

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة -
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء



مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

فرع : الفيزياء

تخصص : فيزياء الإشعاعات وكاشف بصريات الكترونية

من إعداد الطالبتين : بوخلخال شهرزاد

ضيف فاطمة

الموضوع :

الدراسة الطيفية للطيف المنبعث من المادة الصلبة (NaCl)

بواسطة تقنية LIBS

نوقشت يوم : 2018 / 05 / 30

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة :

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	لزهري محمدي
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	عبد الرحيم عاشوري
مشرفا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	لزهري بن مبروك

الموسم الجامعي : 2017 - 2018

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة -
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء



مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

فرع : الفيزياء

تخصص: فيزياء الإشعاعات وكاشف بصريات الكترونية

من إعداد الطالبتين: بوخلخال شهرزاد

ضيف فاطمة

الموضوع :

الدراسة الطيفية للطيف المنبعث من المادة الصلبة (NaCl)
بواسطة تقنية LIBS

نوقشت يوم : 30 / 05 / 2018

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة :

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	لزهر محمدي
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	عبد الرحيم عاشوري
مشرفا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	لزهر بن مبروك

الموسم الجامعي : 2017 - 2018

الإهداء

إلى أعلى وأعز وأقرب شخصين إلى قلبي إلى شموع

دربي ونور حياتي أبوي تجاني وخيرة مهدي

إلى أخوأي العزيزين زهير وصهيب

إلى أختاي نبع الحنان ورانيا

إلى أعمامي سليمان ومختار ونور الدين وعلاء ومكي وصلاح

إلى أخوالي فاتح وعبد الجبار وعبد الرزاق

إلى عماتي وخالاتي وأزواجهم وأبنائهم

إلى كل عائلتي وأحيتي كل باسمه

إلى رفيقتي ضيف فاطمة

إلى كل أصدقائي وزملائي اللذين جمعني بهم الحيات الجامعية

إلى طلبة تخصص فيزياء الإشعاعات وكاشف بصريات الكترونية دفعة

2018 إلى كل مثابري في سبيل العلم ويسعى جاهدا إلى النجاح

إليكم جميعا أهدي ثمرة مجهودي العلمي

شهرزاد بوخلخال



الإهداء

إلى أغلى ما أملك في الوجود أبي رحمه الله وأمي حفظها الله

وأطال الله في عمرها

إلى إخوتي الأعزاء بشير وبالقاسم وإبراهيم وعلي وزوجاتهم وأولادهم

إلى أخواني عبد القادر ونصر

إلى أخواتي وأولادهم وأزواجهم إلى أختائي العزيزتين جمعة ومريم

إلى كل عائلتي وأقاربي كل باسمه

إلى رفيقتي شهرزاد بوخلخال إلى كل أصدقائي وزملائي في الدراسة

إلى طلبة تخصص فيزياء إشعاعات وكاشف بصريات الكترونية

دفعة 2018

إلى كل من يسعى في سبيل العلم

إليكم جميعاً أهدي ثمرة مجهودي العلمي

ضيف فاطمة





شكر و عرفان

نحمد الله حمدا كثيرا ونشكره شكرا جزيلاعلى توفيقه ومنه و
كرمه

ثم نرفع شكرنا الجزيل إلى كل من ساعدنا في دراستنا
الجامعية وأعاننا في مذكرتنا وقدم لنا المساعدة من قريب أو بعيد
اعترافا منا بفضلهم علينا

نخص بشكرنا وثنائنا الأستاذ الدكتور

بن مبروك لزهركم شرف

وأساتذة اللجنة المناقشة الأستاذ محمدي لزهركرئيس والأستاذ عاشوري عبد الرحيم كمناقش

كما نشكر هيئة التدريس في كلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة

قاصدي مباح - ورقلة -

كل الاحترام إلى قسم الفيزياء والأساتذة على مجهوداتهم

ولنا الشرف العظيم أن تتلمذنا على يدكم وحضينا بأننا كنا طلابا

عندكم

ولازلنا وسنبقى كذلك

بوخلخال شهرزاد

ضيف فاطمة



فهرس المحتويات

صفحة	العنوان
	الإهداء
	شكر والعرفان
	فهرس المحتويات
	فهرس الأشكال
	فهرس الجداول
1	مقدمة عامة
الفصل الأول : حالات المادة وعموميات حول الليزر	
3	I-1-1 حالات المادة
3	I-1-1-1 تعريف المادة
5	I-2-1 التسامي
5	I-2-1-1 تعريف التسامي
5	I-2-2-1 أمثلة عن التسامي
5	I-2-3-1 العوامل المؤثرة على التسامي
5	I-3-1 البلازما
5	I-3-1-1 لمحة تاريخية
6	I-3-2-1 تعريف البلازما
6	I-3-3-1 درجة تأين البلازما
7	I-3-4-1 خصائص البلازما
7	I-3-4-1-1 التوصيل الكهربائي
7	I-3-4-2-1 التعادل الكهربائي
7	I-3-5-1 قوانين التوازن
7	I-3-5-1-1 قانون بلانك (لإشعاع الجسم الأسود)
7	I-3-5-2-1 قانون توزيع السرعات لماكسويل بولتزمان
8	I-3-5-3-1 قانون بولتزمان
8	I-3-5-4-1 قانون ساها
8	I-3-6-1 نماذج التوازن في البلازما

8	I-3-6-1- التوازن الحراري الكلي
9	I-3-6-2- التوازن الحراري المحلي
9	I-3-6-3- التوازن الحراري الجزئي المحلي
9	I-4- عموميات حول الليزر
9	I-4-1- تعريف الليزر
10	I-4-2- خواص الليزر
10	I-4-3- شروط الإنبعاث الليزري
12	I-4-4- عناصر إنتاج الليزر
13	I-4-5- أنواع الليزر
13	I-4-6- أصناف الليزر
14	I-4-7- استخدامات الليزر
الفصل الثاني: الأطياف الذرية	
16	II-1- مقدمة
16	II-2- تعريف الطيف
16	II-3- أنواع الأطياف
16	II-3-1- طيف الإمتصاص
17	II-3-2- طيف الإصدار
18	II-4- التعريضات وأشكال الخطوط
18	II-4-1- أسباب تعريضات الخطوط الطيفية
18	II-4-1-1- التعريض الطبيعي
20	II-4-1-2- تعريض دوبلر
21	II-4-1-3- التعريض بالتصادمات
22	II-5- الطرق المستعملة في تحليل الأطياف
22	II-5-1- شدة الخطوط الطيفية
22	II-5-1-1- شدة الخطوط الطيفية الذرية
22	II-5-1-2- شدة الخطوط الطيفية الجزيئية
23	II-5-2- تحديد درجة حرارة الإلكترون
23	II-5-2-1- نسبة الشدة بين الخطين
24	II-5-2-2- طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان
الفصل الثالث: التحليل الطيفي لعينة NaCl	
26	III-1- مقدمة
27	III-2- التجربة

29	III-3- الدراسة النظرية للـ NaCl
30	III-3-1- رسم الأطياف النظرية وبعض الشوائب المتوقعة
34	III-3-2- مطابقة وتحديد الأطياف
35	III-3-3- الملاحظة وتفسير النتائج
35	III-4- حساب درجة الحرارة ومناقشة النتائج
35	III-4-1- حساب درجة الحرارة
36	III-4-2- مناقشة النتائج
38	خلاصة عامة
39	المراجع
44	ملخص

فهرس الأشكال

صفحة	عنوان	رقم
4	التحولات الطورية للمادة	الشكل (I - 1)
10	الأطوال الموجية عند تحليل الضوء بإستخدام الموشور	الشكل (I - 2)
11	إنتقال الإلكترون من مستوي لآخر	الشكل (I - 3)
11	التوزيع المعكوس للإلكترونات	الشكل (I - 4)
12	التضخيم الضوئي	الشكل (I - 5)
12	عناصر إنتاج الليزر	الشكل (I - 6)
	جزء من المطياف (الموشور)	الشكل (II - 1)

17	يوضح طيف الامتصاص	الشكل (II - 2)
17	يوضح طيف الإصدار	الشكل (II - 32)
18	يوضح طيف الامتصاص و المتقطع و المستمر	الشكل (II - 4)
26	مخطط توضيحي لتقنية التحليل الطيفي LIBS	الشكل (III-1)
27	مخطط يوضح التركيب التجريبي لل NaCl وفق تقنية LIBS	الشكل (III-2)
28	الطيف التجريبي لل NaCl عند المجال الموجي من 300 nm إلى 700 nm	الشكل (III-3)
29	مخطط توضيحي للبرنامج الرقمي	الشكل (III-4)
30	طيف Na I النظري	الشكل (III-5)
30	طيف Na II النظري	الشكل (III-6)
31	طيف Cl I النظري	الشكل (III-7)
31	طيف Cl II النظري	الشكل (III-8)
31	طيف Ca II النظري	الشكل (III-9)
32	طيف Mg II النظري	الشكل (III-10)
32	طيف Li I النظري	الشكل (III-11)
32	طيف N I النظري	الشكل (III-12)
33	طيف O I النظري	الشكل (III-13)
33	طيف H I النظري	الشكل (III-14)
34	الطيف التجريبي لل NaCl بعد تحديد العناصر	الشكل (III - 15)

فهرس الجداول

صفحة	عنوان	رقم
34	المقارنة بين الأطياف النظرية و التجريبية	الجدول III-1
35	معطيات الفيزياء الذرية للانتقالات المختارة	الجدول III-2

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

إن لفيزياء البلازما أهمية كبيرة في مختلف المجالات, وبالخصوص الدراسات العلمية لكونها أحد فروع الفيزياء الحديثة, كما أن البلازما هي الحالة الرابعة للمادة في الطبيعة, تتشكل من تزايد درجة الحرارة وذلك من المادة الصلبة فإلى السائلة فالغازية ثم البلازما, تتم دراستها من خلال الإشعاعات الصادرة عنها وتحليلها الكمي والكيفي لمعرفة حالة البلازما, كما تفيدنا الأطياف المنبعثة في تحديد العناصر المختلفة باستخدام المطياف.

تهدف دراستنا إلى تحديد العناصر المكونة للمادة الصلبة (NaCl) انطلاقاً من الأطياف الصادرة عنها نتيجة تسامي هذه المادة الصلبة, وذلك باستخدام تقنية LIBS (Laser induced breakdown spectroscopy), أو تقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر.

تشمل مذكرتنا ثلاثة فصول:

ففي الفصل الأول: سنتحدث باختصار عن حالات المادة الأربعة وتحولاتها وبالخصوص التسامي, كما سنتحدث عن البلازما (تعريفها, بعض خصائصها, أهم القوانين), و سنتطرق إلى معرفة عموميات حول الليزر (تعريفه, خصائصه, أنواعه ...)

أما الفصل الثاني: فسننتحدث عن الأطياف الذرية, وأنواعها, وتعريضاتها, وكذلك أشكال الخطوط الطيفية, كما سنتعرف كذلك في هذا الفصل على أهم طرق التحليل الطيفي

أما الفصل الثالث: فسننتطرق فيه إلى التجربة والتي تتمثل في تحليل عينة NaCl باستخدام تقنية LIBS, وتسجيل الأطياف التجريبية ومقارنتها مع الأطياف النظرية التي سنقوم برسمها بعد حسابها بواسطة برنامج معد بلغة الفورترن, وكذا بالاعتماد على قاعدة المعطيات الدولية للفيزياء الذرية وبعدها نقوم بتحديد العناصر المشعة بالوسط وباستخدام طريقة نسبة الشدة بين طيفين نحدد درجة حرارة الوسط ونقارنها مع درجة الحرارة المخبرية.

الفصل الأول :

حالات المادة وعموميات حول

الليزر

1- حالات المادة وعموميات حول الليزر:

1-1- حالات المادة:

1-1-1- تعريف المادة: المادة في الفيزياء الكلاسيكية هي كل ما له كتلة وحجم يشغل حيزاً من الفراغ. وللمادة خصائص مختلفة تشمل الحجم والكتلة والكثافة, وتشكل بذلك ما يعرف بالكون الملموس.

تنقسم المادة في الطبيعة إلى 4 حالات (أطوار) مختلفة من حيث الشكل و الخصائص [1]:

أ- الحالة السائلة: وهي عبارة عن مائع يحافظ على شكل الإناء الذي يوضع فيه كما يكون له حجم ثابت عند ثبوت درجة الحرارة و الضغط.

يتميز كل سائل عن غيره بدرجة غليان وتجمد خاصة به , كما يمكن فصل السوائل عن بعضها البعض عن طريق التبخر عند نقطة غليان كل منها.

