

رقم الترتيب:.....
الرقم التسلسلي:.....

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي



كلية العلوم الدقيقة
قسم الفيزياء
مذكرة تخرج لنيل شهادة
ماستر أكاديمي في الفيزياء
تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع و طاقة
من إعداد الطلبة: نويرة زهية
نويرة مروة

تحت عنوان:

دراسة الأطياف الناتجة عن بلازما الأرجون بتقنية LIBS ومقارنتها بالأطياف النظرية

نوقشت يوم: 06/2022/

أمام اللجنة المكونة من :

| | | | |
|--------|------------------------------|------------------|-------------|
| رئيسا | جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي | أستاذ مساعد | الأستاذ 1 |
| مؤطرا | جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي | أستاذ محاضر ب | عسكري سهيلة |
| ممتحنا | جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي | أستاذ مساعد | الأستاذ 4 |
| ممتحنا | جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي | أستاذ تعليم عالي | الأستاذ 5 |

السنة الجامعية 2021/2022

إهداء

إلى من حرثت الأرض بأناملها الصغيرة لإطعامنا
وغزلت الصوف لتدفئتنا إلى المجاهدة فينا
إلى دكتورتي ودوائي إلى من سهرت الليالي لرعايتنا
إليك مصدر همتي -أمي -

إلى أصحاب الظلال الطويلة
ملجئي وسندي في مسيرة حياتي
-أخوتي -

إلى مظلة الشتاء والصيف إلى توأمي
إلى أعمق جزء في قلبي
إلى صديقتي وشخصي المفضل
إليكي شمعتي المضيئة
-عبير -

إلى -والدي- العزيز عليه كل رحمة الله ومغفرته
إلى كل من مد يد العون من قريب أو بعيد... إليكم أهدي عملي هذا

زهية

إهداء

إلى من حرثت الأرض بأناملها الصغيرة لإطعامنا
وغزلت الصوف لتدفئتنا إلى المجاهدة فينا
إلى دكتورتي ودوائتي إلى من سهرت الليالي لرعايتنا
إليك مصدر همتي -أمي -

إلى أصحاب الظلال الطويلة ملجئي وسندي في مسيرة حياتي
-أخوتي -

إلى مظلة الشتاء والصيف إلى توأمي إلى أعمق جزء في قلبي (وتيني)
إلى صديقتي وشخصي المفضل ونعمتي الحلوة
إليكي شمعتي المضيئة -حياة -

إلى من ضاقت السطور عن ذكرهم فوسعهم قلبي ...
إليكن يامن لاتفارقن الوجدان صديقتاتي
-فاطمة (بطة)-ياقوت-

إلى -والدي- العزيز عليه كل رحمة الله ومغفرته
إلى كل من مد يد العون من قريب أو بعيد... إليكم أهدي عملي هذا

مرورة

شكر و عرفان

الحمد لله حمدا يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه على توفيقه لنا على إتمام هذا العمل المتواضع،
والصلاة والسلام على صفوة الخلق أجمعين نبينا محمدا،
وعلى آله وصحبه، ومن سار على نهجه... ومن اقتدى بسنته إلى يوم الدين.

نتقدم ببالغ الشكر الجزيل والعرفان الجميل إلى الذي أنارتنا بإشرافها على هذه المذكرة
الأستاذة الفاضلة " **عسكري سهيلة** "، وعلى ماقدمته لنا من نصح وإرشاد وتوجيه
ومتابعة مكثفة طوال فترة إعدادها دون كلل أو ملل، فجزاها الله كل الخير وجعلها في خدمة
العلم والوطن.

كما أن الشكر موصول للأساتذة الكرام أعضاء لجنة المناقشة الأستاذة " **سوداني شيرين** " رئيسا،
والأستاذ " **ضيف الله مصباح** " مناقشا لتفضلهم بقبول مناقشة هذه المذكرة
ونأمل أن تكون ملاحظاتهم القيمة نبراسا لنا لكي نرقى بها إلى أرفع الدرجات العلمية.

كما نتقدم بأسمى عبارات التقدير والامتنان إلى الأستاذ الفاضل " **بن مبروك زهر** " لما قدمه لنا
من مساعدة
ونصائح قيمة، كما نشكره على سعة صبره معنا في كل ما احتجناه لإنجاز هذه المذكرة.

