

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة -

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة ماستر أكاديمي

اختصاص: فيزياء الإشعاعات كاشف و بصريات إلكترونية

من إعداد الطالبة: باباي إبتسام

الموضوع

## دراسة الأطياف الصادرة عن طريق التلسمي بالليزر لكبريتات البور

نوقشت يوم: الخميس 14 شعبان 1435هـ، الموافق لـ 12 جوان 2014م

أمام أعضاء اللجنة المناقشة المكونة من السادة:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	خلفاوي فتحي
ممتحنة	جامعة ورقلة	أستاذة مساعدة	لمقدم سومية
مؤطرا	جامعة ورقلة	أستاذ مساعد	بن مبروك لزهر

السنة الجامعية: 2014/2013

# الأهداء

إلى أغلى ما نملك في الوجود شموع الدرب ونور الحياة  
والديّ الكريمين أمي وأبي حفظهما الله وأطال في عمرهما إن  
شاء الله.

إلى أجمل هدية وهبها الله لي إخوتي وأخواتي الأعزاء كل  
واحد باسمه، إلى زوجات إخوتي وأبنائهم، إلى أزواج أخواتي  
وأبنائهم

إلى جدتي إلى رفيق درب حياتي وعائلتي، إلى كل الأهل والأقارب دون استثناء.  
إلى كل الأصدقاء والأحبة التي جمعتنا بهم الحياة الجامعية والعملية خاصة طلبة تخصص  
فيزياء الإشعاعات كاشفة وبصرياته إلكترونية دفعة 2014.  
إلى من يسعى جاهداً من أجل حمل راية العلم عالياً.  
إلى هؤلاء جميعاً أهدي ثمرة مجهودي هذا.

و الله ولي التوفيق.

باباي ايتسام



# شكر وتقدير

ربي لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك لك الحمد في الأولى والآخرة، ولك الحمد

على توفيقتي في إنهاء و إكمال هذا العمل وعلى تسهيل دربي وتنوير بصيرتي.

عملا بوصية الحبيب المصطفى صلى الله عليه وسلم أنه " من لا يشكر الناس لا يشكر الله " وعليه

فإنني أعمل بالوصية وأتقدم ببالح الشكر للأستاذ القدير المشرفه " بن مبروك لزهري " و هذا

لوقوفه معي طيلة هذا العمل بنضائه ومعلوماته القيمة، كما أتقدم بالشكر إلى الأستاذ " خلفاوي

فتححي " على قبوله ترؤس لجنة المناقشة، والأستاذة "لمقدم سومية" على قبولها مناقشة هذه

المذكرة. وإلى كل من ساهم في إنجاز هذا العمل، كما لا أنسى أن أشكر أختي الكبرى التي

وقفت معي في الأوقات الصعبة، وأتمنى لها النجاح في مسار حياتها، وإلى كل أساتذتي الأفاضل

بقسم علوم المادة وخاصة الأساتذة الذين درسوني في مرحلة التعليم الجامعي، كما أشكر جميع

المسؤولين والباحثين في مخبر الإشعاع والبلانما وفيزياء السطوح

(L.R.P.P.S) بجامعة قاصدي مرباح ورقلة.

باباي إيتسام



## الفهرس

01.....مقدمة عامة.

### الفصل الأول

#### حالات المادة والبلازما وعموميات حول الليزر

02.....1-1- حالات المادة.

03.....1-1-1- ظاهرة التسامي.

03.....1-1-1- مفهوم التسامي.

03.....1-1-1-2- أمثلة على التسامي.

03.....1-1-1-3- العوامل المؤثرة على التسامي.

04.....2-1- البلازما.

04.....1-2-1- لمحة تاريخية.

04.....2-2-1- ماهية البلازما.

04.....3-2-1- درجة التأين.

05.....4-2-1- أهم خصائص البلازما.

05.....1-4-2-1- التوصيل الكهربائي.

06.....2-4-2-1- التعادل الكهربائي في البلازما.

06.....3-1- عموميات حول الليزر.

06 ..... تعريف الليزر 1-3-I

06..... خصائص الليزر 2-3-I

08..... شروط الانبعاث الليزري 3-3-I

09..... مكونات جهاز الليزر 4-3-I

11..... أنواع الليزر 5-3-I

11..... استخدامات الليزر 6-3-I

## الفصل الثاني

### الأطياف الذرية

12..... تعريف الأطياف 1-II

12..... أنواع الأطياف 2-II

12..... طيف الاصدار 1-2-II

13..... طيف الامتصاص 2-2-II

14..... التعريضات وأشكال الخطوط 3-II

14..... دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية 1-3-II

14..... التعريض الطبيعي 1-1-3-II

16..... تعريض دوبلر 2-1-3-II

16.....3-1-3-II تعريض التصادمات

17.....4-II الطرق المستعملة لتحليل الأطياف

17.....1-4-II شدة الخطوط الطيفية:

17.....1-1-4-II شدة الخطوط الطيفية الذرية

18.....2-1-4-II شدة الخطوط الطيفية الجزيئية

18.....2-4-II تحديد درجة حرارة الإلكترون

18.....1-2-4-II نسبة الشدة بين الخطين

19.....2-2-4-II طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان

### الفصل الثالث

#### التحليل الطيفي لعينة كبريدات البور ( $B_4C$ )

20 .....1-III التجربة

25.....2-III دراسة تركيبية العينة ( $B_4C$ )

27.....1-2-III تحضير قاعدة معطيات الفيزياء الذرية لعنصر الكربون والبور

27.....2-2-III رسم الأطياف الذرية النظرية

29.....3-2-III طريقة التحليل الطيفي

30.....1-3-2-III حساب شدة الكربون والبور

31.....2-3-2-III حساب النسبة (R) ومناقشة النتائج

31..... III-2-3-3- حساب درجة الحرارة ومناقشة النتائج.

33..... خلاصة عامة.

34..... قائمة المراجع.

## فهرس الأشكال

- 07..... 1-I يوضح الأطوال الموجية عند تحليل الضوء باستخدام المشور.
- 07..... 2-I عملية الانبعاث التلقائي و الانبعاث الإستحثائي.
- 08..... 3-I انتقال الالكترن من  $E_1$  الى  $E_2$ .
- 08..... 4-I انتقال الالكترن من  $E_2$  الى  $E_1$ .
- 09..... 5-I التعداد المعكوس.
- 10..... 6-I مكونات ليزر الياقوت.
- 10..... 7-I رسم تخطيطي لجهاز ليزري.
- 13..... 1-II يوضح طيف الاصدار(الانبعاث).
- 13..... 2-II يوضح طيف الامتصاص.
- 21..... 1-III ووصف تخطيطي وتوضيحي لتحليل LIBS.
- 22..... 2-III طيف الكربون عند طول موجة 247.8561 nm.
- 22..... 3-III طيف البور عند طول موجة 249.68، 249.77 nm.
- 23..... 4-III طيف الهيدروجين عند طول موجة 656.28 nm.
- 23..... 5-III طيف الأكسجين عند طول موجة 777.15، 777.54 nm.
- 24..... 6-III طيف الحديد عند طول موجة 259.84، 259.94، 260.71 nm.
- 24..... 7-III طيف الألمنيوم عند طول موجة 394.94، 396.15 nm.
- 26..... 8-III مخطط توضيحي للبرنامج.
- 27..... 9-III طيف الكربون عند طول موجة 247.8561 nm.
- 25..... 10-III طيف الحديد في مجال الكربون.



28..... nm249.77 طيف البور عند طول موجة 11-III

29..... طيف الحديد في مجال البور. 12-III

### فهرس الجداول

29..... 1-III المعطيات الذرية الخاصة بالانتقالات لكل من الكربون والبور.

30..... 2-III نتائج الشدة النظرية.

30..... 3-III نتائج الشدة التجريبية.

32..... 4-III المعطيات الذرية الخاصة بانتقالات الحديد.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
مَقْرَأَةٌ مِّنْ لَّبَدٍ  
أَوْ شَرَاءٍ مِّنْ لَّبَدٍ

### مقدمة عامة

إن الطيف المنبعث من الذرة له أهمية كبيرة في التعرف على العناصر المختلفة، حيث أنّ لكل عنصر من العناصر الموجودة في الطبيعة طيف كهرومغناطيسي خاص به ولا يوجد عنصرين لهما نفس الطيف، حيث تدرس هذه الأطياف باستخدام المطيافية. و تهدف دراستنا هذه إلى تحديد تركيبة المادة الصلبة، وذلك انطلاقاً من دراسة الأطياف الصادرة عن البلازما المتشكلة إثر عملية تسامي هذه المادة، بواسطة أشعة الليزر وذلك اعتماداً على تقنية "LIBS" وسنقدم بعض التفاصيل عن هذه التقنية خلال هذه المذكرة، وقبل ذلك سنقوم خلال الفصل الأول بتقديم عموميات حول حالات المادة. وبحكم أهمية ظاهرة التسامي في دراستنا هذه سنقوم كذلك في هذا الفصل بشرح الظاهرة مع تقديم بشكل مختصر العوامل المؤثرة فيها، وكذلك خصائص الحالة الرابعة (البلازما) وسنركز على أهم خصائصها، كما سنقوم كذلك في نفس الفصل بعرض شامل حول الليزر (مفهومه، خصائصه، أنواعه و استخداماته).

ونظراً لأهمية الأطياف والتي هي أساس دراستنا فإننا سنتطرق لها في الفصل الثاني حيث سنبين أنواعها و كذا التعريضات التي تحويها وأشكال الخطوط، وبالإضافة نظرة شاملة حول الطرق الطيفية المستعملة في تحليل الطيفي. أما في الفصل الثالث والذي يمثل الجزء العملي من الدراسة فإننا سنقوم بشرح التركيب الذري والمتعلق بتحليل المادة الصلبة عن طريق تقنية "LIBS"، كما سنقوم بعرض النموذج الرقمي للتحليل الذي من خلاله سنقوم بتحديد تركيبة المادة الصلبة من جهة، وكذا درجة حرارة الوسط مع مناقشة وتحليل النتائج المحصل عنها.

# الفصل الأول

حالات المادة والبلازما وعموميات حول الليزر

I-1- حالات المادة:

المادة بمختلف أنواعها وأشكالها تتكون من جسيمات دقيقة تدعى الذرات، وهذه الذرات بدورها تتكون من جسيمات دون الذرية أصغر بكثير من الذرات. وعلم الكيمياء يدرس تركيب المادة، وكيفية ترابط الذرات بعضها ببعض لتكوّن المواد المختلفة [1]. للمادة أربع حالات صلبة، سائلة، غازية و الحالة الرابعة هي البلازمية [1].

1- الحالة الصلبة: تكون حبيبات المادة في الجسم الصلب مترابطة ومتقاربة جدا، وهي عمليا شبه ساكنة مما يجعل للأجسام الصلبة شكلا خاصا.

2- الحالة السائلة: تكون حبيبات المادة في الجسم السائل قريبة من بعضها البعض و أكثر حركة، و هذا ما يفسر قابلية السوائل للحريان و اتخاذ شكل الاناء الذي يحويها.

3- الحالة الغازية: تكون حبيبات متباعدة جدا عن بعضها البعض، فهي تتحرك في كل الاتجاهات مما يفسر توسع الغاز في كامل الفضاء الذي يحيط به.

4- الحالة البلازمية: وهي الحالة الرابعة للمادة، وهي عبارة عن وسط غازي متأين يحوي عددا كبيرا من الجسيمات المشحونة سلبيا و المشحونة ايجابيا، وكذا الجسيمات المحايدة.

و يمكن للمادة ان تتحول من حالة إلى حالة أخرى عبر ظاهرة ما فمثلا [1]:

- التحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية تسمى بظاهرة التسامي.
  - التحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة تسمى بظاهرة انصهار.
  - التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة تسمى بظاهرة تجمد.
  - التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تسمى بظاهرة تكاثف.
  - التحول من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة تسمى بظاهرة الترسيب.
- وستتطرق في موضوعنا إلى احدى الظواهر السابقة و هي ظاهرة التسامي.

### I-1-1-1- ظاهرة التسامي

#### I-1-1-1- مفهوم التسامي:

التسامي تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة . ( مثل اليود و النفتالين). وهي إحدى أهم العمليات التي استخدمت في العمليات الكيميائية مثل : التسوية - التقطير - التنقية- التسامي - التصعيد. إن الصلب الذي ينصهر (أو السائل الذي يتبخر) يكتسب طاقة، بينما السائل الذي يتجمد (أو الغاز الذي يتكاثف) يحرر طاقة دون أن تتغير درجة حرارته : هذه الطاقة هي الحرارة الكامنة [1].