ب- الحالة الصلبة: وهي عبارة عن المادة ذات الشكل الثابت وهي مقاومة لأي تشويه أو تغير في الحجم تتميز ب:

- قوة التراص: أي أن ذراتها قريبة من بعضها البعض تربط بينها قوى تمنعها من الحركة العشوائية
- الشكل الثابت: تتصف الأجسام الصلبة بشكل ثلاثي الأبعاد لا يمكن تغييره إلا إذا تم تفكيك الروابط بين الذرات
- الحجم الثابت: هو مقدار ما تشغله المادة الصلبة في الفراغ
- مقاومة الانضغاط: أي قدرة المادة الصلبة على تغيير حجمها إذا تغير الضغط المطبق عليها ونتيجة المسافات المتقاربة بين ذراتها لا يمكن أن تتفكك على عكس الغازات.

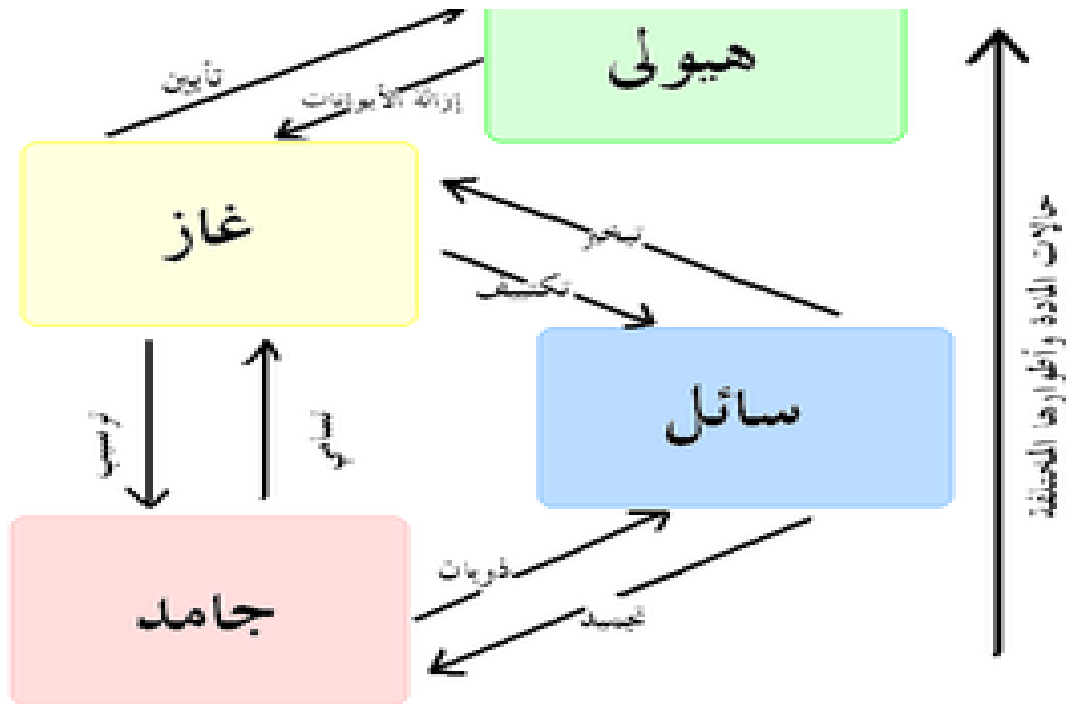
ج- الحالة الغازية: في هذه الحالة تتحرك جزيئات المادة في جميع الاتجاهات تلقائياً و من أهم خصائصها:

- طاقة حركية عالية جدا
- سهولة انتشارها
- سهولة انضغاطها
- حجمها متعلق بحجم الوعاء الذي توضع فيه.

د- **البلازما:** وهي عبارة عن غاز شديد التأين حيث يتألف من عدد متساوي تقريبا من الشحنات الموجبة والسالبة - ايونات والكترونات - فتتسبب القوى الكهربائية الفاعلة بينها في سلوك مختلف عن سلوك الغاز العادي و المتعادل كهربائيا [2],
و تتغير حالة المادة عن طريق تحولات مختلفة [1]:

- التحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة تسمى ظاهرة الإنصهار.
- التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة تسمى ظاهرة التجمد.
- التحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة تسمى ظاهرة التكاثف.
- التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تسمى ظاهرة التبخر.
- التحول من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة تسمى ظاهرة الترسيب.
- التحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية تسمى ظاهرة التسامي.

والشكل التالي يوضح التحولات بين أطوار المادة :



الشكل (I-1): التحولات الطورية للمادة [3]

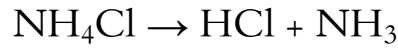
1-2- التسامي:

1-2-1- **تعريف التسامي:** ويقصد به التغير في طور المادة من الصلبة إلى الغازية دون المرور بالحالة السائلة و هي من أهم

العمليات التي استخدمت في عملية التنقية والتقطير [1]

1-2-2- أمثلة عن التسامي:

- تفكك كلوريد الأمونيوم بفعل الحرارة إلى كالوريد الهيدروجين والأمونياك في تفاعل عكوس وفق المعادلة التالية :



- من أبرز الأمثلة تحول الثلج إلى بخار الماء.
- تحول النفتالين بسهولة من الحالة الصلبة إلى الغازية.

1-2-3- العوامل المؤثرة على التسامي:

- درجة الحرارة: بحيث كلما زادت درجة الحرارة زادت عملية التسامي (علاقة طردية)
- الضغط: بحيث كلما نقص الضغط زادت عملية التسامي (علاقة عكسية)

1-3- البلازما:

1-3-1- **لمحة تاريخية:** إن أول من أطلق الحالة الرابعة للمادة هو كروكس عام 1879 لوصف القسم المتأين من الانفراغات

الغازية, وقد علل مصطلحه هذا من الشكل التالي [4] : تتحول المادة الصلبة بالتسخين إلى الحالة السائلة وباستمرار التسخين

تتحول إلى غاز, وباستمرار ذلك تتأين ذرات الغاز, وعندما تبلغ درجة الحرارة مقدار أكبر من 100000 كلفن [5] تصبح المادة

متأينة تماما, وهي الحالة الرابعة للمادة [1].

أما أصل مصطلح البلازما فهو يوناني, فقد استخدم لأول مرة من قبل العالم لانغموير (Langmuir) عام

1923, وفي عام 1929 وضع لانغموير وتونكس وصفا جديدا للبلازما بأنها مائع شبه معتدل كهربائيا ومكون من جزيئات

مشحونة وأخرى معتدلة تسلك سلوكا جماعيا.

ويقصد بالسلوك الجماعي هو تبادل التأثير بين جزيئات البلازما ولو كانت المسافة بينها كبيرة، تسمى قوى التأثير بينها بقوة كلوم وهي السبب الرئيسي في الحركة الجماعية للجزيئات وبرز مجال جديد في الفيزياء يدعى فيزياء البلازما، وبالتالي يمكن تحديد عبارة السلوك الجماعي بأنها الحركة التي لا تتعلق فقط بالشروط الموضعية وإنما بحالة البلازما في المناطق البعيدة .

3-2- تعريف البلازما: يتأين الغاز عندما يسخن إلى درجة حرارة عالية كافية، إذ يؤدي تهيجه الحراري إلى تصادمات عنيفة بين ذراته وجزيئاته ينشأ عنها اقتلاع إلكترونات منها فتصبح حرة، في حين تتحول الذرات أو الجزيئات التي فقدت إلكترونات إلى أيونات موجبة الشحنة، وتتحول تلك التي اكتسبت إلكترونات إلى أيونات سالبة. وكلما ازداد التأين سيطرت القوى الكهرومغناطيسية ما بين الأيونات والإلكترونات على سلوك الغاز المتأين ليعود حالة جديدة سميت بالبلازما.

3-3- درجة تأين البلازما: يمكن تعريف التأين على أنه عملية تشكل الشحن في الغاز، تتم هذه العملية من خلال رفع درجة حرارة الغاز إلى $T = 10^4 \text{ }^\circ\text{C}$ أين تتساوى الطاقة الحرارية والطاقة الحركية المتوسطة للجزيئات أي:

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

حيث: m_e : كتلة الإلكترون.

v_e : سرعة الإلكترون.

k_B : ثابت بولتزمان.

T_e : درجة حرارة الإلكترون.

وأيضاً من خلال فرض حقول كهربائية عالية التوتر وبذلك يحدث تأين كهربائي للغاز.

يكون هذا الغاز مكون من أيونات موجبة الشحنة q_{ip} وكثافة n_{ip} ، وأيونات سالبة الشحنة q_{in} وكثافة n_{in} ، والكاتيونات ذات شحنة q_e وكثافة n_e ، وجسيمات حيادية الشحنة ذات كثافة n_0 وبذلك تكون البلازما متعادلة كهربائياً (ماكروسكوبياً) أي:

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

نعرف المقدار α بالعلاقة التالية [4], [6] :

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

$n_{e,i}$: الكثافة الالكترونية الايونية

حيث تكون α درجة تأين البلازما محصورة بين 10^{-10} و 1

1-3-4- خصائص البلازما:

- **التوصيل الكهربائي:** تعتبر البلازما موصل جيد للكهرباء لأنها تحتوي على عدد كبير من الجسيمات المشحونة التي تتحرك فيها بحرية، والتي تتبادل التأثير مع الحقل الكهرومغناطيسي الموضعي (المطبّق) حيث عندما تصبح هذه الحركة منظمة تحدث تيارات كهربائية وتغيرات بالنسبة لكثافة الشحنة فتنتج بذلك حقول كهرومغناطيسية.
- **التعادل الكهربائي:** تسعى البلازما إلى تحقيق التوازن بين الشحنات الفراغية السالبة و الموجبة في كل جزء من الحجم العياني، وأن أي اختلاف في كثافة الشحنات تنتج عنه قوى كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التعادل [7].

1-3-5- قوانين التوازن [8] :

1-3-5-1- قانون بلانك (إشعاع الجسم الأسود) :

يمكننا قانون بلانك من حساب كثافة الإشعاع في الجسم الأسود عند درجة حرارة T ويعبر عنه بالعلاقة التالية :

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^2} \left[\exp\left(\frac{h\nu}{K_B T}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (4 - I)$$

حيث: T درجة الحرارة

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \text{ التردد}$$

λ الطول الموجي

C سرعة الضوء في الفراغ

h ثابت بلانك

K_B ثابت بولتزمان

1-3-5-2- قانون توزيع السرعات لماكسويل بولتزمان:

يحدد قانون بولتزمان توزيع السرعات $F(\nu)$ لمختلف الجزيئات ويعطى بالعلاقة التالية :

$$F(\nu)d(\nu) = 4\pi\nu^2 \left(\frac{m_e}{2\pi T}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{m_e \nu^2}{2K_B T}\right) \quad (5 - I)$$

حيث: m_e كتلة الإلكترون

1-3-5-3- قانون بولتزمان:

يحدد قانون بولتزمان نسبة السكان في مختلف المستويات الطاقوية في نفس الأيون, ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{g_i}{g_0} \exp\left(-\frac{E_i-E_0}{K_B T}\right) \quad (6 - I)$$

حيث: N_0 : كثافة الذرة في الحالة الأساسية ذات الطاقة E_0

N_i : كثافة الذرة في الحالة المثارة ذات الطاقة E_i

g_0, g_i : درجة تولد المستويين i و 0

1-3-5-4- قانون ساها :

يسمح لنا هذا القانون من تحديد درجة تأين الوسط وذلك في توازن ترموديناميكي, ويعطى بالعلاقة :

$$\frac{N_i n_e}{N_0} = \frac{g_i g_e}{g_0} \left(\frac{2\pi m_e K_B T}{h^3}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{E_t}{K_B T}\right) \quad (7 - I)$$

n_e : كثافة الإلكترونات

g_e : الوزن الإحصائي للإلكترونات

E_t : الطاقة الكلية

1-3-6- نماذج التوازن في البلازما:

1-3-6-1- التوازن الحراري الكلي:

تكون البلازما في هذه الحالة ذات نفس درجة الحرارة, T وحييدة لجميع الأنواع المشكلة, حيث يكون لكل عملية

تصادمية إشعاعية عملية معاكسة, و تكون السرعات موزعة حسب توزيع ماكسويل بولتزمان وبذلك تتحقق جميع قوانين التوازن

في أي نقطة:

- قانون ماكسويل بولتزمان
- قانون بولتزمان
- قانون بلانك
- قانون ساها

1-3-6-2-التوازن الحراري المحلي:

في أي بلازما يمكن أن يتحقق التوازن الحراري المحلي في بعض الظروف , نفرض أن T هي درجة الحرارة المحلية لنقطة من البلازما, وبالتالي فإن جميع القوانين تكون صالحة ماعدا قانون بلانك. [9]

1-3-6-3-التوازن الحراري الجزئي المحلي:

عند الكثافة المنخفضة جدا خصوصا كثافة الالكترونات عدد الإصطدامات في وحدة الزمن ليست كافية لتحقيق توازن مجهري عكسي لكلا المستويين, لكون قانون بولتزمان لا يتحقق إلا في الحالة الأكثر إثارة (القريبة من التأيين [10]), وبالتالي يتحقق في هذه الحالة قانون بولتزمان وساهها.

$$[9] T_e = T_{exc} \text{ حيث } T_e \leq T_g$$

T_g : درجة حرارة الغاز

T_{exc} : درجة حرارة الإثارة

1-4-عموميات حول الليزر:

كان لتطور نظريات الضوء عبر التاريخ اثر مهم في اكتشاف الليزر, ففي البداية تمكن العالم نانوس من تضخيم الموجات الدقيقة باستخدام الإنبعث المحفز حيث حصل على الميزر (Maser), وفي عام 1960 تحصل العالم ميمان على أول شعاع ليزر باستخدام بلورة الياقوت الصلبة كوسط فعال عند الطول الموجي 6940 \AA .