كما نشكر زميلتنا " **معمرى صبرينة** " على مساعدتها لنا وحسن إستقبالها لنا بمدينة ورقلة .
وفي هذا المقام لا يمكن أن ننسى شكر أساتذة قسم الفيزياء كل باسمه، ولكل من قدم لنا يد
العون من أساتذة وأهل وأصدقاء ولو بكلمة طيبة.

وإلى كل من سقط من قلبنا سهوا.

الفهرس

| | |
|-----|---|
| i | إهداء |
| ii | إهداء |
| iii | شكر و عرفان |
| vii | قائمة الأشكال |
| vii | قائمة الجداول |
| ix | قائمة الرموز |
| xi | قائمة المصطلحات العلمية |
| 1 | مقدمة عامة |
| 3 | 1 عموميات حول الأطياف الذرية والأرغون |
| 3 | 1.1 عموميات حول الأطياف الذرية |
| 3 | 1.1.1 مقدمة |
| 3 | 2.1.1 تعريف الأطياف |
| 4 | 3.1.1 أنواع الأطياف الذرية |
| 4 | 1.3.1.1 طيف الإنبعاث (الإصدار) |
| 4 | 1.1.3.1.1 الطيف المستمر: |
| 5 | 2.1.3.1.1 الطيف المتقطع: |
| 5 | 2.3.1.1 طيف الإمتصاص |
| 6 | 4.1.1 التعريضا |
| 6 | 5.1.1 دراسة بعض أسباب تعريضا الخطوط الطيفية |
| 7 | 1.5.1.1 التعريض الطبيعي |
| 8 | 2.5.1.1 تعريض دوبلر |
| 9 | 3.5.1.1 تعريض التصادمات |
| 9 | 1.3.5.1.1 التعريض بالرنين: |
| 9 | 2.3.5.1.1 تعريض فاندرفالز: |

| | | | |
|----|-----------|----------------------------------|--|
| 9 | 3.3.5.1.1 | تعريض ستارك : | |
| 9 | 6.1.1 | أشكال الخطوط | |
| 9 | 1.6.1.1 | شكل غوص | |
| 10 | 2.6.1.1 | شكل لورنتز | |
| 10 | 3.6.1.1 | شكل فويت | |
| 10 | 7.1.1 | الطرق المستعملة لتحليل الأطياف | |
| 10 | 1.7.1.1 | شدة الخطوط الطيفية | |
| 10 | 1.1.7.1.1 | شدة الخطوط الطيفية الذرية : | |
| 11 | 2.1.7.1.1 | شدة الخطوط الطيفية الجزيئية : | |
| 11 | 2.7.1.1 | تحديد درجة حرارة الإلكترون | |
| 11 | 1.2.7.1.1 | نسبة الشدة بين الخطين : | |
| 12 | 2.2.7.1.1 | طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان : | |
| 12 | 2.1 | عموميات حول الآرغون | |
| 12 | 1.2.1 | نبذة تاريخية عن الآرغون | |
| 13 | 2.2.1 | تعريفه | |
| 14 | 3.2.1 | التوزيع الالكتروني | |
| 14 | 4.2.1 | النظائر | |
| 14 | 5.2.1 | أهميته واستخداماته | |
| 15 | 6.2.1 | خواص غاز الآرغون | |

المراجع

| | | | |
|----|---------|---------------------------------|--|
| 17 | | | |
| 18 | 2 | البلازما وتقنية LIBS | |
| 18 | 1.2 | البلازما | |
| 18 | 1.1.2 | نبذة تاريخية عن البلازما | |
| 19 | 2.1.2 | تعاريف | |
| 19 | 3.1.2 | تصنيف البلازما | |
| 20 | 1.3.1.2 | البلازما الحرارية | |
| 20 | 2.3.1.2 | البلازما الكهربائية | |
| 21 | 4.1.2 | أشكال البلازما | |
| 21 | 5.1.2 | قوانين التوازن | |
| 21 | 1.5.1.2 | توزيع ماكسويل لبولتزمان | |
| 22 | 2.5.1.2 | قانون بولتزمان | |
| 22 | 3.5.1.2 | قانون ساها | |
| 22 | 4.5.1.2 | قانون بلانك | |
| 22 | 6.1.2 | أهم المقادير في فيزياء البلازما | |
| 22 | 1.6.1.2 | طول ديبي | |
| 23 | 2.6.1.2 | طول موجة ديبروغلي الحرارية | |
| 23 | 3.6.1.2 | طول لاندو | |