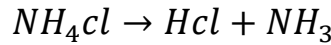
#### I-1-1-2- أمثلة على التسامي:

1- اليود والزئبق والكافور يمكن أن تتحول إلى غاز بدون انصهارها أولاً. ويطلق على هذه المواد بأنها مواد متسامية. يتسامى

النفثالين بسهولة (كرات النفثالين)، كما يتسامى الزئبق عند درجات حرارة مرتفعة.

2- البعض من المركبات الكيميائية يتسامى أيضاً، مثل كلوريد الأمونيوم، الذي يؤدي تسخينه إلى تفككه إلى كل من كلوريد

الهيدروجين والأمونياك في تفاعل عكوس.



3- بعض بلورات الثلج في السحب تتحول أحيانا إلى بخار ماء دون أن تمر بحالة السائلة ومثل ذلك يحدث في البراكين حيث

يتحول الصلب إلى بخار في الصهير.

#### I-1-1-3- العوامل المؤثرة على التسامي:

1- الضغط (والعلاقة عكسية) أي كلما نقص الضغط زاد التسامي.

2- درجة الحرارة (والعلاقة طردية) أي كلما زادت درجة الحرارة زاد التسامي.

و المادة عندما تتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية فإنها تشكل لنا البلازما فيما بعد.

## I-2- البلازما:

إن معظم المواد التي تشكل الكون هي في حالة بلازما (ما يقارب 99%)، وتشارك كل أنواع البلازما بأنها تخضع وتفسر بنفس الآليات وتديرها نفس القوانين الفيزيائية وذلك حتى باختلاف مقادير وسائطها، كما تعرف البلازما بالحالة الرابعة للمادة لكونها لا هي حالة صلبة، ولا سائلة، ولا حتى حالة غازية، فهي عبارة عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة وإلكترونات وأيونات موجبة متناسب معين يجعل الوسط إجمالاً متعادلاً كهربائياً [2].

### I-2-1- لمحة تاريخية:

إن أول من أطلق مصطلح الحالة الرابعة للمادة هو الإنجليزي " Sir William Crookes " عام 1879 لوصف القسم المتأين من الإنفراغات الغازية. وقد علل مصطلحه هذا على الشكل التالي [3]: تتحول المادة الصلبة بالتسخين إلى الحالة السائلة وباستمرار التسخين تتحول إلى غاز، وعند رفع درجة حرارة الغاز إلى حد معين يصل إلى  $10^5\text{K}$  [4]، تزداد طاقته الحركية إلى الحد الذي يؤدي إلى تصادمها مع بعضها البعض فيحدث تحرر للإلكترونات وأيونات موجبة الشحنة. استخدم مصطلح البلازما بداية من قبل "Langmuir" سنة 1928 كي يعبر عن المناطق المتساوية الكمون داخل أنابيب التفريغ الحاوية غازاً مؤيناً متعادلاً كهربائياً. بعد ذلك استخدم هذا المصطلح بصفة خاصة في فيزياء الفلك للتعبير عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز، لكنها مؤلفة من إلكترونات وأيونات موجبة، وتناسب معين يجعل الوسط إجمالاً متعادلاً كهربائياً [5].

### I-2-2- ماهية البلازما:

بصفة عامة يمكن افتراض أن البلازما هي خليط مكون من ثلاث عناصر [4] إلكترونات حرة وأيونات موجبة أو سالبة وذرات معتدلة أو جزيئات [6]، والغاز المتأين يحوي عدداً كبيراً من جسيمات مشحونة، تحجب نفسها إلكتروناتياً عند مسافة صغيرة، وأنها تجمع لجسيمات متأينة، تتفاعل جماعياً بالقوى الكهرومغناطيسية بعيدة المدى والمرتبطة بشحناتها وحركاتها [7].

### I-2-3- درجة التأين:

التأين هو ظاهرة تشكل شحن حرة داخل الغاز. ففي الحالة الطبيعية تكون الغازات بمثابة عوازل كهربائية (متعادلة كهربائياً)، وبتطبيق حقول كهربائية عالية التوتر تتحول إلى نواقل كهربائية، تسمى هذه الظاهرة بالتأين الكهربائي لغاز أو بالتفريغ الكهربائي



الغازي (بلازما التفريغ) [2]. يمكن أيضا الحصول على غاز مؤين عن طريق رفع درجة حرارته الى  $T = 10^4 \text{ }^\circ\text{C}$  أين تكون الطاقة الحرارية المتوسطة للحركة الانسحابية تقارب طاقة التأين عند التوازن الحراري، و نسمي حينئذٍ هذا التأين بالتأين الحراري.

$$\frac{1}{2} m_e v_e^2 = \frac{3}{2} K_B T_e \quad (1 - I)$$

هذا الغاز المؤين (البلازما) يحوي إلكترونات بكثافة عددية  $n_e$  و شحنة  $q_e$ ، أيونات موجبة بكثافة  $n_{ip}$  وشحنة  $q_{ip}$ ، أيونات سالبة بكثافة  $n_{in}$  وشحنة  $q_{in}$  و أخيراً جسيمات حيادية بكثافة  $n_0$ . في سلم ماكروسكوبي البلازما تكون متعادلة كهربائياً أي:

$$n_e q_e + n_{ip} q_{ip} + n_{in} q_{in} = 0 \quad (2 - I)$$

نسمى النسبة بين تركيز الجسيمات المشحونة (كثافة الإلكترونات أو الأيونات)  $n_{e,i}$  إلى التركيز الكلي للجسيمات بدرجة تأين غاز  $\alpha$  و تعطى بالعلاقة التالية [3]:

$$\alpha = \frac{n_{e,i}}{n_{e,i} + n_0} \quad (I - 3)$$

تتغير  $\alpha$  عمليا بين  $10^{-10}$  و 1.

#### I-2-4-أهم خصائص البلازما:

#### I-2-4-1- التوصيل الكهربائي:

بما أن البلازما غاز عالي التأين يضم عددا هائلا من الجسيمات المشحونة المتحركة بحرية داخلها، فإنها تعد موصلا جيدا للكهرباء. تتبادل هذه الجسيمات المشحونة التأثير مع الحقل الكهرومغناطيسي الموضعي، كما أن الحركة المنظمة لها تحدث تيارات كهربائية وتغيرات لكثافة الشحنة، تؤدي الى نشوء حقول كهرومغناطيسية.

### I-2-4-2- التبادل الكهربائي في البلازما:

إحدى الصفات المهمة في البلازما هي نزعتها لتبقى متعادلة كهربائياً ، أي ميلها إلى توازن الشحنة الفراغية السالبة مع الشحنة الفراغية الموجبة في كل جزء من الحجم العيني ، وأن أي اختلاف بسيط في كثافة الشحنة الفراغية يسبب نشوء قوى كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التبادل ، من جهة أخرى إذا تعرضت البلازما إلى حقل كهربائي خارجي فإن كثافة الشحنات الفراغية ستتنظم نفسها بحيث يحجب الجزء الأعظم من البلازما من تأثيرات هذا الحقل [6].

### I-3- عموميات حول الليزر:

تعتبر تكنولوجيا الليزر من العلوم المتطورة التي تدخل في العديد من التطبيقات مثل استخدام الليزر في التطبيقات الطبية و الاتصالات و الأبحاث العلمية و الهندسية و العسكرية ، والليزر له العديد من الخواص التي تميزه عن أي مصدر ضوئي ، و من هذا نبدأ في الموضوع و توضيح فكرة عمل الليزر.

### I-3-1- تعريف الليزر:

(بالإنجليزية: LASER وهي اختصاراً لعبارة Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) و تعني تكبير و تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث الإستحثاثي للإشعاع الكهرومغناطيسي [7-8] ، و هو عبارة عن حزمة ضوئية ذات فوتونات تشترك ترددها و تتطابق موجاتها، بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية [9]، وقد تنبأ بوجود الليزر العالم ألبرت أينشتاين في 1917 حيث وضع الأساس النظري لعملية الانبعاث الإستحثاثي، وتم تصميم أول جهاز في 1960 من طرف العالم T.H. Maiman باستخدام بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت [11].

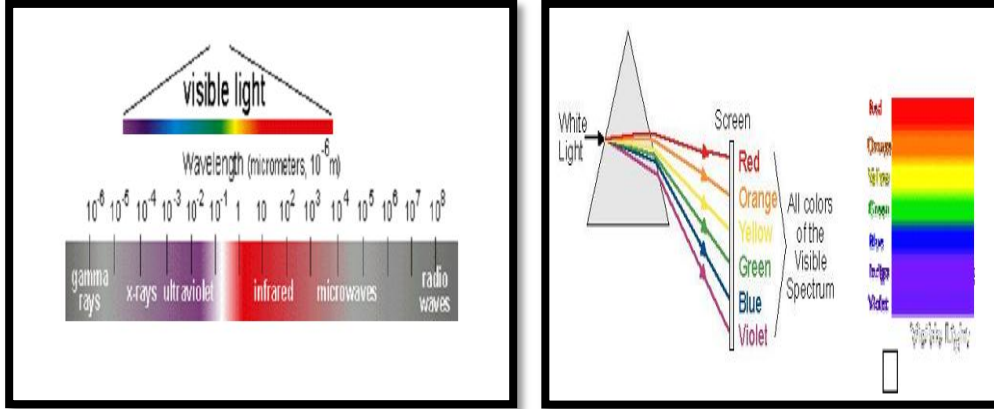
### II-3-2- خصائص الليزر:

شعاع الليزر يمتلك خصائص تميزه عن أية مصدر من مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي و هذه الخصائص هي:

#### 1- أحادي اللون Monochromatic: وتعني أن الليزر له عرض طيفي ضيق ينتج عنه تردد مفرد نقي، وهذا

ما يميزه عن الضوء العادي حيث أن بتحليل الضوء الأبيض الصادر من الشمس أو من مصباح ضوئي فإنه يحتوي على

العديد من الأطوال الموجية. كما هو موضح في الشكل (I-1) عند تحليل الضوء باستخدام الموسور [9].



شكل (I-1): يوضح الأطوال الموجية عند تحليل الضوء باستخدام المشور [9].

## 2- توازي الحزمة الضوئية Collimation أو الاتجاهية Directionality:

الضوء الصادر عن الليزر له اتجاه واحد بجود مهم [9].

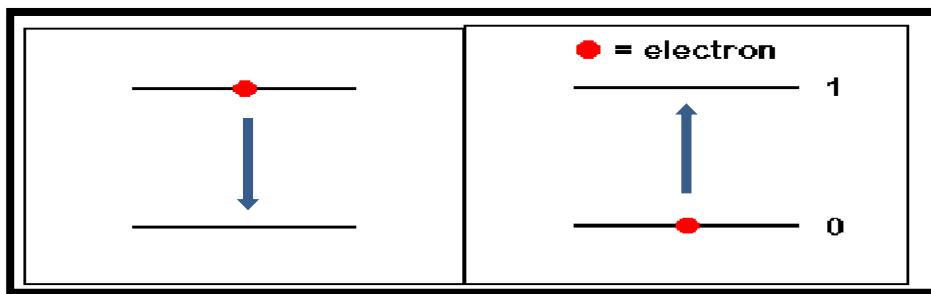
## 3- الترابط Coherence: و يجب أن يكون بين موجات الحزمة عالي جدا و متزامن و هذا يساعد الموجات الضوئية أو

الفوتونات في تقوية بعضها البعض لتعطي طاقة و قدرة عالية للحزمة، و يكون هذا الترابط اما بناء و فرق الطور بين الموجات

يساوي الصفر أو هدام و فرق الطور بين الموجات يختلف عن الصفر [9-11].

## 4- الشدة الضوئية Light Intensity: و تكون عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز المليمتر [9]، المسؤول

عن هذه الخصائص هي عملية الانبعاث الإستحثاثي بينما في الضوء العادي يكون الانبعاث تلقائي الشكل (I-2).



الانبعاث الإستحثاثي

الانبعاث التلقائي

شكل (I-2): عملية الانبعاث التلقائي و الانبعاث الإستحثاثي [11].