1-4-1-تعريف الليزر :

هو مصدر لتوليد الضوء المرئي وغير المرئي, والذي يتميز بخواص لا توجد في مصادر الضوء الأخرى, وكلمة Laser هي اختصار للأحرف الأولى لكلمات الجملة الانجليزية (Light Amplification by Emission of Radiation) والتي تعني (تضخيم الضوء بالإنبعث المحثوث للإشعاع). [11]

1-4-2-خواص الليزر :

1- الإتجاهية: وهي أن زاوية انفراج أشعة الليزر صغيرة جدا وبالتالي يمكنها قطع مسافات طويلة دون أن تشتت طاقتها أو تغير من إتجاهها [11].

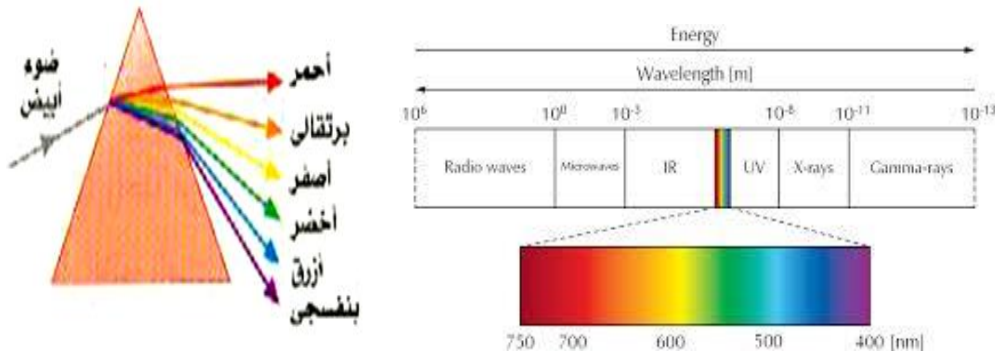
2- شدة الشعاع العالية: للشعاع الليزري مقطع عرضي صغير جدا لا يتجاوز عدة ميكرو مترات مربعة, وبما أن الطاقة التي

يطلقها الليزر تتمركز في هذا المقطع ستظهر بشكل إضاءة أو شعاع شديد . [11]

3- أحادية اللون: يظهر ضوء الليزر بلون واحد وهذا ما يجعله مختلف عن أنواع الضوء الأخرى التي تتكون من ألوان الطيف

المرئية أما الليزر فيتكون من حزمة من الترددات الضوئية الضيقة . [11]

والشكل التالي يوضح الأطوال الموجية عند تحليل ضوء الليزر :



الشكل (2-I) : يوضح الأطوال الموجية عند تحليل الضوء باستخدام المشور [11]

4- الترابط: إن أشعة الليزر تتكون نتيجة التفاعل المتسلسل للانبعث المحفز للفوتونات, حيث يكون لها نفس التردد ونفس

الاتجاه والطور , أما مصادر الضوء الاعتيادي تكون غير مترابطة نتيجة الانبعث التلقائي الذي يكون عشوائيا من ناحية

الزمن والتردد والطور والاتجاه [12].

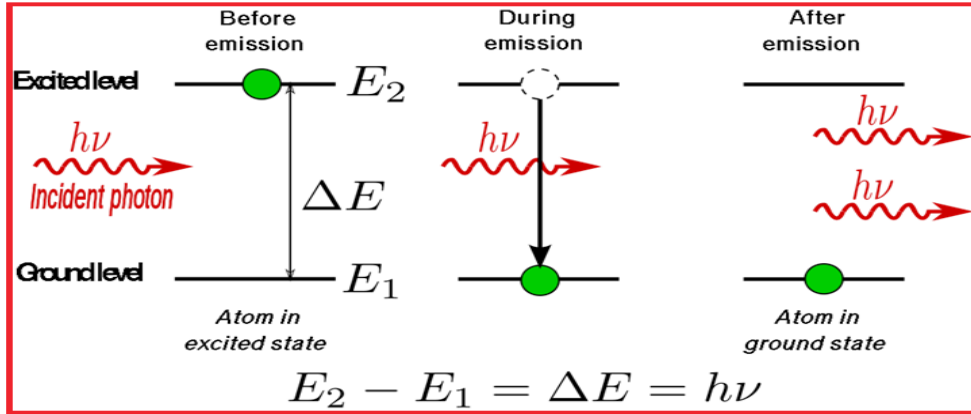
3-4-1- شروط الانبعث الليزري:

1- توفر الانبعث المحفز: هذا الانبعث لا يحدث إلا بواسطة مصدر طاقة خارجي, وذلك عن طريق تحفيز الذرة المثيجة

على الانتقال من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى بواسطة فوتون يمتلك طاقة مساوية إلى فرق الطاقة بين

المستويين, وينتج عن هذا الانتقال المحفز انبعث فوتون آخر يمتلك نفس تردد وطور الفوتون الأول [12] كما هو

موضح في الشكل التالي :



الشكل (3-I) : يوضح انتقال الإلكترون من مستوي لأخر [12]

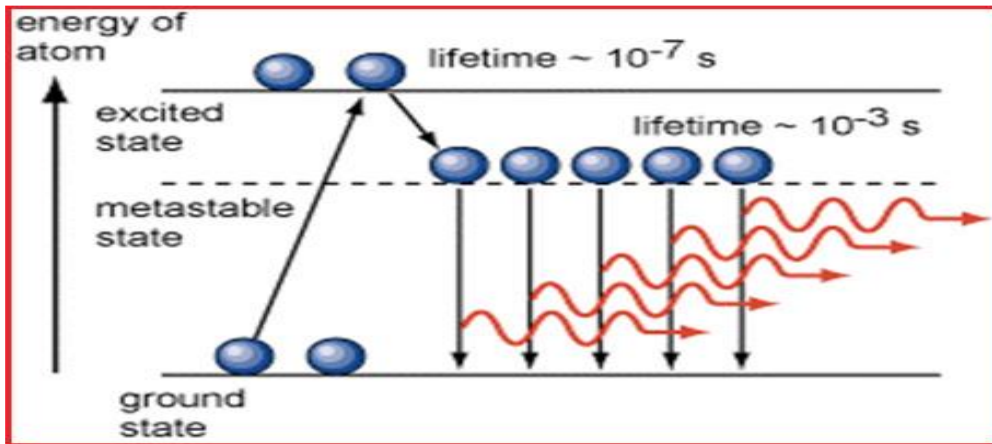
2- التوزيع المعكوس: والذي يعني أن عدد الالكترونات في الحالة المثارة يجب أن يكون أعلى منها في الحالة غير المثارة ,

وهذا الشرط لا يتحقق إلا في نظام ذي ثلاثة مستويات أو أكثر, فلو كان لدينا N ذرة ذات مستويين للطاقة N_1

و E_1 في الحالة الأساسية و N_2 و E_2 في الحالة المثارة. والإصدار المحثوث يتناسب مع عدد الذرات في المستوي

العُلوي وللحصول على إصدار محثوث كبير يجب أن يكون $N_2 > N_1$ أي يجب قلب التوزيع الإسكاني ويطلق عليه

في حالة الإثارة الخارجية اسم الضخ [11] والشكل يبين ذلك :



الشكل (4-I) : يوضح التوزيع المعكوس للالكترونات [11]

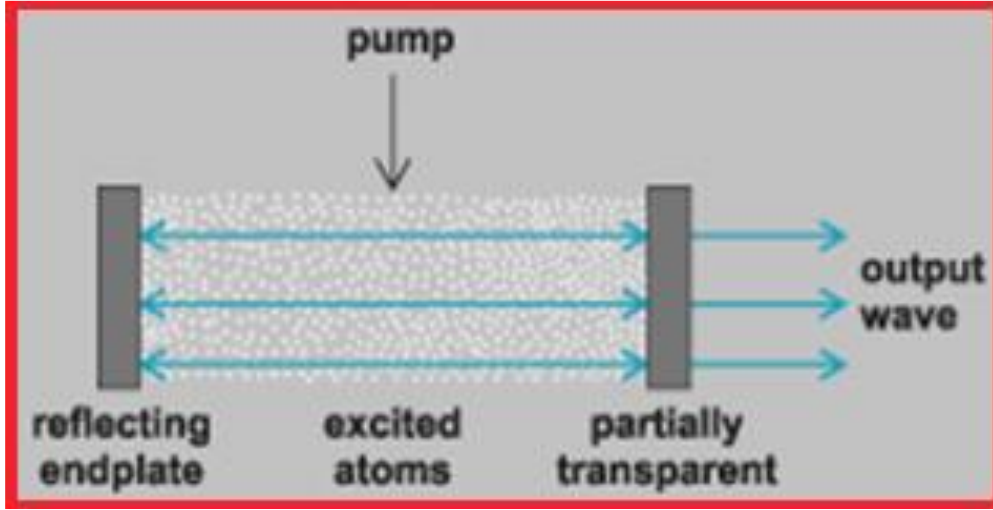
3- تكبير الضوء: يجب توفر مصدر يقوم بضخ الالكترونات من المدارات منخفضة الطاقة إلى المدارات عالية الطاقة, ومن

ثم تهيئ الالكترونات المثارة من خلال الانبعاث التلقائي من المدار الأعلى إلى المدار شبه المستقر والذي يقع بين المدارين

الأدنى والأعلى وذلك للحصول على التوزيع المقلوب. وإذا ما مر فوتون ضوئي على المادة وهي في هذا الوضع فإنه

سيبحث بعض الالكترونات الموجودة في المدار شبه المستقر للنزول إلى المدار الأدنى منتجة عددا من الفوتونات

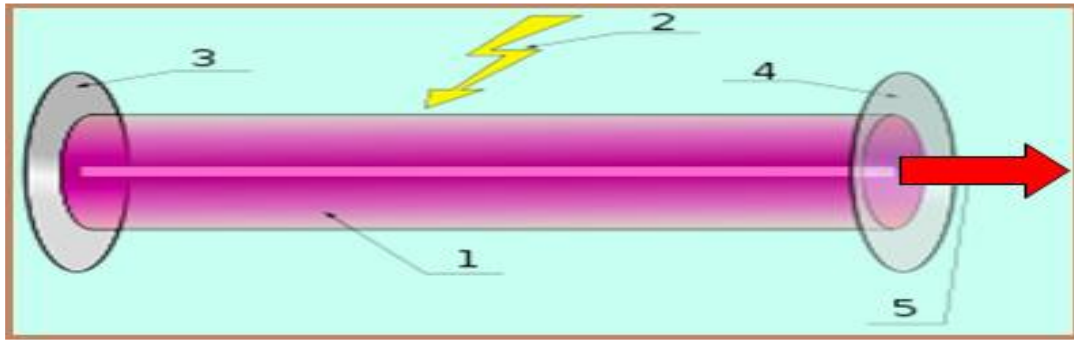
الضوئية [11] وبالتالي يحدث تضخيم للضوء كما في الشكل:



الشكل (I-5) : يوضح التضخيم الضوئي

1-4-4- عناصر إنتاج الليزر:

الشكل التالي يوضح العناصر اللازمة لإنتاج الليزر:



الشكل (I-6) : عناصر إنتاج الليزر

1-المادة الفعالة, 2-الضخ, 3-مرآة عاكسة كلياً, 4-مرآة عاكسة جزئياً, 5-مخرج شعاع الليزر

1- المادة الفعالة: المادة الفعالة لها أشكال مختلفة. إما أن تكون في حالة صلبة كالياقوت, أو حالة غازية كغاز ثاني أكسيد

الكربون أو في حالة سائلة كالأصبغ العضوية, ويتم اختبار طريقة الضخ على أساس نوع المادة الفعالة وإمكانيتها على

امتصاص طاقة الضخ. [13]

2- الضخ: لأجل أن تتهيج الذرات المستقرة ينبغي أن تتوفر طاقة ضاخرة تمتصها هذه الذرات لتنتقل إلى مستويات طاقة عالية. وهناك ثلاث طرق متداولة لتهيج المادة الفعالة ووصولها إلى حالة التوزيع العكسي وهي الضخ الضوئي الضخ الكهربائي والضخ الكيماوي. [13]

3- المرنان: يتكون المرنان من مرآتين متوازيتين إحداها عاكسة كلياً والأخرى عاكسة جزئياً [13].