| | | | |
|----|-------|---|---------|
| 23 | ..... | درجة تأين الغاز | 4.6.1.2 |
| 24 | ..... | غلاف ديبياي | 5.6.1.2 |
| 24 | ..... | كرة ديبياي | 6.6.1.2 |
| 24 | ..... | درجة الحرارة الإلكترونية والأيونية | 7.6.1.2 |
| 25 | ..... | الإشعاع في البلازما | 7.1.2 |
| 25 | ..... | تقنية LIBS | 2.2 |
| 25 | ..... | مقدمة | 1.2.2 |
| 25 | ..... | أهم الأجهزة المستخدمة في التحليل الطيفي للبلازما | 2.2.2 |
| 26 | ..... | المطياف الضوئي | 1.2.2.2 |
| 26 | ..... | مطياف الكمية البلازمية المتولدة بالحث | 2.2.2.2 |
| 27 | ..... | تقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر LIBS | 3.2.2.2 |
| 32 | | التحليل الطيفي لبلازما الآرغون وحساب درجة الحرارة الإلكترونية | 3 |
| 32 | ..... | التجربة | 1.3 |
| 35 | ..... | تحليل الطيف التجريبي | 2.3 |
| 35 | ..... | دراسة الأطياف التجريبية | 3.3 |
| 37 | ..... | رسم اطياف الآرغون وبعض الشوائب | 4.3 |
| 41 | ..... | العناصر الكيميائية المسؤولة عن الإصدارات الطيفية | 5.3 |
| 41 | ..... | حساب درجة حرارة الوسط T | 6.3 |
| 42 | ..... | مناقشة النتائج | 7.3 |
| 44 | | خاتمة عامة | |
| 47 | | ملخص | |

قائمة الأشكال

| | | | |
|----|-------|--|------|
| 4 | ..... | يوضح طيف الانبعاث [3] | 1.1 |
| 5 | ..... | يوضح أنواع الأطياف [12] | 2.1 |
| 6 | ..... | يوضح طيف الإمتصاص [3] | 3.1 |
| 6 | ..... | يوضح التعريض الحاصل في الخط الطيفي | 4.1 |
| 13 | ..... | يوضح رسم توضيحي يصور جهاز تجربة كافنديش | 5.1 |
| 13 | ..... | يوضح قارورة متوهجة من الارغون عالي النقاوة (بلازما) | 6.1 |
| 18 | ..... | يوضح شعلة بلازمية تعكس إحدى أكثر ظواهر الهبولى تعقيدا | 1.2 |
| 19 | ..... | يوضح نموذج مرئي مبسط للمقارنة بين الحالات الأربع للمادة [17] | 2.2 |
| 20 | ..... | يوضح نموذج مرئي يظهر أمثلة عن أنواع البلازما [.] | 3.2 |
| 24 | ..... | يوضح كرة ديبياي | 4.2 |
| 26 | ..... | يوضح مطياف ضوئي | 5.2 |
| 27 | ..... | يوضح مطياف الكتلية البلازمية المتولدة بالحث | 6.2 |
| 28 | ..... | يوضح تقنية LIBS | 7.2 |
| 33 | ..... | يوضح واجهة مستخدم جهاز كمبيوتر ال Z-300 | 1.3 |
| 33 | ..... | يوضح وصف تخطيطي وتوضيحي لتحليل LIBS | 2.3 |
| 34 | ..... | يوضح الطيف التجريبي للآرغون في المجال [900-200] nm | 3.3 |
| 34 | ..... | يوضح الطيف المراد دراسته في المجال [436-424] (nm) | 4.3 |
| 36 | ..... | يمثل مخطط توضيحي للبرنامج الرقمي | 5.3 |
| 37 | ..... | يوضح الطيف النظري ل (ArI, ArII, CI, NI, OI, HI) | 6.3 |
| 38 | ..... | يوضح الطيف النظري ل (ArI, ArII) | 7.3 |
| 38 | ..... | يوضح الطيف النظري ل (ArI) | 8.3 |
| 39 | ..... | يوضح الطيف النظري ل (ArII) | 9.3 |
| 39 | ..... | يوضح الطيف النظري ل (CI) | 10.3 |
| 40 | ..... | يوضح الطيف النظري ل (NI) | 11.3 |
| 40 | ..... | يوضح الطيف النظري ل (HI) | 12.3 |
| 41 | ..... | يوضح الطيف النظري ل (OI) | 13.3 |