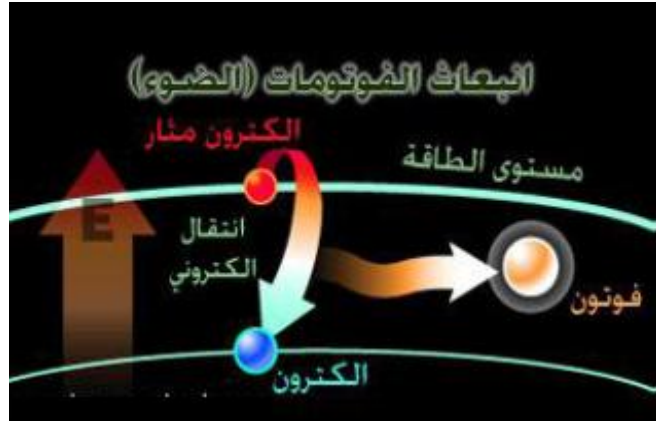
I-3-3- شروط الانبعاث الليزري: يجب توفر ثلاثة شروط أساسية وهي:

### 1- توفر الانبعاث الاستحثاثي Stimulated Emission:

في الظروف العادية تكون غالبية الذرات في مستوى الطاقة الأقل، و عدد قليل منها يكون في المستويات العليا .  
و الذرات التي تكون في حالة تهيج تبعث فوتونات تلقائيا، ولتخلص من حالة التهيج و النزول إلى مستويات طاقة أقل تكون هذه العملية عشوائية الحدوث، و الفوتونات المنبعثة لا تكون مترابطة مع بعضها البعض (أي لا تكون بنفس الطور)[10].



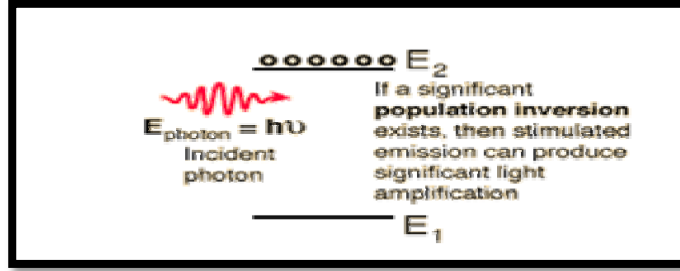
شكل (I-3): انتقال الالكترون من  $E_1$  إلى  $E_2$  [10].



شكل (I-4): انتقال الالكترون من  $E_2$  إلى  $E_1$  [10].

## 2-التعداد المعكوس Population Invesion:

يتطلب ابعث أشعة الليزر العمل على زيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أي زيادة تعدادها عن الحالة الطبيعية، و عندما يكون عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا نستطيع القول بأنه حصل انقلاب في التعداد و هو ما سميناه بالتعداد المعكوس. [7]



شكل (I-5): التعداد المعكوس [8].

## 3- التكبير الضوئي Light Amplification:

يجب أن يُضخ الوسط المادي من مصدر طاقة لحث الذرات والجزيئات على التهيج، أي الارتفاع إلى مستوى طاقة أعلى لانتواجد فيه عادة تحت الظروف الطبيعية، وتكوّن مايسمى بالتعداد المعكوس، والذي فيه تكون غالبية ذرات وجزيئات المادة في مستويات الطاقة العليا بدلا من المستويات المنخفضة. وبعدها ينبعث الشعاع الليزري بواسطة الانبعاث المحث و عمليات التكبير الضوئي.

### I-3-4- مكونات جهاز الليزر:

يتكون جهاز الليزر عادة من العديد من المكونات الكهربائية و الالكترونية و البصرية و اجهزة السيطرة والتضمنين، و من اهم المكونات الرئيسية التي يشترط وجودها في اجهزة الليزري: [7]

#### 1-الوسط الفعال: إن الوسط الفعال المستخدم في الليزر يكون عادة في حالة صلبة او سائلة او غازية.

ومن الليزر الصلبة ليزر الياقوت انظر الشكل (5).

#### 2-المرنان (مرآتان): و يقوم المرنان بمساعدة الفوتونات المنبعثة لتنعكس ملايين المرات في الثانية ذهابا و ايابا بين

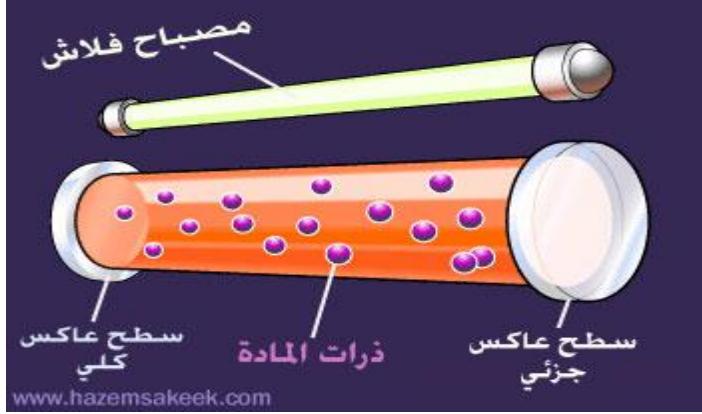
المرآتين، مارة في كل جولة خلال الوسط الفعال لتحفيز اعداد كبيرة من الذرات او الجزيئات المتتهيجة لكي تنبعث فوتونات

جديدة اخرى للحصول على حزمة الليزر.

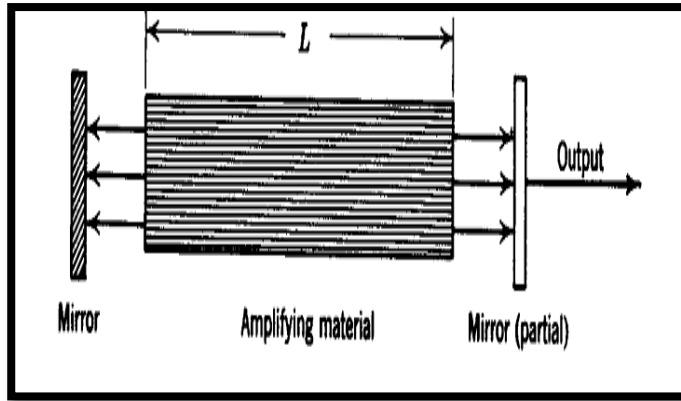
3- الضخ: حيث تقوم الطاقة الضاخة بإثارة الذرات المستقرة في الوسط الفعال لتنتقل إلى المستويات المثيعة لكي يتحقق

التوزيع العكسي المناسب الذي يضمن توليد الليزر، وهناك ثلاث تقنيات للضخ وهي تقنية الضخ الضوئي و الضخ

الكهربيائي و الضخ الكيميائي.



شكل (I-6): مكونات ليزر الياقوت [8]



شكل (I-7): رسم تخطيطي لجهاز ليزري [11].

### I-3-5- أنواع الليزر:

يمكن التعرف على نوع الليزر من خلال طبيعة المادة الفعالة، وهناك ثلاثة أنواع رئيسية وهي:

#### 1-ليزر الحالة الصلبة:

هو الليزر الذي ينتج بواسطة مادة أو خليط من مواد صلبة كليزر الياقوت (Ruby)، وليزر النديميوم ياك

(Neodymium-YAG)، وليزر أشباه الموصلات مثل أرسنايد الأنديموم (InAs-laser) و أرسنايد الكالسيوم (GAS-

laser)، و يسمى بليزر TAG اختصارا و يكون طوله الموجي في منطقة الأشعة تحت الحمراء. [7]

2-ليزر الغاز: وهو الليزر الذي تكون المادة الفعالة بحالة غازية، كليزر ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) و ليزر الهليوم نيون

(He-Ne) و تكون أطوالها الموجية في مدى الأشعة تحت الحمراء. [7]

3-ليزر السائل: وتكون المادة الفعالة في حالة سائلة وهناك انواع عديدة منها: ليزرات الصباغ العضوية و ليزر اوكسي

كلوريدا النديميوم - سيلينيوم [10].

### I-3-6- استخدامات الليزر:

إنّ الليزر منذ اكتشافه عام 1960 فرض نفسه في الكثير من الاستخدامات العلمية و العملية، و قد أستخدم كمصدر

حراري في التطبيقات الصناعية، و الطبية (يستخدم في العمليات الجراحية مثل جراحة المخ و القلب والأوعية الدموية

والجراحة العامة) ، وفي تثقيب المعادن وقطعها ولحامها، ويستخدم ايضا في الاتصالات....الخ[11]، كما يستخدم في تحليل

المادة الصلبة وغيرها.



الفصل الثاني  
الأطياف الذرية



إنّ الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الذرة له من الأهمية في علم الفيزياء الذرية في التعرف على العناصر المختلفة، ولدراسة الضوء المنبعث من إثارة ذرات العنصر يكون بواسطة المنشور أو بواسطة الحيود وتدعى بالمطياف أو الراسم الطيفي [12]. تعتبر طرق التحليل من أهم وأشمل الطرق للتحليل الطيفي نظرا لسهولة ودقتها وحساسيتها العالية وتطبيقاتها المتعددة، حيث تعتمد على امتصاص وانبعثات الطاقة الإشعاعية، إذ بتفسير هذه المعلومات يمكن الحصول على معلومات كمية ونوعية، فمن الناحية النوعية تستخدم مواقع الخطوط أو الحزم الامتصاصية أو الانبعثات التي تحدد في الطيف الكهرومغناطيسي دليلا على وجود عناصر خاصة، أما من الناحية الكمية فيمكن تقدير تركيز المكونات من قياس شدة خطوط الامتصاص والانبعثات، حيث تعطى المعلومات التي نحصل عليها من القياسات الطيفية على شكل رسم بياني بين الطاقة الممتصة أو المنبعثة بدلالة الموقع على الطيف الكهرومغناطيسي، ويدعى بالطيف ويقاس موقع الامتصاص أو الانبعثات بوحدات الطاقة أو الطول الموجي [13].

## II-1- تعريف الأطياف

الطيف ناتج عن تشتت شعاع (تحلل) ذو طاقة إلى عدة أطوال موجية (شريط مكون من لون واحد أو عدة ألوان)، حيث نسمي الاشعاع الصادر عن الذرات بالطيف الذري، حيث استطاع بوهر عام 1913 وضع نظرية لذرة الهيدروجين والتي بموجبها فسّر الطيف المنبعث من الذرة، ويختلف الطيف باختلاف المصدر والوسط الذي ينتشر فيه الشعاع [14].

## II-2- أنواع الأطياف:

إن الطيف المرئي يتكون من الألوان السبعة، ويمكن رؤيته بالعين المجردة وينقسم إلى نوعين:

## II-2-1- طيف الإصدار:

يتم الحصول على طيف الإصدار بإثارة الذرات بوسائل مختلفة (حرارية: طيف اللهب) فالطاقة الممتصة تجعل الإلكترونات ترتقي من الوضع الأرضي إلى وضع مهيج أعلى طاقة، ومن المعروف أن عمر الحالة المهيجة للإلكترونات قصير، فتعود الإلكترونات إلى الوضع الأرضي فتحرر الطاقة الممتصة على شكل ضوء (طيف إصدار الصوديوم...) ويمكن أن تعود الإلكترونات إلى الوضع الأرضي عبر حالة مثارة أدنى، ومن جهة أخرى يمكن للحالات المثارة أن يكون لها أعمار مرموقة بحيث يستمر معها إصدار الضوء بعد توقف الإثارة، ونعرف هذه الحادثة بالفسفرة. [14,15]



شكل(II-1): يوضح طيف الإصدار (الانبعاث) [14].

وهناك نوعان من طيف الإصدار " الانبعاث " هما : طيف المستمر والغير مستمر " الطيف المتقطع " .

• **الطيف المستمر:** ويتكون الطيف المستمر من حزمة غير متقطعة من ألوان وأطوال جميع الموجات المرئية وذلك مثل

الطيف الذي تعطيه غالب المواد الصلبة عند درجات حرارة عالية .

• **الطيف المتقطع:** و يتكون طيف الإصدار المتقطع (غير المستمر) لمادة من نمط لخطوط مضيئة على أرضية داكنة

ويُسمى بخط الطيف المرئي الطيف الخطية.

## II-2-2- طيف الامتصاص :

تعطي معظم المواد الصلبة إذا سخنت إلى درجة حرارة عالية جداً لهبة بيضاء ساخنة ، وينطلق منها إشعاع طول موجته مساوي

لطول موجة الضوء المرئي ، يؤلف هذا الإشعاع عادة طيفاً مستمراً فلا يشكل مناطق مظلمة.

