الدراسة يتجه هذا البحث إلى تطوير النموذج العددي الذي وضع سابقًا بواسطة محمود وجمال (Mahmoud,1991; Mahmoud and Gamal,1995) والذي تمكن بنجاح من تفسير القياسات المعملية لتكون البلازما في بخار الصوديوم ، وذلك لتفسير البلازما المتكونة في بخار الروبيديوم تحت الشروط المعملية التي أجريت بواسطة باربير وشيري سنة 1987 (Barbier and Che'ret,1987) . ويأخذ التطوير في الاعتبار دمج بعض العمليات الفيزيائية التي وجد عمليًا أنها تحدث في بخار الروبيديوم مثل : تأين هورنبك – مولنار (Hornbeck-Molnar Ionization) وعملية مشاركة الطاقة (Energy Pooling) والعملية المسؤولة عن تكون الأيونات السالبة ، بالإضافة إلى التأين الفوتوني للمستويات المثارة ذات الطاقة المرتفعة . يعتمد النموذج على الحل العددي لمعادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن التي تصف دالة توزيع طاقة الالكترونات بجانب عدد من معادلات المعدل تمثل التغير في كثافة مستويات الطاقة وكذلك كثافة الايونات الذرية والجزيئية المتكونة خلال التفاعل . أخذ النموذج في الاعتبار العمليات الفيزيائية التي تعمل على تغير كثافة مكونات البلازما مثل : التصادم المستحث بواسطة الالكترونات ، والتصادم بين الذرات المثارة ، بالإضافة إلى عمليات إعادة الاتحاد الإشعاعية وثلاثية الجسيم (Three-body recombination) .

ولدراسة التأثير المفرد لكل عملية أجريت الدراسة أولاً بتطبيق النموذج العددي السابق وضعه بواسطة محمود وجمال (Mahmoud and Gamal,1995) ، ومقارنة نتائج الحسابات بالنتائج التي يتم الحصول عليها لكل عملية مفردة .

يشمل الفصل الثاني وصفًا تفصيليًا للآليات الفيزيائية التي تصاحب تكون البلازما في أبخرة المعادن القلوية .

أما الفصل الثالث فيقدم الخطوات التي اتبعت في وضع نماذج عددية تصف مراحل نمو البلازما وفقًا لتقنية ليبورس بمداخل فيزيائية مختلفة . ويغطي الفصل الرابع الأسس التي اتبعت لوضع النموذج العددي المستخدم في هذه الدراسة ، مع وصف العمليات الفيزيائية التي أخذت في الاعتبار وكذلك العلاقات التجريبية والنظرية للقيم المقاسة عمليًا لمعاملات المعدل لهذه العمليات الفيزيائية . أما الفصل الخامس فيحتوي على نتائج الحسابات للحالات المختلفة التي طبق عليها النموذج ومناقشتها .

خاتمة هذه الدراسة ونظرة مستقبلية توضح النقاط التي يمكن إجرائها استكمالاً لهذه الدراسة فقد شملها الفصل السادس . تذيل الرسالة بملخص باللغة الانجليزية وقائمة المراجع التي استخدمت في هذا البحث . ثم يليها بعض الملاحق التي تحتوي على وصف شامل للبرنامج الحسابي المستخدم والرموز التي تعرف المتغيرات الفيزيائية المستخدمة في النموذج .