قائمة الجداول

| | | | |
|----|-------|-----|---|
| 15 | ..... | 1.1 | يوضح بعض الخواص العامة للآرغون [18] |
| 21 | ..... | 1.2 | يوضح أشكال البلازما |
| 42 | ..... | 1.3 | يمثل المعطيات الذرية الخاصة بانتقالات الآرغون المستخدمة في قانون بولتزمان |

قائمة الرموز

| | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| ثابت بلانك. | h |
| سرعة الضوء في الفراغ. | c |
| دالة التوزيع. | $B(T_{exc})$ |
| الطول الموجي. | λ |
| الدالة الموجية . | Ψ |
| معدل الإنبعاث . | γ |
| التواتر. | ω |
| التردد . | ν |
| الطاقة . | E |
| الفرق الطاقي . | ΔE |
| مدة الحياة . | τ |
| شدة الإشعاع اللونترزي. | $I(\omega)$ |
| درجة الحرارة. | T |
| كتلة الذرات. | m |
| ثابت بولتزمان. | k |
| عرض شكل لورنتز . | ν_L |
| عرض شكل غوص . | ν_G |
| معامل أينشتاين . | A_{if} |
| (التردد) النبض . | ν_{if} |
| الحقل المغناطيسي. | B |
| الذرات المثارة في وحدة الحجم . | N_i |
| الشدة الخطوط الطيفية الذرية . | I_f |
| كثافة المرسل . | $N(n', v', j')$ |
| إحتمالية الإنتقالية . | $A_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$ |
| العدد الموجي . | $\nu_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$ |

| | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| الشدة الخطوط الطيفية الجزيئية . | $I_{n'',v'',j''}^{n',v',j'}$ |
| درجة حرارة الإلكترونات . | T_e |
| درجة حرارة الأيونات . | T_i |
| درجة حرارة الجسيمات المتعادلة . | T_n |
| كتلة الإلكترون . | m_e |
| سرعة الجسم . | v |
| كثافة الذرة . | N_0 |
| درجة التوالد . | $g_i g_0$ |
| الكثافة الإلكترونية . | n_e |
| الأسس الحرجة . | α, β |
| طول لانداو . | r_0 |
| الشحنة الإلكترونية . | e |
| الكثافة العددية للجسيمات المحايدة . | n_0 |
| الكثافة العددية للإلكترونات . | n |
| الطاقة الحركية . | E_c |

قائمة المصطلحات العلمية

- LIBS* : *Laser – Induced – Breakdown – Spectroscopy.*
(التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر.)
- ICP – MS* : *Inductively – Coupled – Plasma – Mass – Spectrometry.*
(مطياف الكتلة البلازمية المتولدة بالحث.)
- TI – MS* : *Thermal – Ionization – Mass – Spectrometry.*
(مطياف الكتلة التأيني الحراري.)
- GD – MS* : *Glow – Discharge – Mass – Spectrometry.*
(مطياف الكتلة التفريغ التألقي.)

مقدمة عامة

تهيمن العلوم الحديثة على مظاهر الحياة في عصرنا الحالي وعلى مصير و تقدم الأمم والشعوب ، حيث يعتبر علم فيزياء البلازما مفتاح تكنولوجيا هذا العصر سواء في علوم طاقة الاندماج النووي أو بلازما المواد أو بلازما الإلكترونيات أو بلازما الليزر وغيرهم ... ومما لاشك فيه أنه عندما يحظى علم فيزياء البلازما بالإهتمام الكافي فسوف يكون مردوده الصناعي والإقتصادي هائلاً .