إذا كنا نريد معرفة طيف مادة ولا نستطيع جعلها تنوهج عن طريق التسخين عندها نضع منبعاً لطيف مستمر ونمرره عبر هذه

المادة فتمتص المادة الفوتونات التي تتوافق معها كذرة بحسب بنيتها الداخلية، فتظهر أماكن الامتصاص بلون اسود وهذا ما يسمى

طيف الامتصاص الذي يساعدنا من معرفة نوع المادة. [15-16]



شكل(II-2): يوضح طيف الامتصاص [14].

### II-3- التعريضات وأشكال الخطوط:

تمّ تطوير واستعمال عدة تقنيات بنجاح من أجل تحديد عوامل مختلف الأوساط (غاز، بلازما..). إنّ الطرق النظرية هي التقنيات الأكثر استعمالاً عموماً، ومن بين هذه الطرق نجد طريقة مطيافية الاصدار والامتصاص. عند اصدار أو امتصاص الاشعاعات، تكون الأشعة الطيفية ليست رقيقة جداً، لكنها تمثل بعض العرض وبعض المقاطع، وهي تمثل توزيعات الاشعاعات  $I(\nu)$  أو  $I(w)$  حول تردد مركزي  $\nu_0$  أو  $w_0$ . ومطيافية الاصدار الذري هي طريقة توافق جداً تشخيص الغازات والبلازما. [17]

### II-3-1- دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية :

أسباب تعريضات الخطوط الطيفية المنبعثة من المرسل كثيرة، نذكر منها:

- التعريض بواسطة الإشعاع : التعريض الطبيعي.
- التعريض بواسطة فعل دوبلر.
- التعريض بواسطة التصادم.

### II-3-1-1- التعريض الطبيعي:

كلاسيكياً: سببه يكمن في كبح لحركة الالكترون المهتز الذي يفقد طاقته عند الاشعاع.

كيميا: تعريض المستويات سببه يتعلق بمدة حياة محدودة للمستويات الذرية، حيث اننا لا نستطيع تحديد الزمن والطاقة في آن واحد (مبدأ الارتياب لهيزنبرغ).

$$\Delta E_j = \frac{\hbar}{\tau_j} (1 - \Pi)$$

الذرات تستطيع أن تتأثر على الانتقال من الحالة (a) الى الحالة المثارة (b) بطاقة منخفضة، الحالة (a) لا يمكن اعتبارها حالة مستقرة والخطوط الطيفية غير متناهية الدقة لكن لديها توزيع لتواترها، واحتمال العثور على ذرة تصدر في الحالة  $j$  تعطى بالعلاقة [19,18]:

$$P_j = \psi_j(r, t) \times \psi_j(r, t) \times \exp(-\gamma t) \quad (2 - II)$$

دالة الموجة التي تصف حالة الذرة عند الحالة المثارة  $\psi_j(r, t)$ .

$\gamma$  : يمثل معدل الانبعاث.

الدالة  $\psi_j(r, t)$  يمكن التعبير عنها بجزأين أحدهما موضعي والأخر زمني على النحو التالي:

$$\psi_j(r, t) = U(r) \times \exp\left(\frac{-iE_j t}{\hbar}\right) \quad (3 - II)$$

حيث:  $E_j$  : طاقة الذرة عند الإصدار في الحالة  $j$ .

بفرض أن الاهتزاز يبدأ عند  $t=0$  و توزيع الطاقة يعطى بالعلاقة التالية:

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} f^*(\omega) f(\omega) \quad (4 - II)$$

$$f(\omega) = A \int_0^{+\infty} e^{(-i(\omega - \omega_0)t - \frac{\gamma t}{2})} dt \quad (5 - II)$$

$\omega_0$  : التواتر الطبيعي للمشح.

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{A^2}{(\omega - \omega_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4}} \quad (6 - II)$$

دالة التوزيع تعطى بالشكل:

شدة الإشعاع اللورنتزية تأخذ الشكل:

$$I(\omega) = \frac{\gamma}{2\pi} \frac{1}{(\omega - \omega_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4}} \quad (7 - II)$$

عرض نصف الخطوط يعطى بالمعادلة:

$$(I\omega_1) = I(\omega_2) = \frac{I(\omega_0)}{2} \quad (8 - II)$$

II-3-1-2- تعرض دوبلر:

أصل فعل دوبلر هو حركة الذرات و الأيونات المرسله (تحرك ذرات المصدر).

و هو أول وصف دقيق قدمه رايلي 1889، حيث لاحظ ذرات المصدر تتحرك بسرعة  $v$  اتجاه يصنع زاوية  $\theta$  مع الاتجاه

الملاحظ، و يسجل تواتر  $\omega$  و تعطى عبارته كالتالي:

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{v}{c} \cos \theta\right) \quad (9 - II)$$

حيث:  $\omega_0$  : التواتر المتعلق بالمصدر.

C: سرعة الضوء في الفراغ.

من خلال العلاقة (9 - II) نحصل على:

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{v}{c} \cos \theta = \frac{v_x}{c} \quad (10 - II)$$

إذا كان الوسط يتميز بدرجة حرارة T و بفرض دالة توزيع السرعة لماكسويل نكتبها من الشكل:

$$W(v_x) dv_x = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{v_x^2}{v_0^2}\right) \frac{dv_x}{v_0} \quad (11 - II)$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = kT \quad \text{حيث: } v_0 : \text{نعرفها بالعلاقة:}$$

$m$ : كتلة ذرات المصدر.

$k$ : ثابت بولتزمان .

بوضع  $\Delta\omega_D = \frac{v_0}{c}$  توزيع الشدة في خطوط الطيف من الانتقال  $j \rightarrow i$ ، فنحصل على شكل دوبلر الغاوسي وعبارته

تأخذ الشكل التالي: [18]

$$I(\omega) d\omega = W \left( c \frac{\Delta\omega}{\omega_D} \right) d\omega \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[ - \left( c \frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_D} \right)^2 \right] d\omega \quad (12 - II)$$

$I(\omega)$ : توزيع غوسيان لتواتر  $\omega$

### II-3-1-3- تعريض التصادمات:

إنّ السبب الأساسي لتعريض خطوط الطيف هو الاضطراب الناجم عن الذرات و ذلك بمختلف جزئياتها المشحونة والغير مشحونة، و في هذه الحالة يحدث التعريض بواسطة التصادم يمكن تقسيمه إلى ثلاث فئات:

1- التعريض بالرنين: و يكون ذلك بواسطة اضطراب الجزئيات الغير مشحونة (تفاعل ثنائي الأقطاب - ثنائي الأقطاب).

2- تعريض فاندرفالز: ويكون ذلك بواسطة اضطراب الجزئيات الغير مشحونة مع مختلف أنواع ذرات المصدر. (تفاعل ذرة من نوع A - ذرة من نوع B)

3- تعريض ستارك: سببه تفاعل الجسيمات المشحونة (أيونات، إلكترونات) مع ذرات المصدر. و يتم التعبير عن هذا التفاعل بواسطة تأثير حقل ضعيف أيوني و إلكتروني مع ذرات المصدر. الحقل E يعمل على اضطراب مستويات الطاقة الذرية لتصل إلى أدنى المستويات، هذا الطرح يعمل على تحلل مستويات الطاقة الذرية إلى عدة مستويات [18،20].

$$\delta_S [A^\circ] = 2w \left( \frac{n_e}{10^{16}} \right) + 3.5A \left( \frac{n_e}{10^{16}} \right)^{1/4} \left[ 1 - BN_D^{-1/3} \right] 2w \left( \frac{n_e}{10^{16}} \right) \quad (13-II)$$

و إذا كان الوسط ذو ضغط منخفض نسبيا فإن الطيف يأخذ الشكل اللورانتزي. [17]

### II-4- الطرق المستعملة لتحليل الأطياف

#### II-4-1- شدة الخطوط الطيفية:

#### II-4-1-1- شدة الخطوط الطيفية الذرية:

وتتميز الخطوط الطيفية ليس فقط من جانب ترددات المنقولة ولكن أيضا من الشدة التي بهم، وشدة الخط الطيفي الموافقة للانتقال من المستوى الأولي إلى المستوى النهائي، وتعطى من قبل القانون الكلاسيكي (1):

$$I_{if} = N_i A_{if} h \nu_{if} = N_i A_{if} h \frac{c}{\lambda_{if}} \quad (14. II)$$

$$N_i = \frac{N g_i}{B(T)} \exp \left( \frac{-E_i}{K_B T} \right) \quad (15. II) \quad B(T) = \sum_i g_i \exp \left( \frac{-E_i}{K_B T} \right) \quad (16. II)$$

حيث:  $A_{if}$ : احتمال انتقال (معامل أينشتاين).

$\nu_{if}$ : نبض هذا التحول (تردد).

$N_i$ : عدد الذرات المثارة في وحدة حجم.

$h$ : ثابت بلانك .

$B(T)$ : دالة التوزيع.

$I_{if}$ : الشدة ويعبر عنها بـ  $(W/m^3)$ .

## II-4-1-2- شدة الخطوط الطيفية الجزيئية:

في حين أن الانتقال من حالة تتميز بأعداد الكم  $(n', v', j')$  إلى حالة تتميز بأعداد الكم  $(n'', v'', j'')$ ، وشدة الخطوط

الطيفية المنبعثة خلال هذه المرحلة الانتقالية هي الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن  $4\pi$  استراديانوتعطى المعادلة بـ:

$$I_{n'',v'',j''}^{n',v',j'} = hv_{n,v'',j''}^{n',v',j'} A_{n,v'',j''}^{n',v',j'} N(n', v', j') \quad (17 - II)$$

حيث:  $h$ : ثابت بلانك .

$N(n', v', j')$ : كثافة المرسل  $(m^{-3})$ .

$A_{n,v'',j''}^{n',v',j'}$ : احتمالية الانتقال  $(s^{-1})$ .

$v_{n,v'',j''}^{n',v',j'}$ : عدد الموجي للانتقال من  $(n', v', j')$  إلى  $(n'', v'', j'')$  بـ:  $(cm^{-1})$

$I_{n'',v'',j''}^{n',v',j'}$ : الشدة ويعبر عنها بـ:  $(W/m^3)$ . [21]

## II-4-2- تحديد درجة حرارة الإلكترون:

هناك عدة طرق لتحديد درجات الحرارة البلازما وتشمل: نسبة الشدة بين الخطين، أو الرسم التخطيطي بولتزمان .

### 1- نسبة الشدة بين الخطين:

نسبة الشدة بين الخطين: هذه الطريقة تتم بين انتقالين شعاعيين في شروط من توازن مستويات الطاقة الحرارية المحلية (توازن

ترموديناميكي محلي) لدرجة حرارة معينة .

وفقا للمعادلة (1. II) يمكننا أن نستنتج درجة الحرارة التي تنبعث من نوع الإشعاع المرسل، نستخدم نسبة شدة بين الخطين

(1) و(2) من نفس النوع.

$$\frac{I_{ij}}{I_{kl}} = \frac{g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}{g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}} \exp\left(\frac{E_k - E_i}{KT}\right) \quad (18. II)$$

$$KT(eV) = \frac{(E_k - E_i)}{\left(\ln\left(\frac{I_{ij} \cdot g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}}{I_{kl} \cdot g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}\right)\right)} \quad (19. II)$$

## 2- طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان:

يتم تقييم درجة حرارة الإثارة ( $T_{exc}$ ) من قياس شدة الخط الطيفي للانبعاث الضوئي  $I_{if}$  المتعلقة بالانتقال من المستوى  $i$  إلى المستوى  $f$ . على افتراض أن عدد السكان في المستويات الذرية يحقق توزيع بولتزمان، وتعطى شدة الخطوط الطيفية بـ:

$$I_{if} = \frac{hC}{\lambda} \frac{ng_i A_{if}}{B(T_{exc})} \exp\left(-\frac{E_i}{T_{exc}}\right) \quad (20. II)$$

حيث:  $h$ : هو ثابت بلانك.  $C$ : هي سرعة الضوء في الفراغ.

$B(T_{exc})$ : هي دالة التوزيع.

$\lambda$ : هو الطول الموجي الموافق للانتقال.