1-4-5- أنواع الليزر:

1- الليزر الصلبة: وهي التي تكون مادتها الفعالة في حالة صلبة كليزر الياقوت وليزر النديميوم ياك Nd-YAG

2- الليزر الغازية: هي التي تكون مادتها الفعالة في حالة غازية كليزر ثاني أكسيد الكربون CO_2 وليزر الهيليوم نيون He-Ne

3- الليزر السائلة: المادة الفعالة في هذه الليزر تكون في حالة سائلة كليزر الصبغة الذي يستخدم في إزالة الوشم. [13]

1-4-6- أصناف الليزر:

يصنف الليزر إلى أربع مجموعات رئيسية على أساس الضرر الحاصل للنسيج البيولوجي:

- الصنف الأول **class I** : هذا يعني أن شعاع الليزر ذو طاقة منخفضة ولا يشكل درجة من الخطورة
- الصنف الأول **class IA** : هذا التصنيف يشير إلى أن الليزر يضر العين إذا نظرنا في اتجاه الشعاع وتكون أعلى قدرة له 4 ملي واط
- الصنف الثاني **class II** : هذا يعني أن الليزر ضوءه مرئي وطاقته لا تتعدى 1 ملي واط
- الصنف الثالث **class IIIA** : طاقة الليزر متوسطة وتبلغ 1-5 ملي واط
- الصنف الثالث **class IIIB** : وتشمل الليزر ذات الخطورة المعتدلة
- الصنف الرابع **class IV** : وهي أنواع الليزر ذات الطاقة العالية وتصل إلى 500 ملي واط وتشكل خطورة على

الجلد و العين [14]

1-4-7- استخدامات الليزر :

يستخدم الليزر في مجالات متعددة كاستعماله في قياس المسافات بدقة خاصة أبعاد الأجسام الفضائية وفي الاتصالات, كما تستخدم أشعة الليزر في علاج أمراض العيون والجراحة وغيرها من الأمراض. وكذلك يتم استغلاله في مجال الصناعة كإحام المواد الصلبة, ويستخدم في تحليل المادة الصلبة وغيرها. [15]

الفصل الثاني:

الأطياف الذرية

II- الأطياف الذرية:

II-1- مقدمة:

يعد علم الأطياف من أهم طرق التحليل في العديد من المجالات وأسهلها، لأنه يركز على دراسة ناتج التداخل بين الإشعاع و المادة من خلال امتصاص وانبعث الإشعاع، وبذلك تتمكن من الدراسة النوعية والكمية للمادة المعينة.

II-2- تعريف الطيف:

وهو الإشعاع الصادر أو المنبعث عن الذرات نتيجة تشتت شعاع ذو طاقة إلى عدة أطوال موجية بعد إثارتها وارتفاع درجة حرارتها، ففي عام 1913 تمكن العالم Boher من وضع نظرية الطيف المنبعث من ذرة الهيدروجين وهي النظرية التي بموجبها تم تفسير الطيف المنبعث من مختلف الذرات. [16]

يطلق على دراسة الأطياف وتحليلها اسم التحليل الطيفي، ويستخدم في ذلك المطياف، والشكل التالي يوضح الموشور الذي يحلل الضوء إلى عدة أطوال موجية :



الشكل (II-1) : يوضح جزء من المطياف (الموشور)

II-3- أنواع الأطياف:

يمكن تقسيم الأطياف إلى نوعين:

II-3-1- طيف الامتصاص:

ينتج عن تسخين مادة صلبة في درجة حرارة عالية لهبة بيضاء، حيث ينطلق منها إشعاع طول موجته مساو لطول موجة الضوء المرئي، يؤلف هذا الإشعاع طيفا مستمرا فلا يشكل مناطق مظلمة.

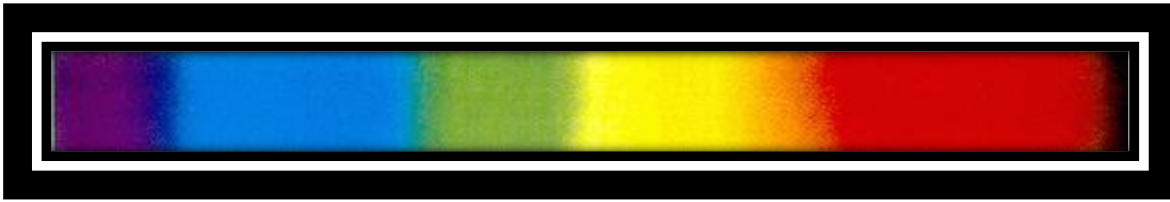
بغرض الحصول على طيف مستمر تستعمل العناصر ذات درجة انصهار عالية مثل التنجستن, الذي يسخن بالكهرباء فيتوهج ويعطي الضوء الأبيض ذو الطيف المستمر و الموجات الكهرومغناطيسية. إذا نفذ خلال مادة ما فإن بعض موجات هذا الطيف تمتص, وبالتالي فإن كل مادة تمتص موجات ذات أطوال معينة خاصة بها [17],[18], والشكل التالي يبين طيف الإمتصاص :



الشكل(II-2) : يوضح طيف الامتصاص [16]

أما الشكل الناتج للطيف بعد نفوذه فلا يبقى مستمرا إذ يتألف من خطوط لذلك يسمى طيف الامتصاص.

II-3-2- طيف الإصدار : ينتج هذا النوع من الأطياف عند امتصاص المادة لطاقة كافية, فعند تسخين المادة تتهيج ذراتها, أي أن تلك الطاقة أدت إلى اختلاف مواضع الإلكترونات في تلك الذرة, فتنقل من مستوي منخفض إلى مستوي أعلى أو بعبارة أخرى تكون ذرات العنصر في الظروف العادية مستقرة (تحتوي على أقل كمية من الطاقة) لذا تسمى هذه الحالة بالحالة الأساسية أو حالة الاستقرار, فعند زوال المؤثر الخارجي فإنها تطلق الطاقة التي امتصتها على هيئة إشعاع الذي يكون أحيانا في مجال الضوء المرئي وفي البعض الآخر على هيئة إشعاع غير مرئي وبالتالي يسمى الإشعاع المنطلق بطيف الانبعاث [16], [17] الذي يوضحه الشكل التالي :



الشكل(II-3) : يوضح طيف الإصدار [16]

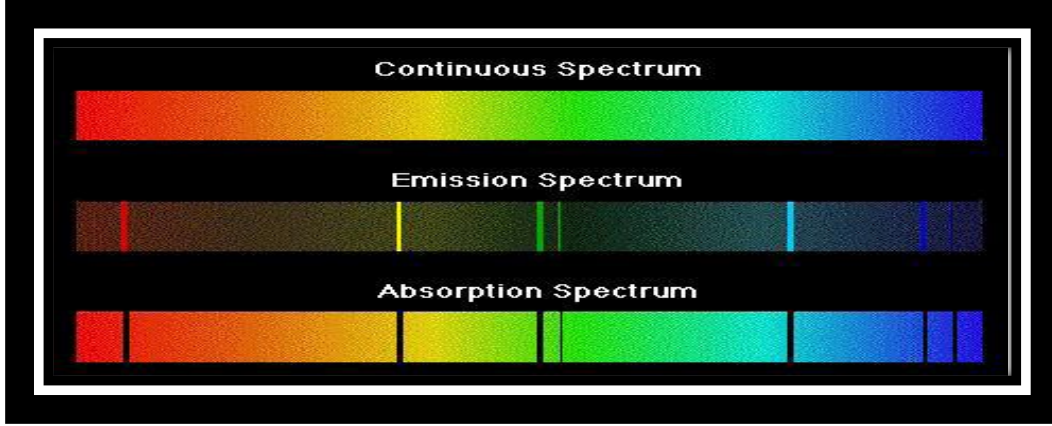
وينقسم بدوره إلى نوعين:

1- الطيف المستمر: ويتكون الطيف المستمر من حزمة غير متقطعة من ألوان وأطوال جميع الموجات المرئية وذلك مثل الطيف الذي تعطيه أغلبية المواد الصلبة عند درجات حرارة عالية "أبيض ساخن" فلا يمكن تحديد عدم غياب لون

فراغات داكنة عند تحليل الضوء بالمطياف وبالتالي يمكن استخدام العناصر ذات درجة انصهار عالية كمصدر ملائم

للطيف المستمر

2- الطيف المتقطع: ويتكون من نمط لخطوط مضيئة على أرضية داكنة ويسمى بخط الطيف المرئي للأطياف الخطية.



الشكل (II - 4) : يوضح طيف الامتصاص و المتقطع و المستمر

4-II-التعريضات وأشكال الخطوط:

تعتبر الطرق النظرية هي الطرق الأكثر استعمالاً في تحديد عوامل مختلف الأوساط فمن بين هذه الطرق طريقة مطيافية

الإصدار و الامتصاص.

4-II-1-أسباب تعريضات الخطوط الطيفية:

يمكن تصنيفها إلى 3 فئات رئيسية هي:

1- التعريض بواسطة الإشعاع: التعريض الطبيعي

2- تعريض بواسطة فعل دوبلر

3- التعريض بفعل التصادم

4-II-1-1-التعريض الطبيعي:

كلاسيكياً: سببه هو كبح حركة الإلكترون المهتز الذي يفقد طاقته عند الإشعاع

كمياً: تعريض المستويات سببه يتعلق بمدة الحياة المحدودة للمستويات الذرية حيث أننا لا نستطيع تحديد الزمن والطاقة في آن واحد (مبدأ الارتياب لهيزنبرغ). [19], [20]

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

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad \text{حيث}$$

τ_j : زمن حياة الذرات في المستوي j

الذرات يمكن أن تؤثر على الانتقال من الحالة (a) إلى الحالة المثارة (b) بطاقة منخفضة, حيث لا يمكن اعتبار الحالة (a) حالة مستقرة والخطوط الطيفية غير متناهية الدقة لكن لديها توزيع لتواترها واحتمال العثور على ذرة تصدر في الحالة j تعطى بالعلاقة:

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

γ : يمثل معدل الانبعاث

$\psi_j(r, t)$ الدالة الموجية التي تصف حالة الذرة عند الحالة المثارة j , يمكن التعبير عنها بجزئين موضعي وزمني كما يلي:

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

حيث E_j طاقة الذرة عند الإصدار في الحالة j

شدة الإشعاع اللورنتزية تأخذ الشكل:

$$I(w) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{(w-w_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4}} \quad (4 - II)$$

عرض نصف الخطوط يعطى من الشكل:

$$I(w_1) = I(w_2) = I\left(\frac{w_0}{2}\right) \quad (5 - II)$$

II-4-1-2-تعريض دوبلر:

أصل فعل دوبلر هو حركة الذرات والأيونات المرسلات (تحرك ذرات المرسل أو المصدر), وهو أول وصف وضعه رايلي

عام 1889. حيث لاحظ أن ذرات المصدر تتحرك بسرعة v وزاوية θ مع الاتجاه بتواتر w , يعطى بالعلاقة: [19]

$$w = w_0 \left(1 - \frac{v}{c} \cos\theta\right) \quad (6 - II)$$

حيث: w_0 التواتر المتعلق بالمصدر

c سرعة الضوء في الفراغ

من خلال العلاقة (6 - II) نحصل على:

$$\frac{w - w_0}{w_0} = \frac{\Delta w}{w_0} = -\frac{v}{c} \cos\theta = \frac{v_x}{c} \quad (7 - II)$$

إذا كان الوسط مميز بدرجة حرارة T وبفرض دالة التوزيع لماكسويل نكتبها من الشكل:

$$W(v_x)dv_x = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{v_x^2}{v_0^2}\right) \frac{dv_x}{v_0} \quad (8 - II)$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = kT \quad \text{حيث: } v_0 \text{ نعرفها بالعلاقة التالية:}$$

m : كتلة ذرة المصدر

K : ثابت بولترمان

بوضع $\Delta w_D = \frac{v_0}{c}$ توزيع الشدة في خطوط الطيف من الانتقال $i \leftarrow j$ فنحصل على شكل دوبلر (*Gaussian*) وعبارته

تأخذ الشكل:

$$I(w)dw = W \left(c \frac{\Delta w}{w_D} \right) dw \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[- \left(c \frac{\Delta w}{\Delta w_D} \right)^2 \right] dw \quad (9 - II)$$

$I(w)$ توزيع (*Gaussian*) لتواتر w

يعتبر تعريض دوبلر صغير جدا بالمقارنة مع التعريض الذي سببه التصادم

II-4-1-3- التعريض بالتصادمات:

إن السبب الأساسي لتعريض خطوط الطيف هو الاضطراب الناجم عن الذرات وذلك بمختلف جزيئاتها المشحونة وغير المشحونة, وفي هذه الحالة يحدث التعريض بفعل التصادم الذي تم تقسيمه إلى ثلاث فئات:

1- **التعريض بالرنين:** ويكون ذلك بواسطة الجزيئات غير المشحونة (تفاعل ثنائي أقطاب - ثنائي أقطاب)

2- **تعريض فاندر فالز:** يكون ذلك بواسطة اضطراب الجزيئات غير المشحونة مع مختلف أنواع ذرات المصدر (تفاعل ذرة من نوع A مع ذرة من نوع B) .