ومن جهة اخرى نجد أن الأطياف الذرية أهم الإكتشافات التي ساهمت في دراسة خصائص التراكيب المختلفة للعناصر خاصة المشعة منها وبصورة كبيرة ، كما ساهمت في معرفة عمر الأحافير والأرض وذلك من خلال دراسة إشعاعات مكوناتها وكذلك دراسة الفضاء والنجوم والمجرات البعيدة ، كما يعتبر الطيف الذري بصمة للعنصر تميزه عن غيره وهو مايسهل دراسة خصائص العناصر وتوزيع إلكتروناتها ومستوياتها الذرية وخصائص الفقد والإختزال لإلكتروناتها ، والبحث في هذا المجال أخذ نطاقات واسعة حيث أن أكبر إهتمامات الباحثين المنشغلين بمطيافية البلازما الآن هي دراسة خصائص الإشعاعات المنبعثة من البلازما التي من خلالها يتم التعرف على العديد من الخصائص كدرجة حرارتها، كثافتها، طاقتها ... إلخ وهذا يتم تحديداً من خلال الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث منها ، فيحلل هذا الإشعاع كيميا وكيفيا إلى أطياف نستطيع بواسطتها تشخيص البلازما ومعرفة معلومات دقيقة ومهمة عنها .

هدفنا الرئيسي من هذه المذكرة هو دراسة الأطياف الناتجة عن بلازما الأرجون بتقنية ال *LIBS* ومقارنتها بالأطياف النظرية بالإضافة الى ذلك حساب درجة حرارة الوسط المدروس . ونظرا لأهمية الأطياف والتي هي أساس دراستنا فإننا سنفتح مذكرتنا بها في الفصل الاول وسنتطرق إلى تعريفها وأنواعها و سنبين التعريضات التي تحويها وأشكال الخطوط التي تأخذها بالإضافة إلى نظرة شاملة حول الطرق المستعملة في التحليل الطيفي كما سنتطرق في هذا الفصل الى عموميات حول الأرجون نضمن نبذة تاريخية عنه تعريفه كذلك سنذكر توزيعه الإلكتروني ونظائره بالإضافة الى خصائصه العامة ، وسنختتم بأهميته وإستخداماته .

أما الفصل الثاني فهو كذلك يحتوي على موضوعين ، الأول يخص فيزياء البلازما حيث سنتحدث عن بدايات ظهورها وإكتشافها ، كذلك تعريفها تصنيفاتها وأشكالها ، بالإضافة إلى قوانين التوازن الترموديناميكي المتحكمة بها وأهم المقادير في فيزياء البلازما وكذلك الإشعاع في

البلازما، أما الموضوع الثاني في الفصل الثاني فهو يخص تقنية الـ *LIBS* سنتطرق إلى مقدمة حول الليزر ثم يليها أهم الأجهزة المستعملة في التحليل الطيفي للبلازما وسنركز على أهمها وهي تقنية الـ *LIBS* وسنشرح كيفية عملها ومدى أهميتها .

الفصل الثالث و الذي يمثل الجزء العملي من دراسة فإننا سنقوم بشرح التركيب التجريبي و المتعلق بتوليد بلازما الآرغون بتقنية الـ *LIBS* ، ثم نقوم بتحليل النتائج المتحصل عليها، كما سنقوم بعرض النموذج العددي وذلك بالإستعانة بقاعدة المعطيات الفيزيائية الذرية ، ثم نقارن النتائج المتحصل عليها وأخير نحدد درجة حرارة الوسط .

الفصل 1

عموميات حول الأطياف الذرية والأرغون

1.1 عموميات حول الأطياف الذرية :

1.1.1 مقدمة :

علم الأطياف هو علم يهتم بدراسة التفاعل بين المادة والإشعاع الكهرومغناطيسي والذي يمتد من أشعة غاما العالية الطاقة إلى موجات الراديو المنخفضة الطاقة جدا مرورا بالأشعة السينية وأشعة المايكروويف والأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء [8]. كما تعتبر أجهزة التحليل الطيفي من أهم طرق تحليل الأطياف الذرية المباشرة نظرا لسهولة ودقتها وحساسيتها العالية وتطبيقاتها المتعددة، تعتمد هذه الطرق على الإمتصاص وانبعاث الطاقة الإشعاعية ويؤدي تفسير المعلومات الناتجة عن التحليل الطيفي للحصول على معلومات كمية ونوعية، فمن الناحية النوعية تستخدم مواقع الخطوط أو الحزم الإمتصاصية وانبعاثية التي تظهر على الطيف الكهرومغناطيسي وهي دليلا على وجود عناصر خاصة، أما من الناحية الكمية فيمكن تقدير تركيز المكونات في قياس شدة خطوط الإمتصاص وانبعاث حيث تعطي المعلومات التالية نسبة تواجد العناصر أو درجة حرارة الوسط [2].