$A_{if}$ : احتمال الانتقال. [22]



## الفصل الثالث

التحليل التركيبي لعينة كبريتات البور

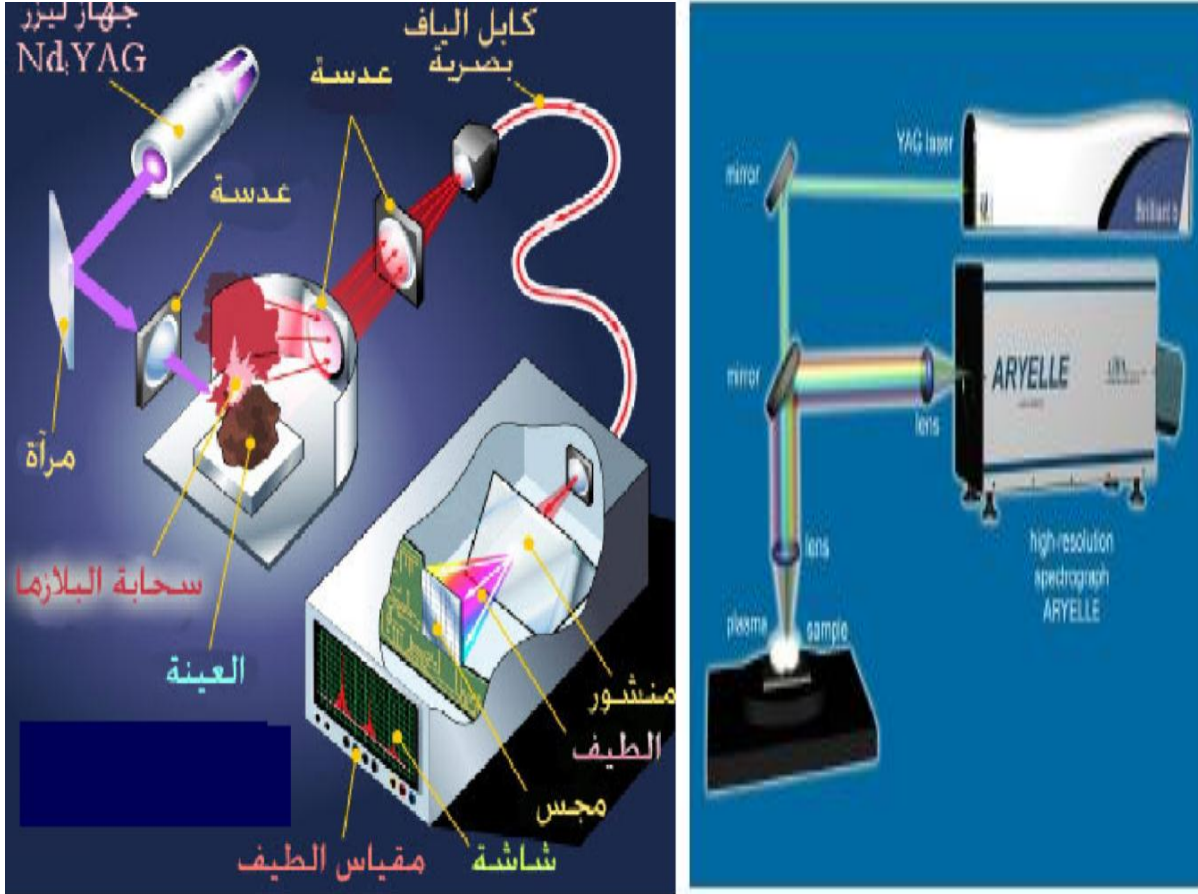
سنهتم في هذا الفصل بحساب نسبة تواجد الكربون والبور في عينة صلبة مفترض أنها مجهولة التركيب، حيث سنقوم بتحليل الأطياف التجريبية الصادرة عن الوسط الذي تشكلت به البلازما نتيجة المادة الصلبة، وقبل التطرق الى النموذج الرقمي المتبع في هذه الدراسة سنقوم أولاً بتوضيح التجربة التي من خلالها تحصلنا على الأطياف التجريبية المراد دراستها. وتعتمد هذه التجربة على تقنية التحليل الطيفي المستحث بالليزر وتسمى هذه التقنية بـ "LIBS"، وهي اختصار لـ (Laser-induced breakdown spectroscopy)، ولتنفيذ هذه التقنية تركز نبضة ليزر على الهدف فتولد البلازما، فيتم تجمع الإشعاع المنبعث من البلازما بواسطة نظام من الألياف البصرية الشكل (1) يبين مقطع توضيحي للمطياف. تقنية "LIBS" لديها العديد من المزايا فهي تسمح بالمسح عن بعد في الوقت الحقيقي، وكذلك هي غير مدمرة للعينة، كما يمكن تطبيقها في مجالات عدة الطبية [23-24]، والعسكرية [25]، وكذلك على أي نوع من المواد السائلة [26-27] (H<sub>2</sub>O ، وسط مائي ، .. ) ، الغازية [28-29] (CO<sub>2</sub> ، والهواء ، غاز الهيليوم ، .. ) ، الصلبة [30-31] ( رش السطح، المواد البيولوجية و المواد الصلبة )، وهذا ما سنطبقه في دراستنا هذه حيث اخترنا العينة عبارة عن كبريدات البور، التي تحتوي على نسبة عالية من البور (حوالي 80٪)، حيث تشكلت إثر تفاعل أكسيد البور مع الكربون عند 2300 درجة مئوية و ذلك حسب المعادلة الكيميائية التالية:



### III-1- التجربة:

يتم ضخ الليزر بواسطة مصباح فلاش على تردد 20Hz، تبعث منه في الطول الموجي 1064 نانومتر حزمة ضوئية يتراوح زمنها من 5 إلى 20 نانوثانية، ويعمل الليزر بنظام النبضات كل نبضة من نبضات الليزر تحمل طاقة في حدود 10 إلى 100 ملي جول، حيث يمر شعاع الليزر عبر عدسة تقوم بتجميع طاقة الليزر على العينة وهذه الطاقة كافية لإنتزاع بعض جسيمات المادة، وهذه الجسيمات تكون متأينة وتكون ما يعرف باسم سحابة البلازما plasma plume، تتمدد سحابة البلازما المكونة من الغاز المتأين، وخلال فترة زمنية في حدود ميكرو ثانية تبدأ الذرات في الاسترخاء وتنتقل إلى المدارات الأرضية، مطلقة فوتونات ضوئية تعرف باسم طيف الانبعاث spectral emission، تسقط هذه الفوتونات الضوئية على عدسات تجمعها وتركزها

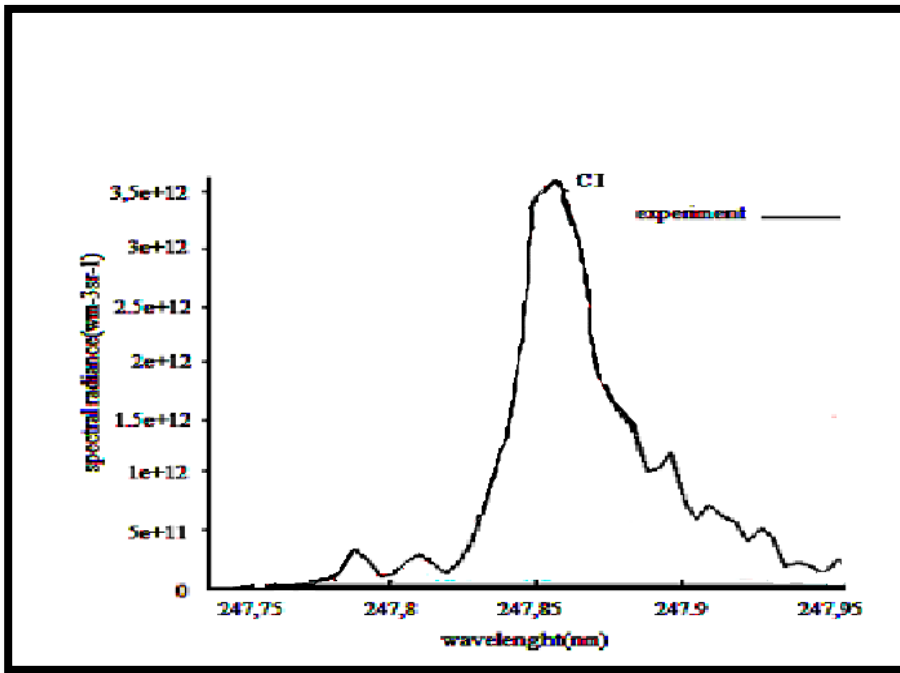
على نظام من الألياف البصرية fiber optic، يقوم نظام الألياف البصرية بنقل الضوء إلى المطياف، حيث يعمل على تشتيت الضوء حسب طول الموجي وتقوم كاميرا خاصة بتسجيل الطيف كما هو موضح في الشكل (III-1) [32].



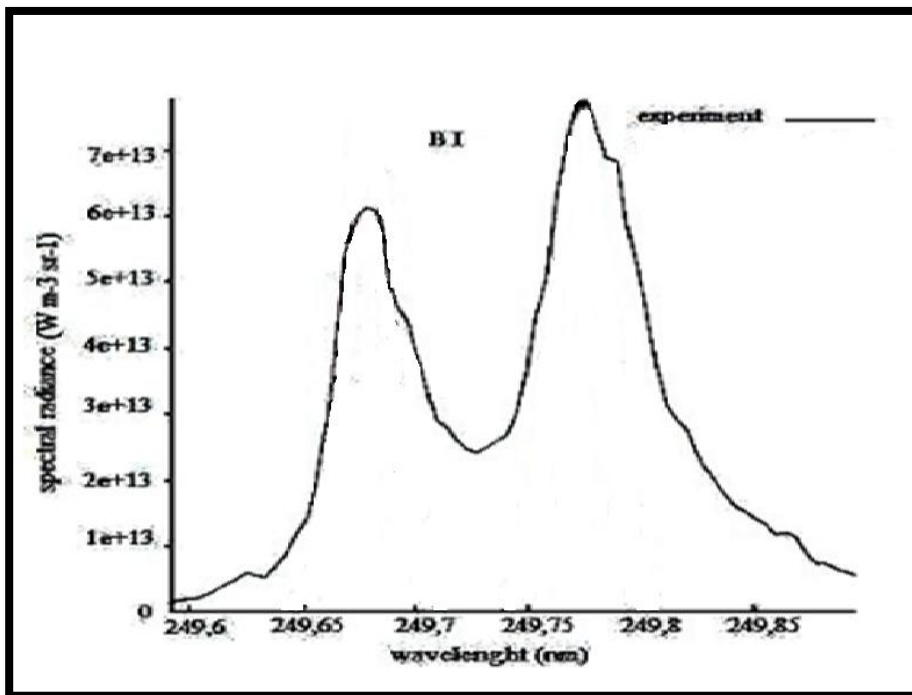
الشكل (III-1): وصف تخطيطي وتوضيحي لتحليل LIBS (33)

- يلاحظ خطوط الانبعاثات بالنسبة للعينة ( كبريدات البور  $B_4C$  ) على النحو التالي: الكربون الشكل (III-2) والبور الشكل (III-3)، الهيدروجين الشكل (III-4) والأكسجين الشكل (III-5)، الحديد الشكل (III-6) والألمنيوم الشكل (III-7) [33].

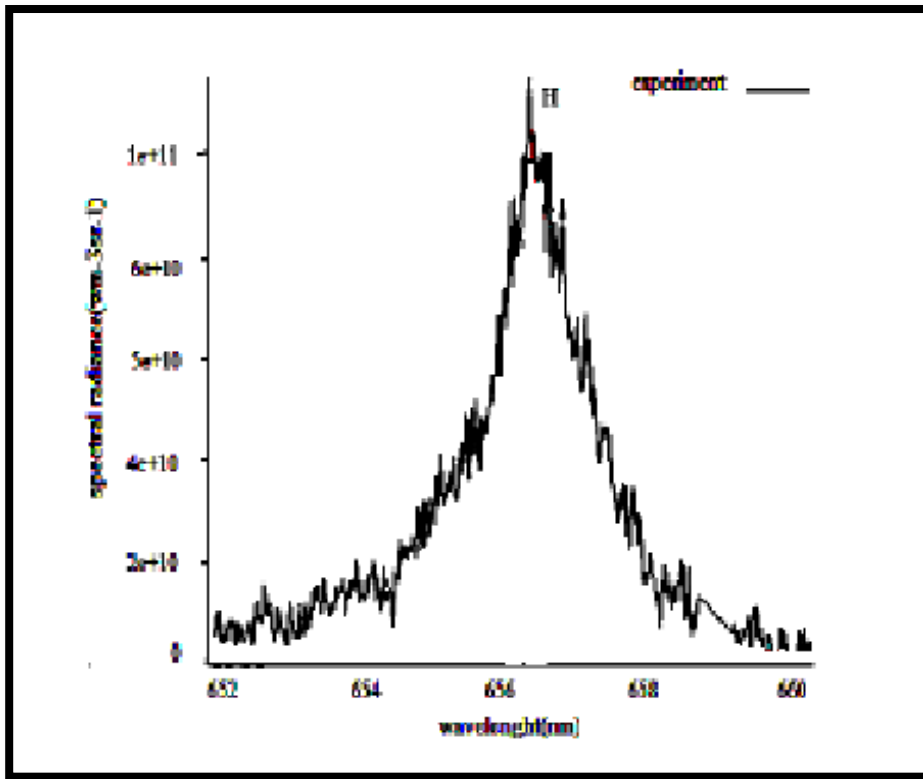
- خطوط انبعاث الكربون والبور تتميز بوضوح لأنهم غالبية مكونات المواد. ( $B_4C$  (B : 80% et C : 20%).
- درجة الحرارة المحسوبة مساوية لـ 2244.27 كالفن (K).