3- **تعريض ستارك:** سببه تفاعل الجزيئات المشحونة (أيونات - الكترولونات) مع ذرات المصدر . يتم التعبير عن هذا التفاعل بواسطة تأثير حقل ضعيف أيوني والكروني مع ذرات المصدر , يعمل الحقل E على اضطراب مستويات الطاقة الذرية لتصل إلى أدنى المستويات , هذا الطرح يعمل على تحلل مستويات الطاقة الذرية إلى عدة مستويات. [19] , [21]

يعطى تعريض الخطوط لذرة الهيدروجين في مفعول ستارك $\Delta\lambda_s$ وفق القانون التالي:

$$\Delta\lambda_s = 1.6 \times 10^{-24} \times \gamma \times \frac{i^6 (j-1)j^3}{g_i} N_e \quad (10 - II) \quad [22]$$

حيث $\Delta\lambda_s$: التعريض بـ nm

N_e : الكثافة الإلكترونية بـ m^{-1}

g_i : درجة تولد المستوي

γ : معدل الإنبعث يساوي $1/4$ لأن $i=1$ و $j=2$, ويساوي 1 بالنسبة للانتقالات الأخرى

أما إذا كان الوسط ذو ضغط منخفض نسبياً يأخذ شكل (Lorentz). [8]

II-5- الطرق المستعملة في تحليل الأطياف:

1-5-II - شدة الخطوط الطيفية:

- شدة الخطوط الطيفية الذرية: تتميز الخطوط الطيفية بالترددات المنقولة وشدتها، وأيضا شدة الخط الطيفي للانتقال من المستوي الأولي إلى المستوي النهائي، حيث يعبر عنها وفق القانون التالي:

$$I_{if} = N_i A_{if} h \nu_{if} = N_i A_{if} h \frac{C}{\lambda_{if}} \quad (11 - II)$$

$$N_i = \frac{N g_i}{B(T)} \exp\left(\frac{-E_i}{K_B T}\right) \quad (12 - II)$$

$$B(T) = \sum_i g_i \exp\left(\frac{-E_i}{K_B T}\right) \quad (13 - II)$$

حيث: A_{if} احتمال انتقال (معامل اينشتاين)

λ_{if} نبض هذا التحول (التردد)

N_i عدد الذرات المثارة في وحدة الحجم

h ثابت بلانك

$B(T)$ دالة التوزيع

I_{if} الشدة ويعبر عنها W/m^3

g_i درجة توالد المستويات i

- شدة الخطوط الطيفية الجزئية: يتميز انتقال الجزئيات من حالة ذات الأعداد الكمية (n', v', j') إلى حالة ذات الأعداد الكمية (n'', v'', j'') بشدة الخطوط الطيفية المنبعثة خلال هذا الانتقال وهي تمثل الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن Π^4 استراديان تعطى بالمعادلة:

$$I_{n',v',j' \rightarrow n'',v'',j''}^{n',v',j'} = h \nu_{n',v',j' \rightarrow n'',v'',j''} A_{n',v',j' \rightarrow n'',v'',j''} N(n', v', j') \quad (14 - II)$$

$N(n', v', j')$ كثافة المرسل (m^{-3})

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

$\nu_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$ العدد الموجي للانتقال من (n', v', j') الى (n'', v'', j'') ب (cm^{-1})

$I_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$ الشدة ويعبر عنها ب $[23] W/m^3$

II-5-2- تحديد درجة حرارة الإلكترون:

يتم تحديد درجة حرارة الإلكترون بعدة طرق منها:

1. نسبة الشدة بين الخطين:

تتم هذه الطريقة بحساب نسبة الشدة بين طيفين بشرط وجود توازن حراري (توازن ترموديناميكي محلي) لدرجة حرارة

معينة .

من خلال المعادلة (II - 1) يمكن استنتاج درجة حرارة الوسط الذي تشع منه هذه الأطياف وذلك باستخدام طريقة

نسبة الشدة بين الطيفين (1) و (2) من نفس النوع.

$$\frac{I_{ij}}{I_{kl}} = \frac{g_i A_{ij} \lambda_{kl}}{g_k A_{kl} \lambda_{ij}} \exp\left(\frac{E_k - E_i}{K_B T}\right) \quad (15 - II)$$

$$K_B T (ev) = \left(\frac{E_k - E_i}{\ln\left(\frac{I_{ij} g_k A_{kl} \lambda_{ij}}{I_{kj} g_l A_{ij} \lambda_{kl}}\right)} \right) \quad (16 - II)$$

2. طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان:

يتم تقدير درجة حرارة الإثارة (T_{exc}) من قياس شدة الخط الطيفي للإنبعاث الضوئي I_{if} المتعلقة بانتقال من المستوى i إلى المستوى f , على افتراض أن توزيع الإلكترونات في المستويات الذرية يحقق توزيع بولتزمان, وتعطى شدة الخطوط الطيفية بـ:

$$I_{if} = \frac{hcng_i A_{if}}{\lambda B(T_{exc})} \exp\left(-\frac{E_i}{T_{exc}}\right) \quad (17 - II)$$

حيث h ثابت بلانك

c سرعة الضوء في الفراغ

$B(T_{exc})$ دالة التوزيع

λ الطول الموجي الموافق للانتقال

A_{if} احتمال الانتقال [24]

الفصل الثالث:

التحليل الطيفي لعينة NaCl

III – التحليل الطيفي لعينة NaCl :

III-1 – مقدمة:

ستتطرق في ما يلي إلى الدراسة الطيفية للمادة الصلبة NaCl وتحديد تركيبها باستخدام تقنية LIBS وهي اختصار لـ:

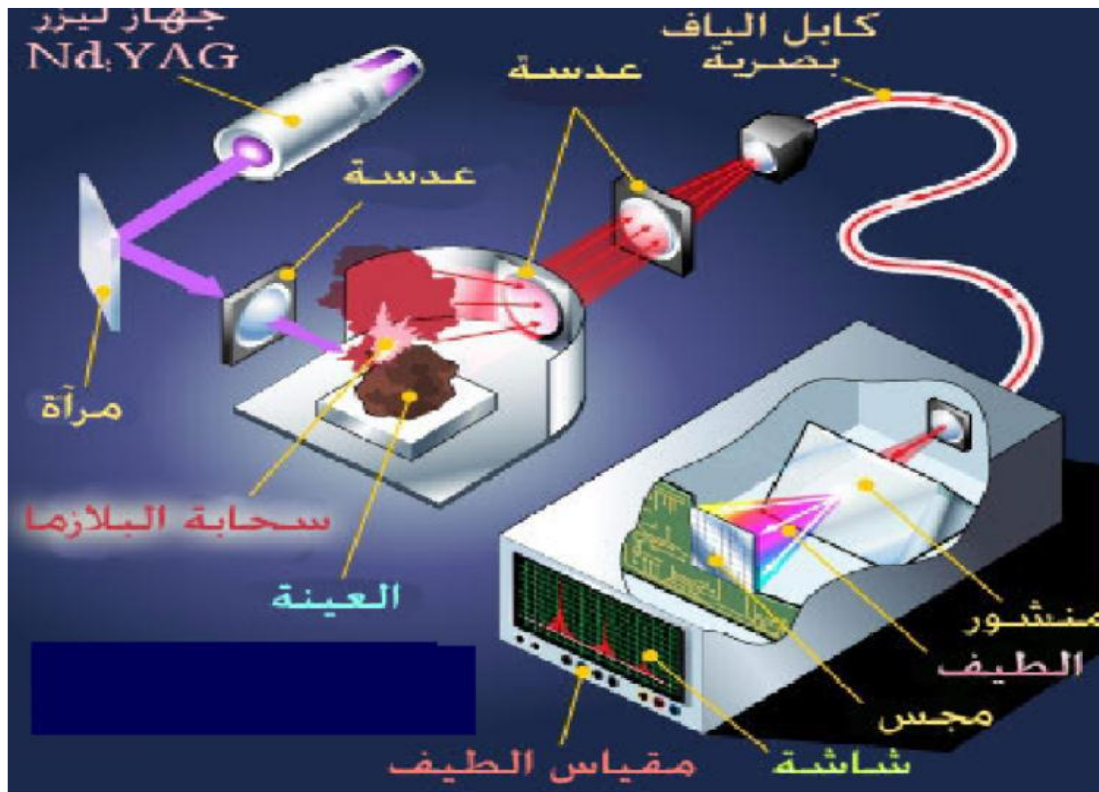
(Laser induced breakdown spectroscopy) أو التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر.

هي تقنية حديثة تمكننا من تحليل المواد الصلبة [25] ، والسائلة [26] ، والغازية [27] ، والحصول على نتائج

سريعة ودقيقة ، تتميز هذه التقنية عن غيرها باستخدام الليزر من أجل تسامي المادة للحصول على البلازما . فمن ميزات هذه

التقنية غير هدامة للعينة محل الدراسة كما تسمح لنا بمسحها عن بعد ، كما يمكن استخدام هذه التقنية في الطب والمجال

العسكري[28] .