2.1.1 تعريف الأطياف:

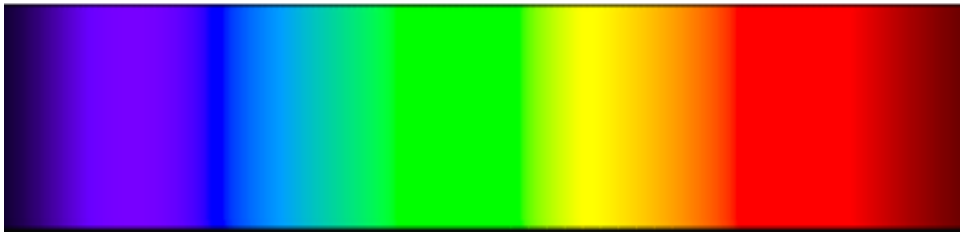
تعرف الأطياف الذرية بأنها طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث او الممتص بواسطة الإلكترون أثناء التحولات بين مستويات الطاقة المختلفة داخل الذرة ، فعندما ينتقل إلكترون من مستوى طاقة إلى آخر فإنه إما يصدر أو يمتص ضوءًا بطول موجي معين ، إن تجميع كل هذه الأطوال الموجية المحددة للذرة في مجموعة معينة من الظروف مثل الضغط ودرجة الحرارة وما إلى ذلك هو الأطياف الذرية للذرات [3]

3.1.1 أنواع الأطياف الذرية:

تكون في العادة أغلب الذرات (حتى عند درجات الحرارة العالية) في الحالة الأساسية (غير مثارة)، وبالتالي فمن الممكن أن تمتص طاقة كافية لإنتقالها إلى مستوى طاقة أعلى، وهذا الإنتقال يشاهد بأحد الطيفين :
طيف إنبعاث ذري.
طيف إمتصاص ذري.

1.3.1.1 طيف الإنبعاث (الإصدار):

عندما تمتص العناصر كمية كافية من الطاقة فإنها تعطي طيفا يسمى طيف الإنبعاث ، فلو سخن عنصر ما باللهب أو بواسطة قوس كهربائي فإن الطاقة التي يمتصها هذا العنصر تؤدي إلى إثارة ذراته يعني أن هذه الطاقة التي سلطت على ذرات العناصر أدت إلى إختلاف مواضع الإلكترونات في تلك الذرات، أو بعبارة أخرى فإن ذرات العنصر تحتوى في الظروف العادية على أقل كمية من الطاقة فهي مستقرة، لذلك تسمى هذه الحالة بحالة الإستقرار أو الحالة الأساسية، أما إذا تعرضت إلى طاقة كافية فإن الإلكترونات وخصوصا الموجودة منها بعيدا عن النواة تمتص كمية من هذه الطاقة مما يجعلها تقذف إلى مستوى طاقة أعلى من المستوى الذي كانت فيه، وفي هذه الحالة يقال أن الذرات في حالة إثارة، وعندما تعود الذرات من الحالة المثارة إلى حالة الإستقرار ثانية بعد زوال المؤثر الخارجي "الطاقة" فإنها تطلق الطاقة التي إمتصتها على هيئة إشعاع يكون هذا الإشعاع في بعض الأحيان في مجال الضوء المرئي وفي البعض الآخر يكون على هيئة إشعاع غير مرئي، وأيا كانت الحالة فإن الإشعاع المنطلق هذا يسمى طيف الإنبعاث، وإذا مر هذا الطيف خلال موشور مطياف فإنه يتحلل إلى مكوناته من أطوال موجية [4,5,6].