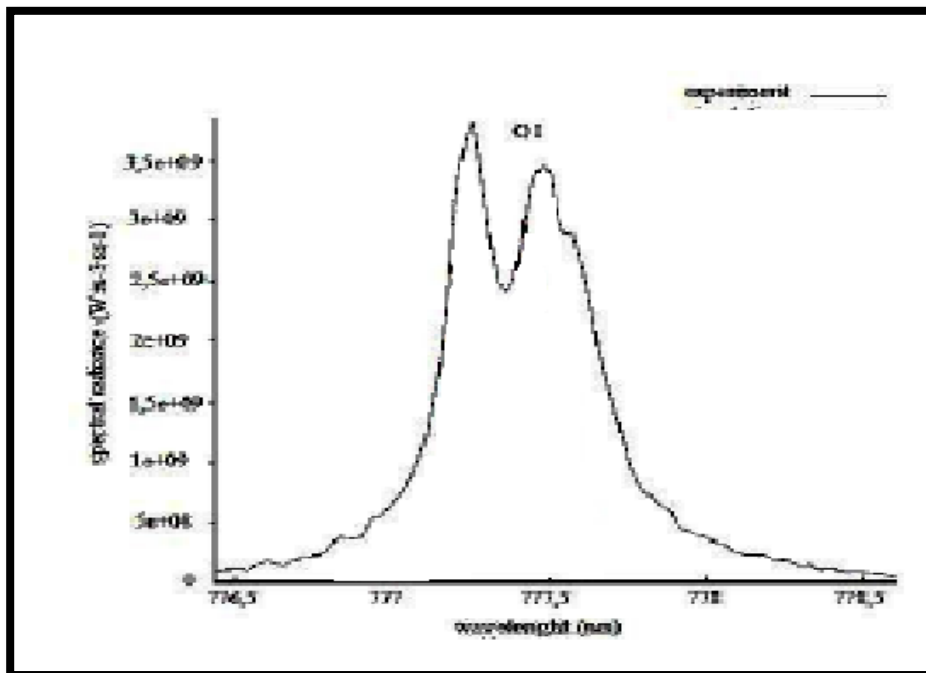
الشكل (III-2): طيف الكربون عند طول موجة 247.8561 nm.



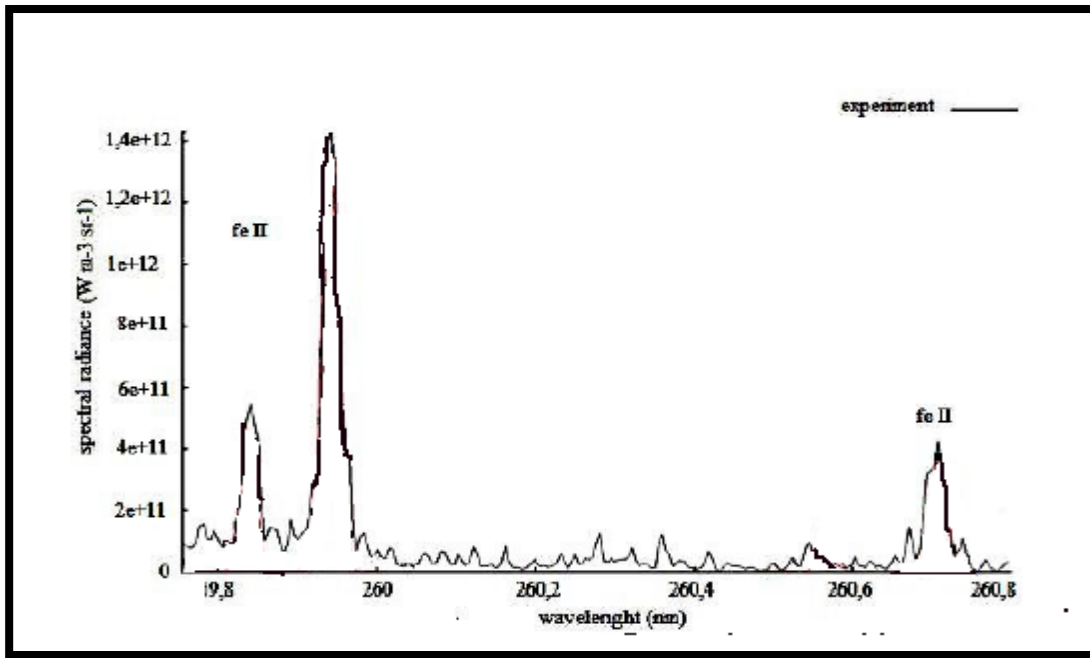
الشكل (III-3): طيف البور عند طول موجة 249.68، 249.77 nm.



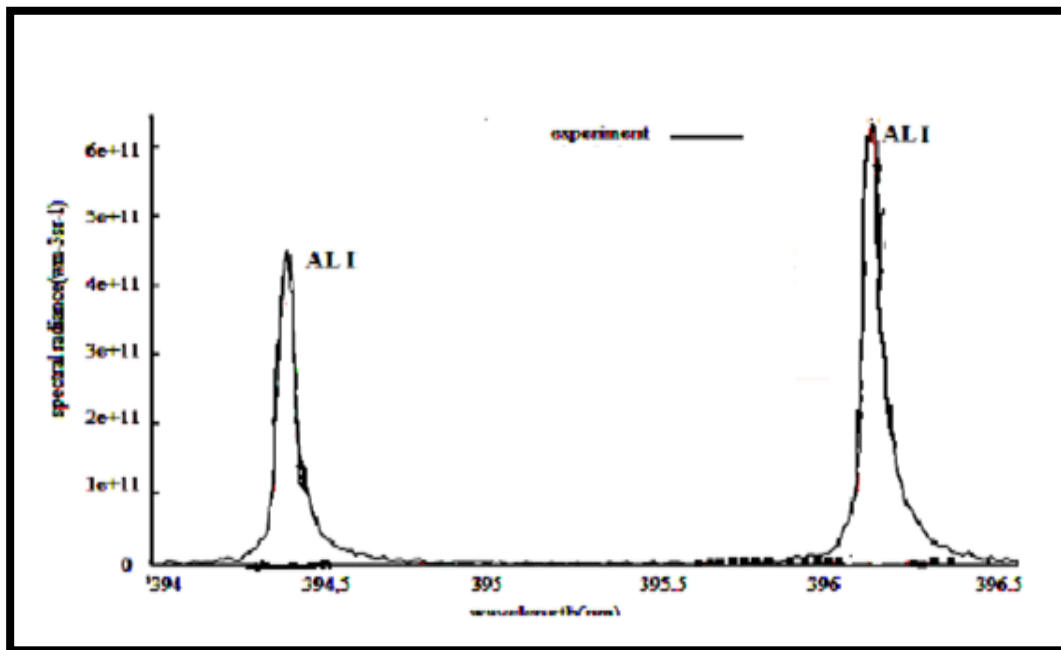
الشكل (III-4): طيف الهيدروجين عند طول موجة 656.28 nm.



الشكل (III-5): طيف الأكسجين عند طول موجة 777.15، 777.54 nm.

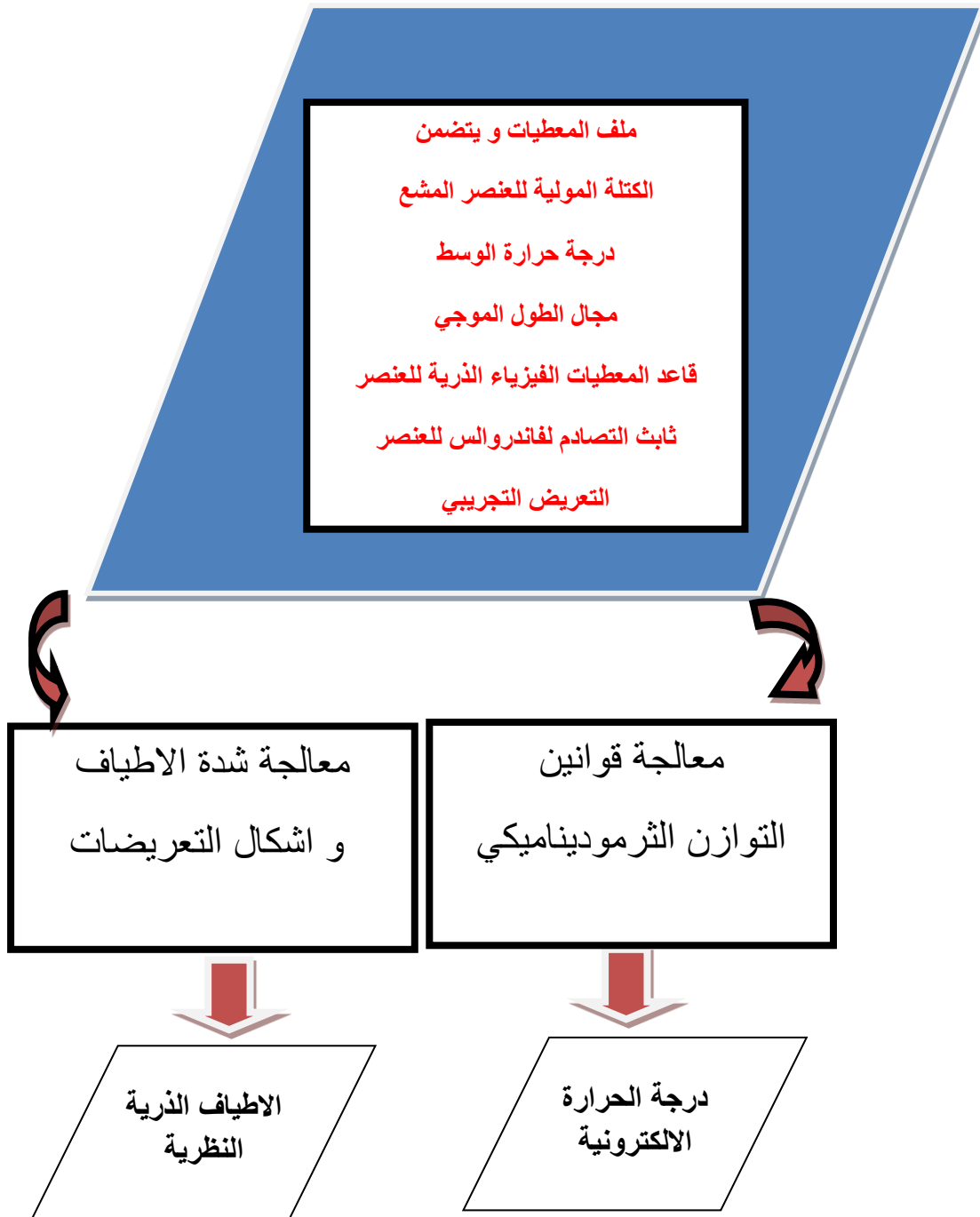


الشكل (III-6): طيف الحديد عند طول موجة 259.84، 259.94، 260.71 nm.



الشكل (III-7): طيف الألمنيوم عند طول موجة 394.94، 396.15 nm.