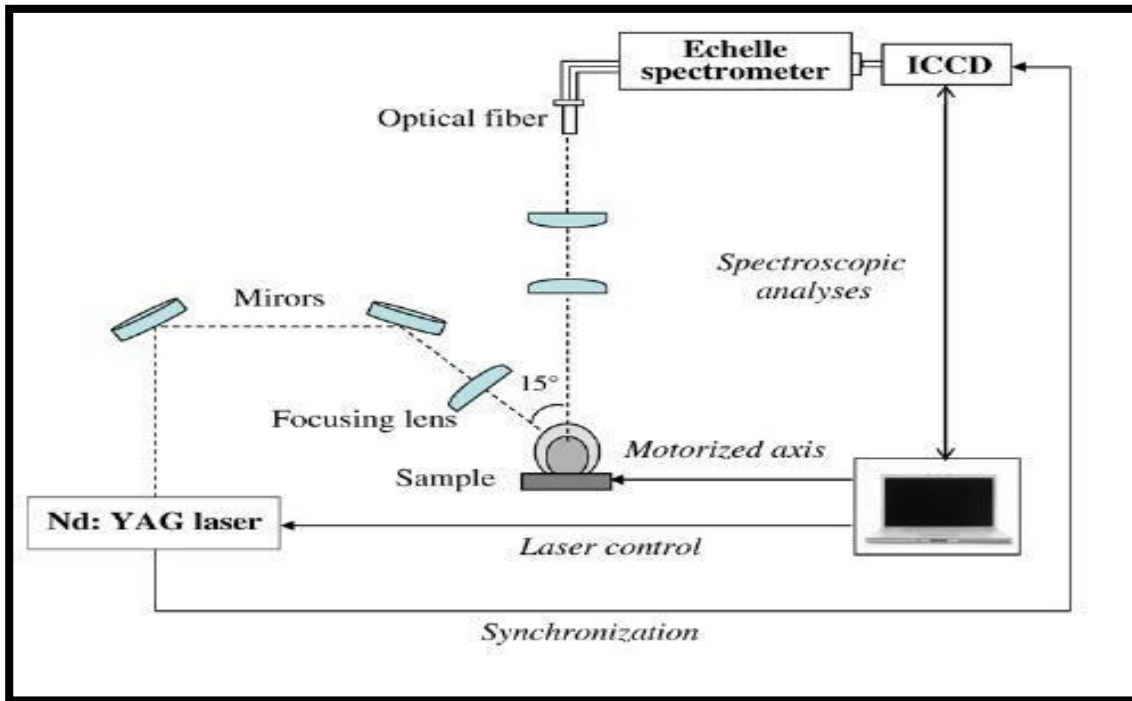
الشكل (III-1) : مخطط توضيحي لتقنية التحليل الطيفي LIBS [29]

III-2- التجربة:

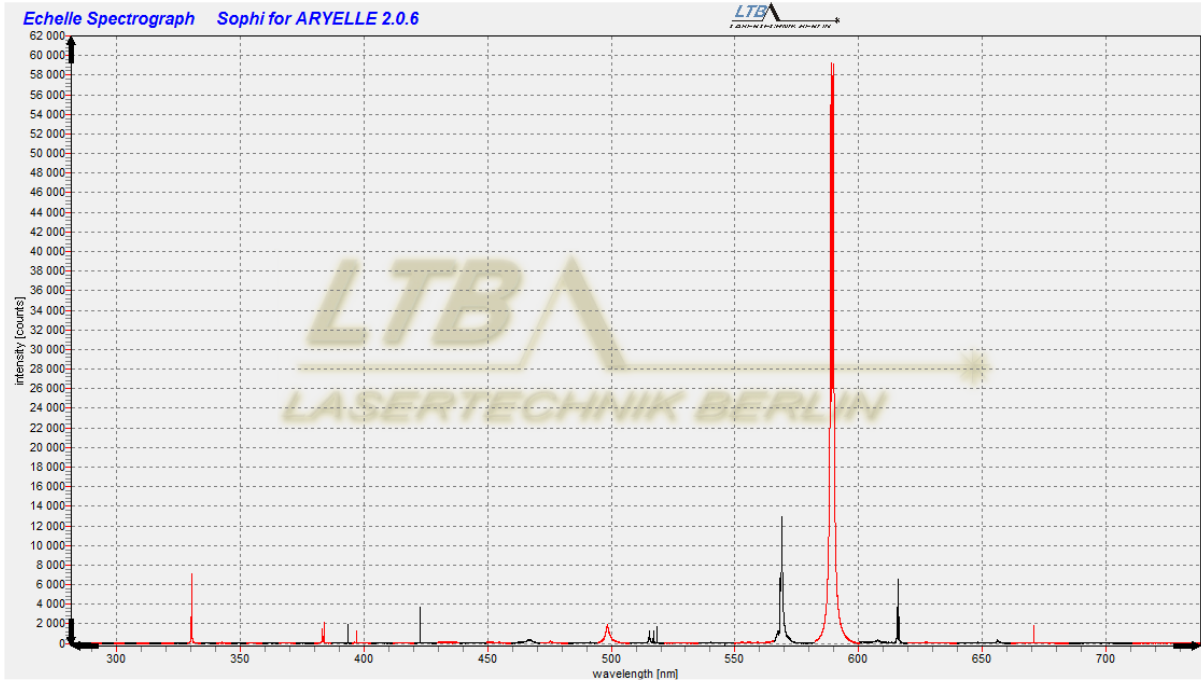
من اجل الدراسة الطيفية لعينة NaCl نضعها لتحليل LIBS باستخدام ليزر Nd:YAG الذي يعمل بنظام النبضات .

يمر شعاع الليزر ذو الطول الموجي 1604nm الذي يتم ضخه بواسطة مصباح فلاش ذو تردد 20HZ خلال زمن قدره 10 ns عبر عدسة تبعد ب 10cm عن العينة , تقوم هذه العدسة بتجميع طاقة النبضات حيث أن طاقة النبضة الواحدة هي 20 mJ , وبذلك يتم انتزاع بعض الجسيمات من المادة التي تكون مؤينة حيث تتكون سحابة من البلازما , تتمدد هذه الأخيرة في حدود الميكرو ثانية , تنتقل الذرات إلى المدارات الأدنى مطلقة فوتونات ضوئية تعرف بطيف الانبعاث spectral emission

يتم تجميع انبعاث البلازما على نظام من الألياف البصرية fiber optic التي تقوم بنقل الضوء إلى المطياف الذي يعمل على تشتيت الضوء حسب طوله الموجي , فتقوم كاميرا خاصة بتسجيل الطيف , والشكل (III-2) يوضح التركيب التجريبي [30]



الشكل (III-2) : مخطط يوضح التركيب التجريبي لتحليل NaCl وفق تقنية LIBS [30]



الشكل (III-3) : الطيف التجريبي للـ NaCl عند المجال الموجي من 300 nm إلى 700 nm [30]

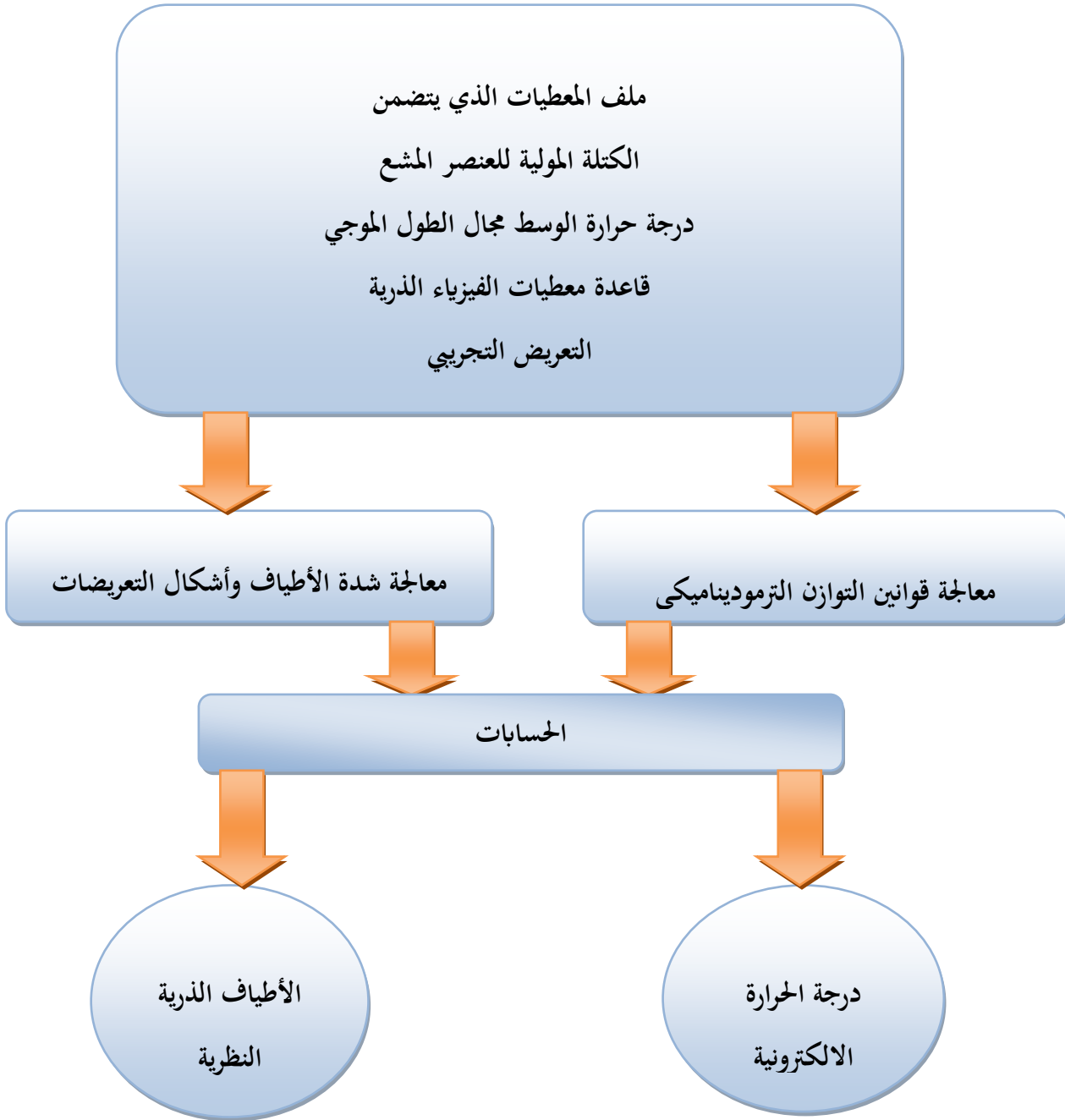
III-3- الدراسة النظرية للـ NaCl :

لدراسة الأطياف الناتجة تجريبيا نقوم برسمها نظريا انطلاقا من قاعدة معطيات الفيزياء الذرية من خلال برنامج رقمي [31]

معد بلغة الفور ترون الذي يكون مبنيا على المعادلات التالية :

- توزيع ماكسويل بولتزمان
- توزيع بولتزمان
- قانون saha
- قانون دالتون
- قانون الحصييلة الحيادية للبلازما
- قانون انحفاظ المادة
- التعريض الطبيعي
- تعريض دوبلر
- مفعول ستارك

- تعريض التصادمات
- التعريض التجريبي شكل غوص
- التعريض التجريبي شكل لورنتز
- قانون التعريض المركب

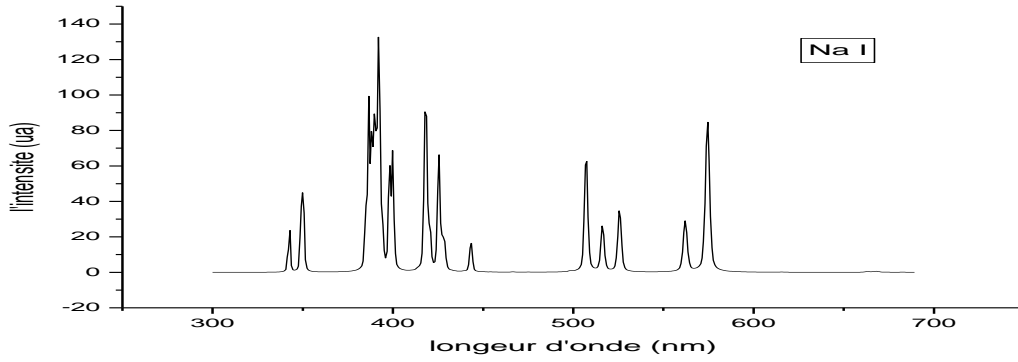


الشكل (III-4) : مخطط توضيحي للبرنامج الرقمي

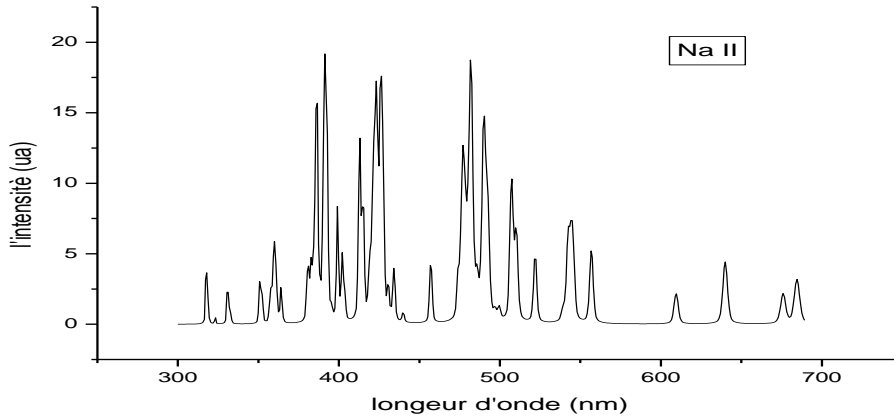
III-3-1- رسم الأطياف النظرية لـ NaCl وبعض الشوائب المتوقعة:

نفرض أن البلازما الناتجة في حالة توازن ترموديناميكي محلي , لذا نقوم برسم الأطياف الذرية النظرية للعينة وبعض