شكل 1.1: يوضح طيف الانبعاث [3]

وهناك نوعان من طيف الإصدار هما الطيف المستمر والطيف المتقطع :

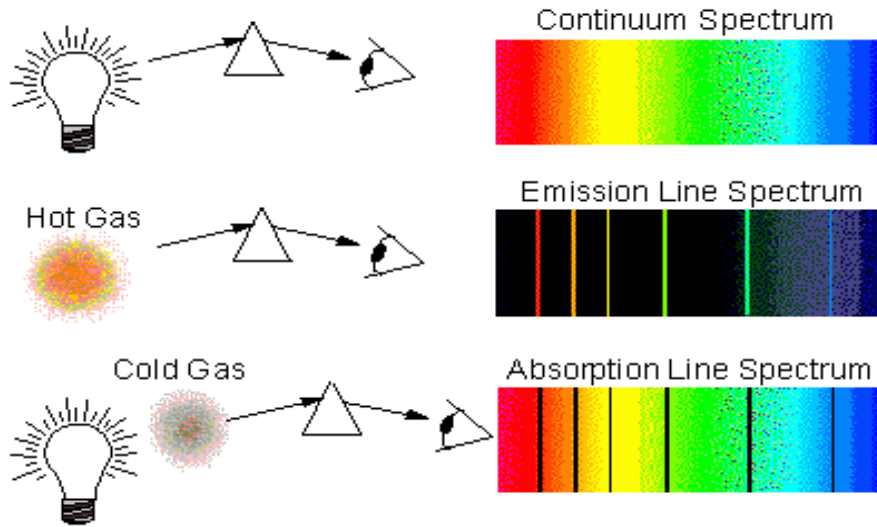
1.1.3.1.1 الطيف المستمر:

هو طيف يتكون من حزمة غير متقطعة (متصلة الترددات) من ألوان وأطوال جميع الموجات المرئية، ويظهر على شكل شريط دون فراغات أو فواصل بدون لون، كالطيف الذي تعطيه أغلب

المواد الصلبة عند درجات حرارة عالية ، فلا يمكن تحديد عدد غياب لون الفراغات الداكنة عند تحليل الضوء بالمطياف، لذلك يمكن إستخدام العناصر والمركبات ذات درجات الإنصهار العالية كمصادر ملائمة للطيف المستمر. [3]

2.1.3.1.1 الطيف المتقطع:

وهو طيف يتكون من ألوان وأطوال موجية محدودة مثل (طيف الهيدروجين H، طيف النيون Ne، طيف الزئبق Hg)، حيث يحتوي على ترددات معينة تفصلها مناطق سوداء، وينتج عن الغازات الملهبة ويكون مميز لمادة العنصر المشع لأنه يعتمد على التركيب الذري لكل عنصر، يتكون طيف الإصدار غير المستمر لمادة من نمط لخطوط مضيئة على أرضية داكنة ويسمى بخط الطيف المرئي الأطياف الخطية [3].



شكل 2.1: يوضح أنواع الأطياف [12]

2.3.1.1 طيف الإمتصاص:

تعطي معظم المواد الصلبة إذا سخنت إلى درجة حرارة عالية جدا لهب أبيض ساخن، وينطلق منها إشعاع طول موجته مساوي لطول موجة الضوء المرئي، يؤلف هذا الإشعاع عادة طيفا مستمرا فلا يشكل مناطق مظلمة، للحصول على الطيف المستمر تستعمل العناصر أو المركبات ذات درجات الإنصهار العالية، ومن أهم هذه العناصر عنصر التنجستن، والذي يستعمل في مصابيح الإضاءة الكهربائية، حيث يسخن بالكهرباء لدرجات حرارة عالية فيتوهج ويعطي الضوء الأبيض المعروف ذو الطيف المستمر، إذ اسقط على مادة ما فإن بعض موجات هذا الطيف تمتص، وتعتبر هذه الموجات الممتصة مميزة للمادة التي إمتصتها، وبعبارة أخرى فإن كل مادة تمتص موجات ذات أطوال معينة خاصة بها [4,5,6].