الشكل (III-8): مخطط توضيحي للبرنامج



### III-2-1- تحضير قاعدة معطيات الفيزياء الذرية لعنصر الكربون والبور:

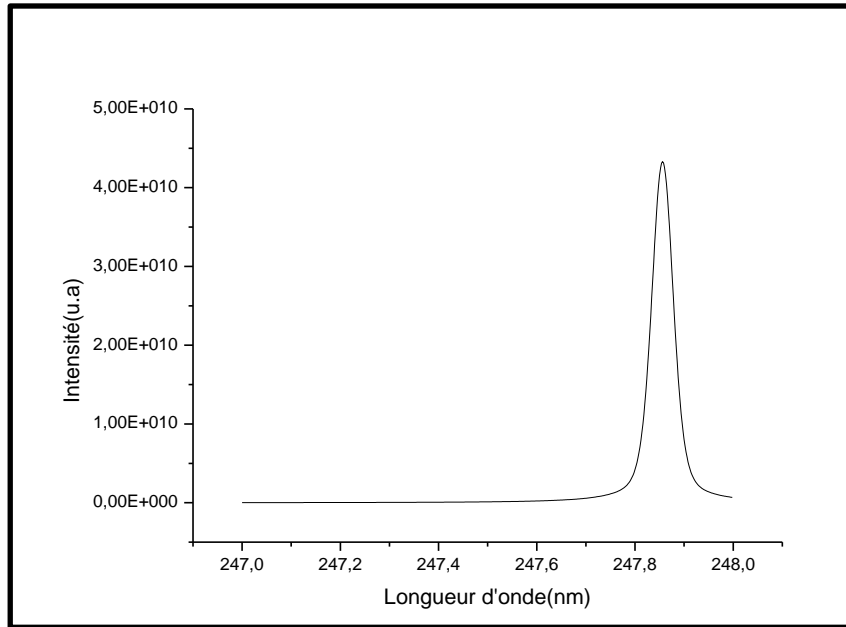
تحضير قاعدة معطيات الفيزياء الذرية لعنصر الكربون و البور الموجودة في المجال المرئي للطيف.

نقوم بإدخال البيانات اللازمة من أجل تنفيذ البرنامج، والمتمثلة في: الطول الموجي ودرجة الحرارة والتعرض التجريبي.

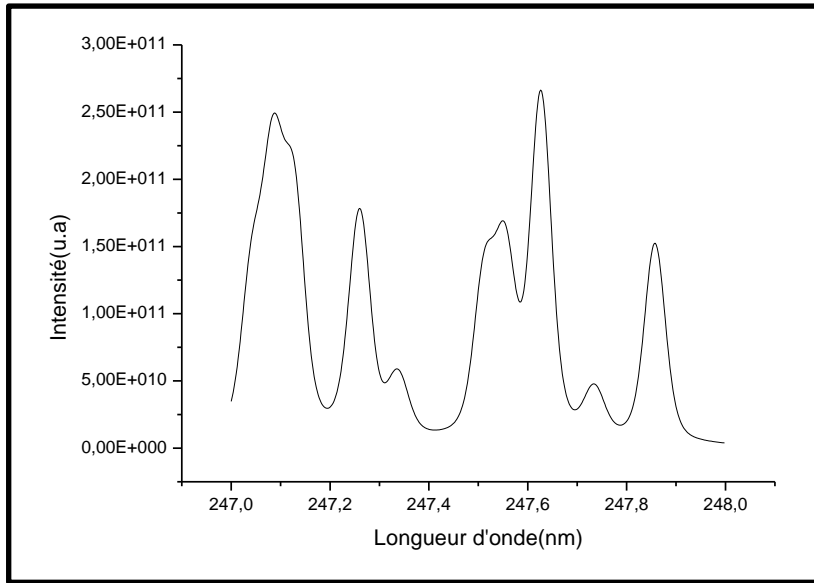
### III-2-2- رسم الأطياف الذرية النظرية:

نقوم برسم الأطياف الذرية الخاصة بعنصر الكربون والبور وللشوارد الموجودة في العينة الصلبة وفق مجال الطول الموجي وبتعرض

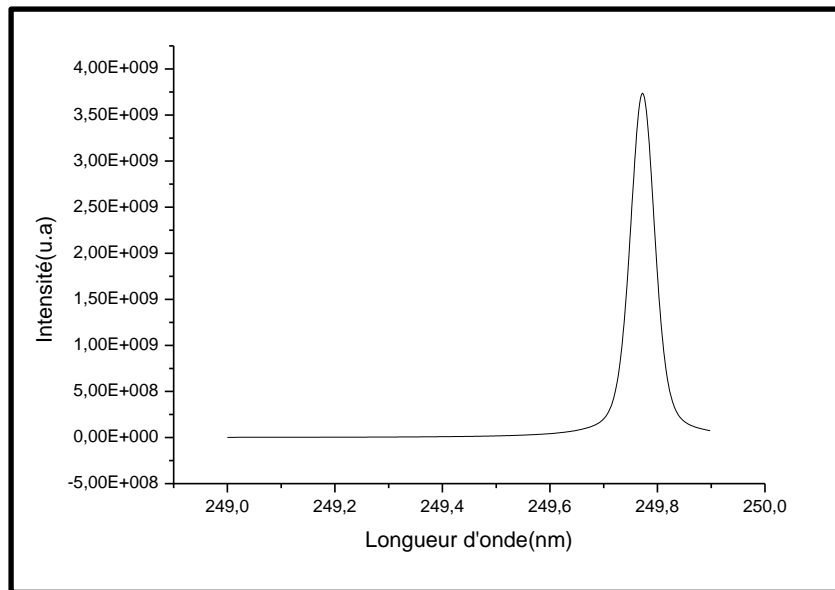
تجريبي (0.05nm) وبالاعتماد على قاعدة المعطيات الدولية للفيزياء الذرية [34].



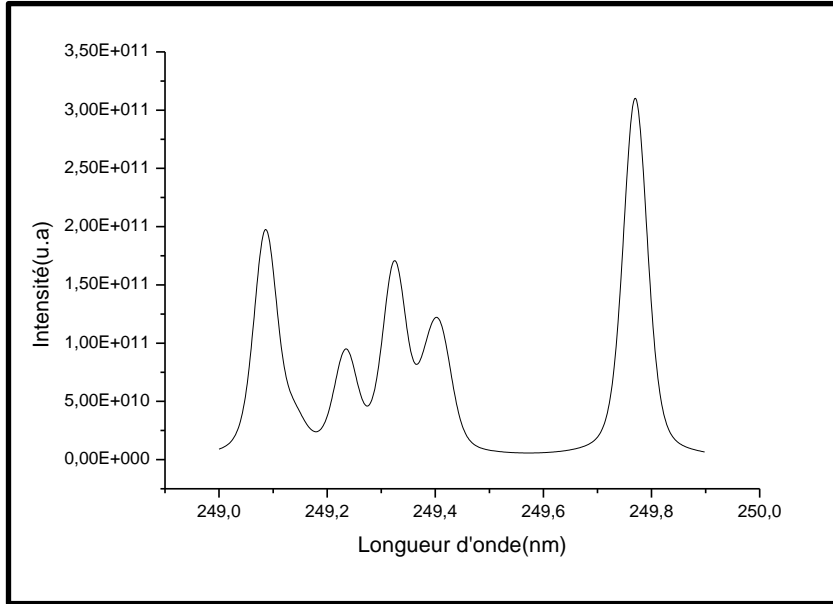
شكل (III-9): طيف الكربون عند طول موجة 247.8561 nm.



شكل (III-10): طيف الحديد في مجال الكربون.



شكل (III-11): طيف البور عند طول موجة 249.77 nm .



شكل(III-12): طيف الحديد في مجال البور.

III-2-3- طريقة التحليل الطيفي: بالمطابقة بين الأطياف التجريبية والأطياف النظرية تمكننا من تحديد

الانتقالات الموضحة بالجدول(III-1) الذي يبين المعطيات الذرية الخاصة بالانتقالات لكل من الكربون و البور [19]:

$j_f$	$j_i$	Conf j	Conf i	$A_{if}(s^{-1})$	$g_f(ev)$	$E_i(ev)$	$g_f$	$g_i$	$\lambda(nm)$	العنصر
1	0	$2s^22p^23s$ ( $1p_0$ )	$2s^22p^2(1s)$	0.28E+08	7.685746	2.684353	3	1	247.856100	CI
1/2	1/2	$2s^23s(2s)$	$2s^22p(2p_0)$	0.84E+08	4.964921	0.000000	2	2	249.676904	BI
1/2	3/2	$2s23s(2s)$	$2s^22p(2p_0)$	0.17E+09	4.964921	0.001896	2	4	249.772266	BI

يرتكز نموذج التحليل الطيفي الذي سنقوم بتطبيقه على الخطوات التالية:

(1) حساب نسبة الشدة  $R_T$  لكل من البور والكربون نظريا بافتراض أنّ لهما نفس التركيز(1مول لكلاهما).

(2) نقوم بحساب نسبة الشدة  $R_E$  ما بين كل من الكربون والبور تجريبيا انطلاقا من الأطياف التجريبية.

3) حتى تتمكن من المطابقة ما بين النسبتين ( $R_E$  و  $R_T$ ) يجب اضافة عاملين  $x$  و  $y$  وهما يمثلان عدد المولات الفعلية لكل من البور والكربون على الترتيب.

4) نقوم بقسمة الشدة التجريبية للبور على  $x$  مول، والشدة التجريبية للكربون على  $y$  مول وبالمطابقة نتحصل على العلاقة التالية:

$$R_E x = R_T y \quad (1. III)$$

### III-2-3-1- حساب شدة الكربون والبور:

وعليه انطلاقا من المعطيات بالجدول (III-1) نختار الطيف رقم (1) لعنصر الكربون والطيف رقم (3) لعنصر البور لأنه الأكثر احتمالا بالمقارنة مع الطيف رقم (2).

وبفرض أن جميع الذرات التي تم حثها بالليزر في حالة مثارة، وانطلاقا من العلاقة رقم (II. 1) نتحصل على الشدات النظرية التالية:

العنصر	$I_T(u. a)$
C	$1.4 \times 10^8$
B	$8.45 \times 10^8$

الجدول (III-2): نتائج الشدة النظرية

ومن الأطياف المتحصل عليها تجريبيا نسجل الجدول (III-3) الذي يبين نتائج الشدة التجريبية:

العنصر	$I_E(u. a)$
C	$3,52 \times 10^{12}$
B	$8 \times 10^{13}$

### III-2-3-2- حساب النسبة (R) ومناقشة النتائج:

باستخدام النسبة ما بين الطيفين:

$$R_T = \frac{I_C}{I_B} = 0.165$$

$$R_E = \frac{I_C}{I_B} = 0,044$$

بحساب النسبة ( $R_E$  و  $R_T$ ) والتعريف بالمعادلة (1. III) نتحصل على:

$$0.044x = 0.1657y \Rightarrow x = 3.77$$

من أجل 1 مول من الكربون فانه يكون لدينا 3.77 مول من البور.

#### ❖ مناقشة النتائج:

من خلال هذه النتيجة نلاحظ أنها قريبة جدا من القيمة الحقيقية لتركيبية كبريدات البور (4 ذرات من البور + ذرة من الكربون)، ويفسر ذلك بتأثير الشوائب المتواجدة بالوسط على الشدة التحريبية لكل من البور والكربون، وخاصة الحديد لكونه أكثر الشوائب تواجدا وأكبرها شدة.

كما أن فرضية جميع الذرات المتواجدة في البلازما مستقلة وكذا جميعها في حالة مثارة، لها تأثير في حساب الشدة النظرية.

### III-3-3-3- حساب درجة الحرارة ومناقشة النتائج:

لقد تم عرض عدة طرق لحساب درجة الحرارة، وسنطبق فيما يلي الطريقة التي تعتمد على حساب نسبة الشدة ما بين طيفين. ومن بين شروط دقة الحساب ينبغي أن تكون مستويات الطاقة لطيفي البور متباعدة بشكل كافي، حيث كلما كانت متباعدة أكثر كانت النتائج أدق. ونظرا لوجود طيف واحد للكربون وعدم تحقق شرط التباعد في مستويات الطاقة لطيفي البور، فإننا سنحدد درجة حرارة الوسط انطلاقا من أطيف الحديد (FeII)، حيث تمكننا من حصر المعطيات الذرية للأطيف في الجدول

(III-4) الذي يبين المعطيات الذرية الخاصة بانتقالات الحديد.