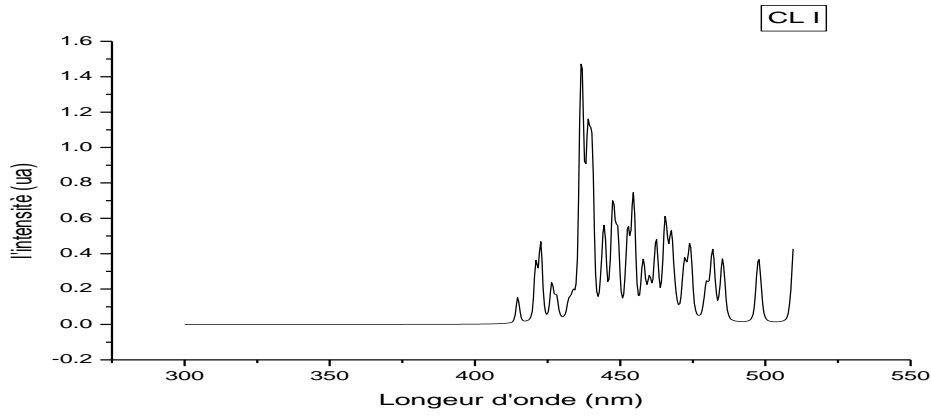
الشوائب بالاعتماد على قاعدة المعطيات الذرية [32] وفق المجال الموجي للأشعة المرئية



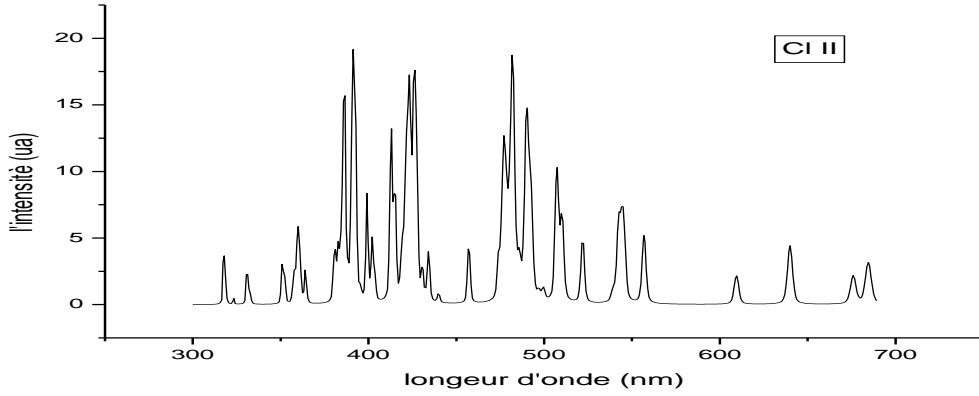
الشكل (III-5) : طيف Na I النظري



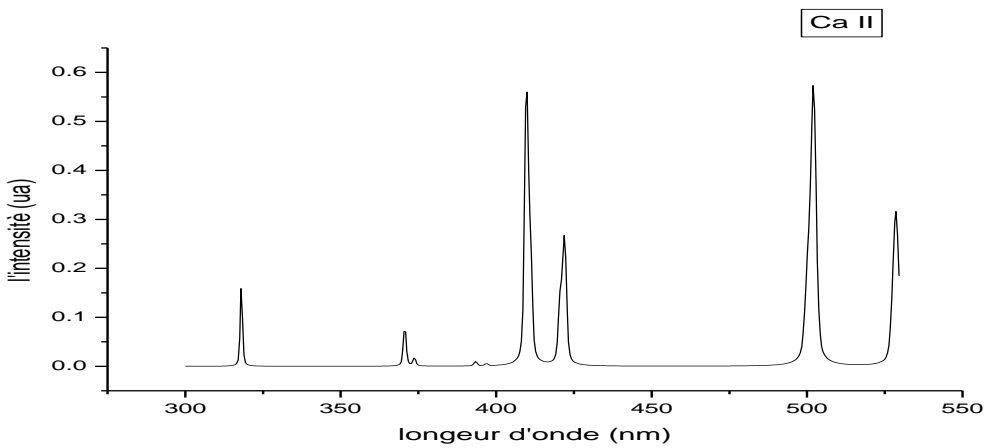
الشكل (III-6) : طيف Na II النظري



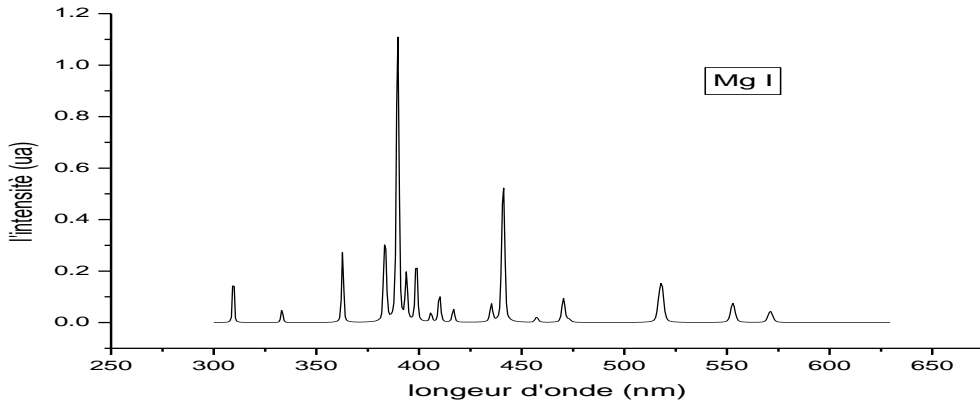
الشكل (7-III) : طيف Cl I النظري



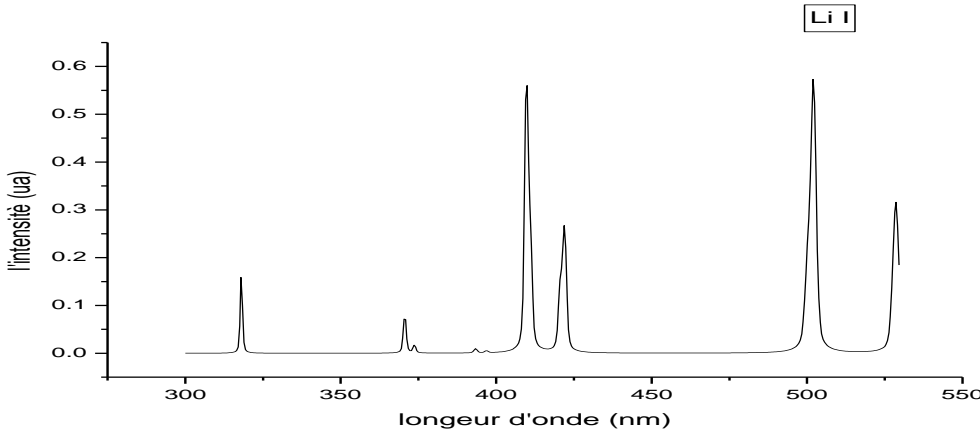
الشكل (8-III) : طيف Cl II النظري



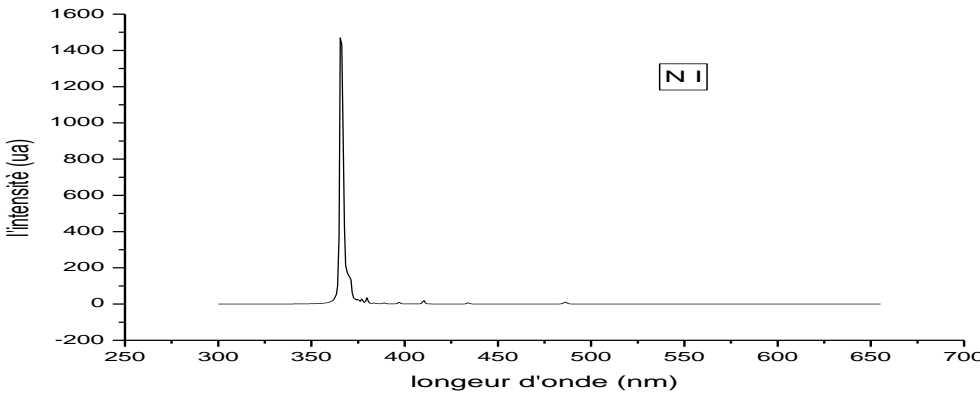
الشكل (9-III) : طيف Ca II النظري



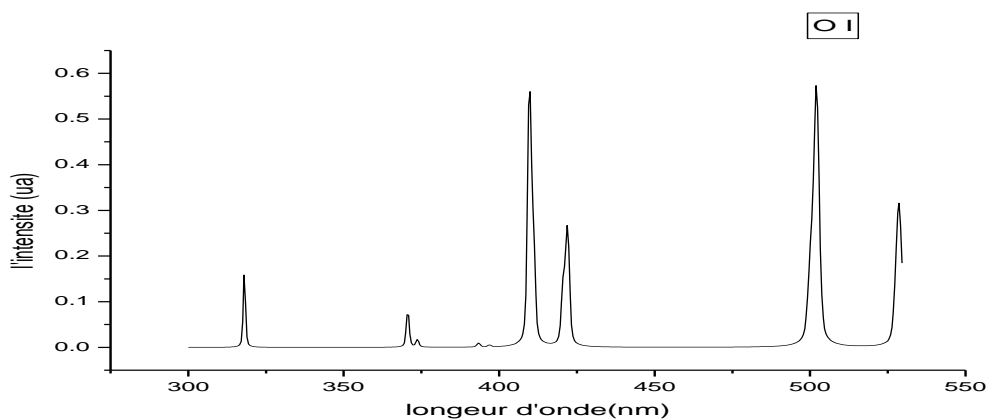
الشكل (10-III) : طيف Mg I النظري



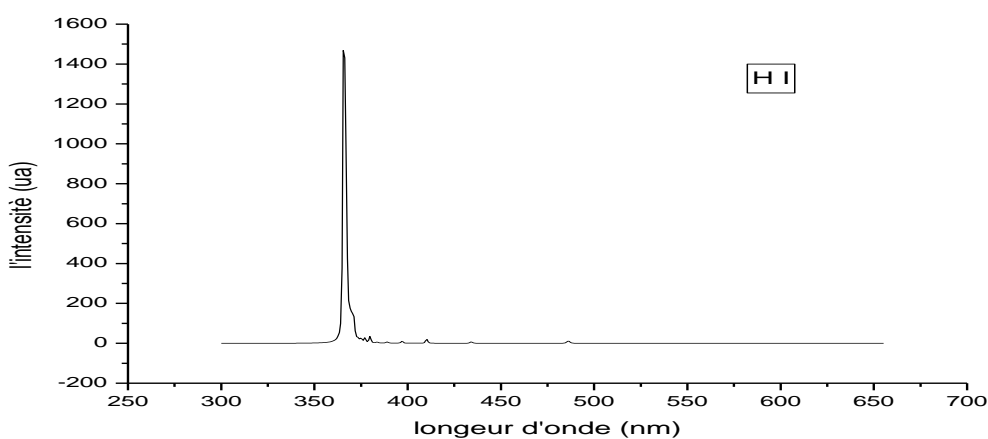
الشكل (11-III) : طيف Li I النظري



الشكل (12-III) : طيف Ni I النظري



الشكل (III-13) : طيف O I النظري

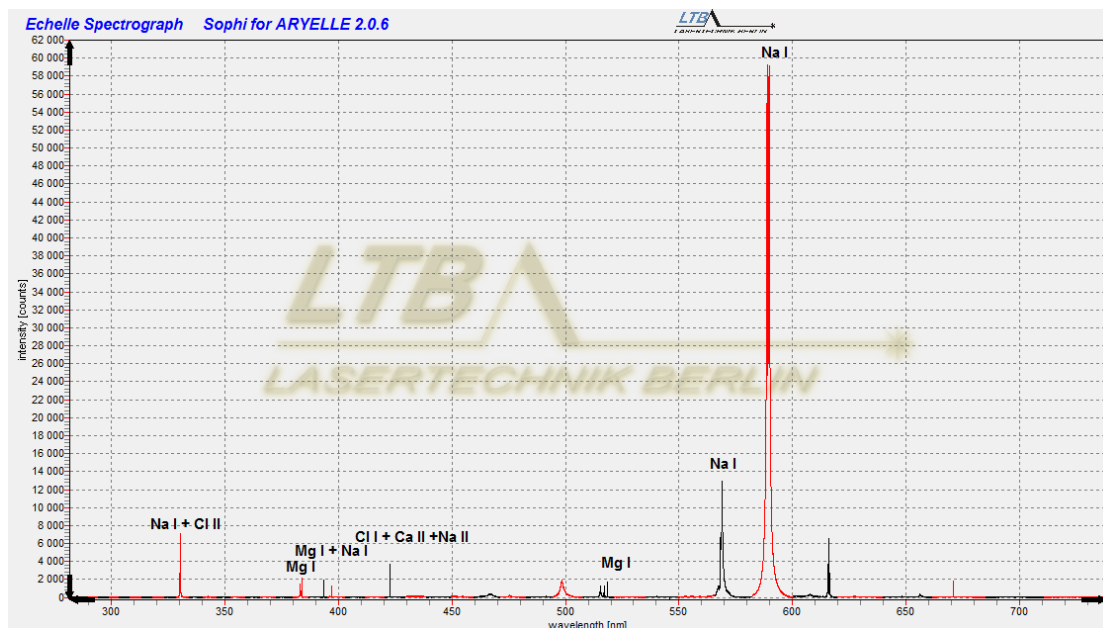


الشكل (III-14) : طيف H I النظري

III-3-2- مطابقة وتحديد الأطياف (تحديد الشوائب المشعة بالوسط) :

انطلاقاً من المطابقة بين الأطياف التجريبية و النظرية وبالاعتماد على قاعدة المعطيات الذرية نلاحظ وجود تطابق بينها وبعض

الشوائب المتوقعة كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (III-15): الطيف التجريبي لـ NaCl بعد تحديد العناصر

و الجدول التالي يوضح تلك العناصر:

العناصر	الطول الموجي (nm)	الشدة التجريبية (ua)
Na I , Cl II	330	7000
Mg I	383	2000
Na I, Mg I	394	2000
Na II , Cl I , Ca II	422	3900
Mg I	519	1900
Na I	570	14000
Na I	591	60000

III-3-3- الملاحظة وتفسير النتائج:

نلاحظ من خلال الجدول السابق أن أكثر الأطياف النظرية المطابقة للطيف التجريبي هو طيف (Na I) وطيف

(Mg I) التي نعتبرها إحدى الشوائب , بينما لا يظهر طيف (Cl I) بنفس الصورة باعتباره مكون أساسي .

وبالتالي يمكن أن نفسر عدم تطابق الأطياف النظرية و التجريبية في الشدة :

- تكون هذه الأطياف ناتجة عن وسط غير متوازن , حيث أن البلازما المخبرية تكون غالباً غير متوازنة
- كما أن لحظة تسجيل الطيف التجريبي لها تأثير على شكل الأطياف

III-4- حساب درجة الحرارة ومناقشة النتائج:

III-4-1- حساب درجة الحرارة :

من أجل حساب درجة حرارة الوسط نقوم بتطبيق طريقة بولترمان التي تعتمد على حساب نسبة الشدة بين طيفين من

نفس النوع (العنصر) وعند نفس الحالة (درجة التأين) , وبما أن لدينا تطابق بين الطيف التجريبي والنظري لـ Na I عند

الطول الموجي (570 nm) و (591nm) بالإضافة إلى أنه لا يوجد تداخل بين الأطياف عند هذين الطولين سنقوم

باستنتاج درجة حرارة الوسط .

والجدول التالي يبين معطيات الفيزياء الذرية للانتقالات المختارة :

الرقم	العنصر	$\lambda(nm)$	$I(u)$ النظرية	$I(u)$ التجريبية	g_k	A_{ki}	$E_k(ev)$
1	Na I	591	2.9	60	2	$6.14e^{+7}$	2.102297159
2	Na I	570	8.2	14	6	$1.21e^{+7}$	4.28349644

بالإعتماد على القيم المعطاة وتطبيق علاقة نسبة الشدة بين الطيفين نجد :

$$R = \frac{I_1}{I_2} = \frac{g_1 A_1 \lambda_2}{g_2 A_2 \lambda_1} \exp\left(\frac{E_2 - E_1}{K_B T}\right) \quad (1 - III)$$

$$\Rightarrow K_B T (ev) = \frac{E_2 - E_1}{\ln \left(\frac{R g_2 A_2 \lambda_1}{g_1 A_1 \lambda_2} \right)} \quad (2 - III)$$

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

بالتعويض في (2 - III) نجد درجة الحرارة الالكترونية التالية :

$$T = 26.20706 \times 10^3 K$$

$$T = 2.25922 \text{ ev}$$

III-4-2- مناقشة النتائج:

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها أن درجة الحرارة المحسوبة 2.25922 إلكترون فولط أي

26.20706×10^3 كلفن تدخل ضمن تصنيف درجات الحرارة الالكترونية للبلازما المخبرية والتي تكون محصورة بين 2 و

5 إلكترون فولط أي بين 23.2×10^3 و 58×10^3 كلفن , بغض النظر عن صعوبة تشخيص البلازما لعدم توازنها

حراريا فإنه يمكننا أن نقول أن البلازما الناتجة عن هذه التجربة هي في توازن حراري محلي جزئي.

خلاصة عامة

خلاصة عامة:

استطعنا في هذا العمل أن نحدد العناصر المشعة في العينة , الصلبة والمتمثلة في $NaCl$, انطلاقا من تحليل

أطياف البلازما الناتجة عن عملية التسمي بالليزر وفق تقنية $LIBS$.

حيث تطرقنا في البداية إلى عرض شامل حول حالات المادة بأنواعها الأربعة وأهم تحولاتها, كما ركزنا على الحالة

الرابعة (البلازما) , بالإضافة إلى عرض تعريف وأهم خصائص وشروط الليزر كما تطرقنا أيضا للأطياف الذرية وأشكال

التعريضات الممكنة, وكذلك قمنا بعرض التقنية المستخدمة ثم شرح التركيب التجريبي المطبق في الدراسة والذي من خلاله تحصلنا

على الأطياف التجريبية للـ $NaCl$ التي قمنا بمقارنتها مع الأطياف النظرية لبعض العناصر والشوائب المشعة المتواجدة في الوسط.

وفي الأخير تمكنا من حساب درجة الحرارة الالكترونية للوسط والتي كانت في حدود $(2.25ev)$.

قائمة المراجع

المراجع :

1. الموقع الالكتروني : <http://ww.enysco.blogs.com>
2. مقدمة في فيزياء البلازما , وليد مصطفى الصهيويني
3. فيزياء البلازما , عاصم عبد الكريم
4. كهرومغناطيسيات الجامعة المنتصرية , بغداد , علي إبراهيم مهدي العزاوي
5. A . Dinklage , T. klinger , G . Marx , L . schkhard , plasma physic springer, Barlin 2005
6. Physique des plasmas , pierre tardiveau , Enseignant – chercheur au la boratoire de physique des gazs et des plasmas
Pierre.tardiveau @u-psud.fr
7. Jean –loup Delacroix et Abraham Bers , " physique des plasma " inter Edition /CNRS Edition (1994)
8. F. khelfaui (cour de master physique de Rayonnement –2012–2013)
9. M. Moisan et J pletier ; physique des plasmas collisionnels ; EDP sciones France , 2006
- 10.B. Held ; physique des plasmas froid . Dunod , paris 2005
11. الليزر وتطبيقاتها الطبية , جامعة الأندلس الخاصة بالعلوم الطبية
12. الليزر وتطبيقاته , د.فالح حسن الأحمدى , د.عصام جورج شماني
13. الليزر أسس واستخدامات , د.صالح مصطفى الأتروشي , د. رياض وديع يوسف
14. تطبيقات الليزر العسكرية , د. عبد الله صالح الضويان , جامعة نايف العربية للعلوم الأمنية , مركز الدراسات والبحوث
15. الليزر وتطبيقاته , د. سعود بن حميد اللحيايبي الأستاذ المشارك بقسم الفيزياء كلية العلوم , جامعة أم القرى
16. الموقع الالكتروني : <http://www.byto.com/vbshowthread.php>

17. الأطياف في الفلك د.فواز أستاذ المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته , جامعة دمشق

18. الموقع الالكتروني : <http://forums.arabsbook.com/61534>

19. w. Demtroder , Atoms Molecules and photons , Springer –verlag , 2006 ,
Berlin Heidelberg

20. Moussa . cheibetta contribution a la théorie d'élargissement des raies
spectrales émise par plasma: Application la raie Ly-de l'atome de
l'hydrogène Doctorat de 3 èmecyle Université cheikh Anta de Diop de
Dakar-Sénégal , 2004

21. Ben Mabrouk Lazhar. BENTEDJ.S ,et Khelfaoui, Fethi.

"Détermination de la densité électronique et de la température
électronique par spectropie d'une décharge micro-onde dans un plasma
d'hélium"

22 BENMEBROUK ,Lazhar.Simulation Numérique des specteres de
l'hélium Emis dans les chambres Cathodiques pour la détermination de
la densité et la température Electronique. 2017 Thèse Doctoat

23 S . Lemkeddem et F. khelfaoui , (specter des raies d'émission d'une
torche plasma en utilisant la technique de l'inversion d'Abel) , Séminaire
International sur la physique des plasma (SIPP2011) , Ouargla ,2011

24 H . Park, S.J.YOU et W . choe ; correlation between excitation
temperature and electron temperature with two of electron energy
distribution , physics of plasmas , vol 17p103501 , 2010

25 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).

26 Riadh Hannachi; —Etude expérimentale et propriétés radiatives d'un plasma thermique induit par impact laser à la surface de milieux aqueux H₂O-CaCl₂/MgCl₂/NaCl Toulouse, Thèse Doctorat(2007).

27 Jennifer L., Gottfried Frank C., De Lucia Jr, Chase A. Munson. Anal. Bioanal. Chem. **395**, pp. 283–300 (2008).

28 LA LIBS : LES APPLICATIONS D'UN LASER D'ANALYSE , DES SYSTEMES NUCLEAIRES A L'EXPLORATION SPATIALE .

Commissariat à l'énergie atomique . Paris 20 juin 2014.

29 M. Achouri, S. A. Beldjilali, T. Baba Hamed et A. Belasri «Spectroscopie du plasma d'ablation LASER Appliquée à l'analyse du B₄C »

(CNPA,2010)/Ouargla /24–26 Octobre 2010

30 **THÈSE** : L' université Bordeaux 1: spectroscopie LIBS Sans étalonnage . Examen critique et applicabilité à l'analyse de sol pollués .

Directeurs de recherche : Lionel CANIONI et Christian FOUILLAC . soutenue le 2 Décembre 2010

- 31 Benmebrouk,L (2017) .Nouvelle Méthode de diagnostique des plasmas
Hors l'équilibre thermodynamique. Editions universitaires européennes,
2017
- 32 NIST Atomic Spectra Database, [http//physics.nist.gov](http://physics.nist.gov).

المخلص: لقد تم في هذا العمل دراسة وتحليل الأطياف التجريبية الصادرة عن الوسط الذي تشكلت فيه البلازما نتيجة تسامي المادة الصلبة (NaCl), وذلك باستخدام تقنية LIBS التي تسمح لنا بتحديد تركيب العينة مهما تغير طورها, كما تم التطرق إلى توضيح التركيب التجريبي وكيفية تحديد العناصر المشعة في الوسط من خلال نموذج يعتمد على معادلات التوازن الترموديناميكي ومعطيات الفيزياء الذرية. حيث انطلقا من البرنامج الرقمي تم إعادة رسم الأطياف التجريبية, وبالمقارنة مابين الأطياف النظرية مع الأطياف التجريبية, وتم كذلك من اختيار الانتقالات المناسبة من أجل حساب درجة الحرارة الالكترونية للوسط (2.25eV) وهي متوافقة تماما مع درجة الحرارة الالكترونية للبلازما المخبرية.

الكلمات المفتاحية: تسامي, البلازما, ليزر, NaCl, LIBS, طيف

Résumé: Je suis dans cette étude de travail et l'analyse des spectres expérimentaux du milieu dans lequel le plasma a été formé à la suite de la transcendance du solide (NaCl), en utilisant la technique LIBS qui nous permet d'identifier l'installation de l'échantillon d'un changement important développé, a également été abordée pour illustrer l'installation expérimentale et comment sélectionner les éléments Dans le milieu à travers un modèle basé sur des équations d'équilibre thermodynamique et des données de physique atomique.

D'où le programme numérique a été ré-établir les spectres expérimentaux et comparaison entre les spectres théoriques de spectres expérimentaux, ont également de choisir la fenêtre de transfert approprié afin de calculer la température électronique du centre (2.25eV) et est entièrement compatible avec la température électronique du laboratoire de plasma.

Mots-clés: Sublimation, Plasma, Laser, NaCl, LIBS, Spectrum