$j_f$	$j_i$	Conf j	Conf i	$I_E(u.a)$	$A_{if}(s^{-1})$	$E_i(ev)$	$g_i$	$\lambda(nm)$	العنصر
5/2	7/2	$3d^6(^5D)4p$ $z^6D^0$	$3d^6(^5D)4s a^6D$	5.5E+11	0.14E+09	0.047714	8	259.836963	FeII
9/2	9/2	$3d^6(^3G)4p$ $x^4G^0$	$3d^6(^5D)4s a^6D$	1.42E+12	0.24E+09	0.000000	10	259.939575	FeII
3/2	5/2	$3d^6(^5D)4p$ $z^6D^0$	$3d^6(^5D)4s a^6D$	4.2E+11	0.17E+09	0.082793	6	260.708765	FeII

اعتمادا على القيم المعطاة في الجدول (III-4) نختار الطيف (2) و (3)، وتطبيق المعادلة (II. 5) و (II. 6) نجد:

بتطبيق المعادلة (II. 5) نقوم بقسمة الطيف (2) على (3) نجد:

$$\frac{I_{FeII}}{I_{FeI}} = \frac{14266.976}{1415.96} \exp\left(\frac{0.001896}{K_B T}\right)$$

$$K_B = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K: حيث}$$

ومن المعادلة (II. 6) نجد:

$$K_B T (eV) = 0.23 eV \Rightarrow T = 2672.38K$$

### ❖ مناقشة النتائج:

من خلال نتيجة حساب درجة حرارة الوسط نلاحظ أنها قريبة من درجة الحرارة المعطاة  $T = 2573K$ ، والتي تمثل درجة

الحرارة اللازمة للتفاعل المشكل لـ  $(B_4C)$ ، ومن جهة أخرى تعتبر هذه الدرجة ضمن مجال تصنيف البلازما المخبرية

والناجمة عن الحث بالليزر، وهي قريبة كذلك من القيمة التي تم حسابها من طرف باحثين آخرين [34].

مَجْلَدُ حَقَائِقِ  
عِلْمِ عِلْمِ

## خلاصة عامة

### خلاصة عامة

في هذا العمل تمكنا من تحديد تركيبة المادة الصلبة والمتمثلة في تحديد كبريدات البور، انطلاقا من دراسة الأطياف الناتجة عن البلازما المتشكلة إثر التسامي بالليزر، و لإتمام هذه الدراسة قمنا بعرض شامل حول المادة وحالاتها بما فيها الحالة الرابعة والمتمثلة في البلازما وأهم خصائصها، كما قمنا بتعريف ظاهرة التسامي التي هي الانتقال المباشر من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية، حيث تتم هذه الظاهرة باستخدام أشعة الليزر، وتم عرض أنواع الليزر وخصائصه كما تم تعريف الأطياف الذرية والتعريضات الممكنة. وتم أيضا عرض المطيافية المستخدمة في عملنا هذا والمبنية على تقنية "LIBS"، حيث تم شرح وتوضيح التركيب التحريبي الذي من خلاله تحصلنا على الأطياف التحريبية المتعلقة بكبريدات البور.

و تم التطرق كذلك للطريقة والنموذج المتبع من أجل تحديد تركيبة المادة الصلبة و الذي اعطى نتائج قريبة جدا من النتائج الحقيقية، حيث اعتمادا على دراسة الأطياف الناتجة عن البلازما التسامي لمادة كبريدات البور تمكنا من التوصل إلى أنّ فارق عدد المولات بين الكربون والبور هو في حدود 3.77 مول وهو قريب من القيمة الحقيقية التي تساوي 4 مول للبور و 1 مول للكربون، كما تمكنا من استنتاج درجة حرارة الوسط انطلاقا من الأطياف التحريبية الصادرة حيث تحصلنا على ( $T=2672.38K$ ) وهي قريبة كذلك من درجة حرارة تفاعل تشكل كبريدات البور والمعطاة ب ( $T=2573K$ ).

و من أجل نتائج أكثر دقة يمكننا مستقبلا إعادة الحساب مع أخذ بعين الاعتبار القيم الدقيقة لدوال التوزيع للعناصر المشعة كما نرغب في تطبيق هذا النموذج على عينة أخرى لتأكيد.



قائمة  
المراجع

## قائمة المراجع

## قائمة المراجع

- [1] الموقع الالكتروني: <http://www.encySCO.blogs.com>.
- [2] وليد مصطفى صهيوني، مقدمة في الفيزياء البلازما، يونيو 2006، سلطنة عمان.
- [3] علي ابراهيم مهدي العزاوي، الكهرومغناطيسيات، الجامعة المنتصرية، بغداد.
- [4] A. Dinklage, T. Klinger, G. Marx, L. Schweikhard, Plasma Physic Springer, Berlin 2005.
- [5] Jean-Loup Delcroix et Abraham Bers, "physique des Plasma", Inter Editions /CNRS Editions (1994).
- [6] اسماعيل شيجي، حساب دوال الحقل الكهربائي الموضوعي و مشتقاتها داخل البلازما باستخدام المحاكاة العددية موني كارلوتطبيقا على طيف الهليوم، رسالة دكتوراه دولة، جامعة منتوري قسنطينة 2005.
- [7] تقنيات الليزر و استخداماته، د. يوسف مولود حسن. صالح مصطفى الأتروشي، كلية الهندسة جامعة دهوك. طبعة (1) 2008.
- [8] الليزر واسس و استخدامات، صالح مصطفى الأتروشي. رياض وديع يوسف، كلية الهندسة جامعة دهوك. طبعة (1) 2008.
- [9] الليزر و تطبيقاته، تأليف د. سعود بن حميد الليحاني، جامعة أم القرى.
- [10] فيزياء الليزر وتطبيقاته. د. محمد الكوسا: أستاذ مساعد في قسم الفيزياء (جامعة دمشق 2006/2005)
- [11] الليزر تأليف: بيلا آ. ليكيل. جامعة فرنادو، ترجمة فاروق عبودي قصير، جامعة الموصل 1984م – 1403هـ.
- [12] فيزياء الضوء والصوت والفيزياء الحديثة (النظرية النسبية والاشعاع والفيزياء الذرية). لدكتور: محمد خليل أبو زلطة. أجد حسين أبو جزر. مصباح جمعة عقل. زياد عبد الكريم القاضي. الطبعة العربية الأولى 2010م-1431هـ، عمان-الأردن.
- [13] سميحة بضياف: دراسة التركيب الجزيئي لرملة كتبان منطقة ورقلة، باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الاحمر وحيود الاشعة السينية 2012.

## قائمة المراجع

[14] الموقع الالكتروني: <http://www.byto.com/vb/showthread.php>

[15] الأطياف في الفلك د.فواز سيوف. أستاذ المعهد العالي لبحوث الليزر و تطبيقاته- جامعة دمشق.

[www.saaa-sy.org](http://www.saaa-sy.org).

[16] <http://forums.Arabsbook.com/threads/61534>.

[17] F. Khelfaoui : « Cour de Master Physique du rayonnement », 2012 – 2013.

[18] W.Demtröder, Atoms Molecules and photons, Springer – Verlag , 2006,  
Berlin Heidelberg.

[19] Moussa O. cheibetta, contribution à la théorie d'élargissement des raies  
Spectrales émises par les plasma : Application la raie Ly- $\alpha$  de l'atome  
de l'hydrogène, Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, Université cheikh Anta Diop de Dakar-  
Sénégal, 2004 .

[20] L- Ben Mabrouk, "Etude spectres d'émission d'ions de Déposition sur  
couches Mémoire de Magister Université de Ouargla 2003.

[21] S. Lemkeddem et F. Khelfaoui ; « spectre de raies d'émission d'une torche  
plasma en utilisant la technique de l'inversion d'abel », Séminaire International sur  
la Physique des Plasmas (SIPP2011), Ouargla, 2011.

[22] H. Park, S. J. You et W. Choe ; « Correlation between excitation  
temperature and electron temperature with two groups of electron energy  
distributions », Physics of Plasmas, Vol. 17, p. 103501, 2010.

[23] S. Svanberg; Appli. Phys, B **92**, pp. 351–358 (2008).

[24] Jesus Anzano, Beatriz Bonilla, Beatriz Montull-Ibor; Med. Chem. Res.  
**18**, pp. 656–664 (2009).

- [25] F. Colao, R. Fantoni ; Appl. Phys. A **79**, pp. 143–152 (2004).
- [26] Riadh Hannachi; 'Etude expérimentale et propriétés radiatives d'un plasma thermique induit par impact laser à la surface de milieux aqueux H<sub>2</sub>O–CaCl<sub>2</sub> /MgCl<sub>2</sub> /NaCl Toulouse, Thèse Doctorat(2007).
- [27] Hiroyasu Hotokezaka, Noboru Aoyagi, Noriko U. Yamaguchi; Microsyst. Technol. **11**,pp. 974–979 (2005).
- [28] Jennifer L., Gottfried Frank C., De Lucia Jr, Chase A. Munson. Anal. Bioanal. Chem. **395**, pp. 283–300 (2008).
- [29] C. Haisch, R. Niessner, O. I. Matveev, Fresenius; J. Anal. Chem. **356**, pp.21–26 (1996).
- [30] Nicolas Leone ; « Développement d'une technique d'analyse hautement sensible et polyvalente par spectroscopie de plasma induit par laser : applications aux aérosols et aux Matériaux biologiques » Thèse Doctorat ; Paris (2007).
- [31] S. M. Pershin, F. Colao, V. Spizzichino; Laser Physics, Vol. **16**, pp. 455–467 (2006).
- [32] www.hazemsakeek.
- [33] M. Achouri, S. A. Beldjilali, T. Baba Hamed et A. Belasri «Spectroscopie du plasma d'Ablation LASER Appliqué a l'analyse du B<sub>4</sub>C » (CNPA,2010)/Ouargla /24–26 Octobre 2010
- [34] NIST Atomic Spectra Database, <http://physics.nist.gov>.

## ملخص:

في هذه المذكرة قمنا بالدراسة الطيفية لبعض الذرات، وذلك من خلال دراسة الاطياف الصادرة عن التفاعل الحادث بين الضوء والمادة، ومطيافية الاصدار الذري هي طريقة توافق جدا تشخيص الغازات والبلازما.

وقد استخدمنا تقنية الليزر وهي تقنية للتحليل (تقنية "LIBS")، التي تسمح بتحديد تركيب العينة سواء كانت العينة في حالة صلبة أو سائلة أو غازية.

كان التعريض الناتج عن أجهزة القياس (التعريض التجريبي) هو التعريض الغالب، يسمح لنا بحساب النسب بين الشدات الطيفية عند الذروة لمختلف الأنواع الكيميائية (الذرات أو الأيونات) بتحديد نسبة كل نوع في البلازما، كما يسمح أيضا بتقدير درجات الحرارة، وبمقارنة النتائج النظرية بالنتائج التجريبية نجد تقارب بين النتائج.

**الكلمات المفتاحية:** التسامي، البلازما، الليزر، الأطياف الذرية، كبريدات البور ( $B_4C$ )

## Summary:

In this note we study the spectral some atoms, and that by studying the spectra of the incident, the interaction between light and matter, and the release of atomic spectroscopy is a method agree very diagnosis of gases and plasma.

We have used laser technology, a technique for analysis (technical "LIBS"), which allow the identification of the installation of the sample, whether the sample in the case of a solid, liquid or gaseous. Was the exposure resulting from the measuring devices (experimental Elargissement) is often the expo Elargissement sure, allows us to account ratios between spectral peak intensities of the various chemical species (atoms or ions) determine the proportion of each type in the plasma, and also allows estimating temperatures, Comparing the theoretical results, we find empirical results convergence between the results.

**Keywords:** sublimation, plasma, laser, atomic spectra, boron carbide ( $B_4C$ )

## Résumé:

Dans cette note, nous étudions le spectre des atomes, et en étudiant les spectres de l'incident, l'interaction entre la lumière et la matière, et la libération de la spectroscopie atomique est une méthode d'accord diagnostic très de gaz et de plasma.

Nous avons utilisé la technologie laser, une technique d'analyse ("LIBS" technique), ce qui permet l'identification de l'installation de l'échantillon, si l'échantillon dans le cas d'une substance solide, liquide ou gazeux. Était l'exposition résultant des appareils de mesure (Elargissement expérimentale) est souvent l'elargissement, permet de rendre compte des rapports entre les intensités des pics spectrales des différentes espèces chimiques (atomes ou ions) de déterminer la proportion de chaque type dans le plasma, et permet également d'estimer les températures, En comparant les résultats théoriques, nous trouvons la convergence des résultats empiriques de entre les résultats.

**Mots-clés:** sublimation, plasma, laser, spectres atomiques, de carbure de bore ( $B_4C$ )