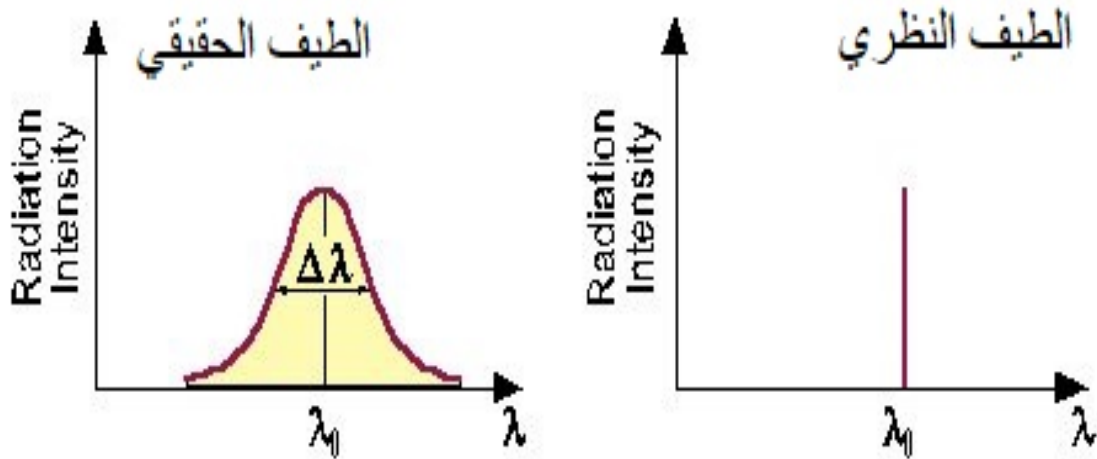
شكل 3.1: يوضح طيف الإمتصاص [3]

4.1.1 التعريضات :

تتولد الأشعة داخل المادة عند أطوال موجية محددة توافق الأطوال الموجية لخطوط طيف الإصدار المنبعثة من المادة، وذلك من أجل الإنتقالات بين مستويات الطاقة المختلفة ضمن الذرات أو الجزيئات، وبالتالي يعبر الخط الطيفي عن العلاقة التي تربط بين شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من المادة وبين التردد ν أو الطول الموجي λ ، وذلك من أجل إنتقال محدد بين سويتين طاقة E_2 E_1 ، عند دراسة الإنتقالات التي تتم بين السويات الإلكترونية في الذرات يفترض عادة أن الخط الطيفي الصادر عند الذرة المثارة يظهر فقط عند تردد معين ووحيد ν يحدد بالعلاقة:

$$E_1 - E_2 = h\nu \quad (1.1)$$

لكن في الحقيقة فإن عمليتي الإصدار و الإمتصاص لا تحدثان عند تردد ووحيد محدد بدقة إنما يتم ذلك عند حزمة من الترددات القريبة من بعضها البعض لتشكيل ما يدعى بتعريض (توسيع) الخط الطيفي $\Delta\lambda$. [7]



شكل 4.1: يوضح التعريض الحاصل في الخط الطيفي

5.1.1 دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية:

تختلف أسباب تعريضات الخطوط الطيفية المنبعثة من المرسل وهي كثيرة نذكر منها:

التعريض الطبيعي .
 التعريض بواسطة فعل دوبلر .
 التعريض بواسطة التصادمات .

1.5.1.1 التعريض الطبيعي:

وهو ناتج عن إرتياب في مستويات الطاقة، وهذا راجع إلى متوسط الحياة، حيث أننا لا نستطيع تحديد الزمن والطاقة في أن واحد (مبدأ الإرتياب لهيزنبرغ). [9,8]

$$\Delta E_J = \frac{\hbar}{\tau_J} \quad (2.1)$$

الذرات تستطيع أن تؤثر على الإنتقال من حالة (a) إلى الحالة المثارة (b) بطاقة منخفضة، الحالة (a) لا يمكن إعتبارها حالة مستقرة و الخطوط الطيفية غير متناهية الدقة لكن لديها توزيع لتواترها، وإحتمال العثور على ذرة تصدر في حالة j تعطى بالعلاقة:

$$P_J = \Psi_J(r, t) \times \Psi_J \times \exp(-\gamma t) \quad (3.1)$$

$\Psi_J(r, t)$: الدالة الموجية التي تصف حالة الذرة عند الحالة المثارة.
 γ : يمثل معدل الإنبعاث.

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

$$\Psi(r, t) = U(r) \times \exp\left(\frac{-iE_j t}{\hbar}\right) \quad (4.1)$$

E_j : طاقة الذرة عند الإصدار في حالة j.
 بفرض أن الإهتزاز يبدأ عند $t = 0$ وتوزيع الطاقة يعطى بالعلاقة التالية:

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} f^*(\omega) f(\omega) \quad (5.1)$$

$$f(\omega) = A \int_0^{+\infty} \exp\left(-i(\omega - \omega_0)t - \frac{\gamma}{2}t\right) dt \quad (6.1)$$

ω_0 : التواتر الطبيعي للمشح.
 فإن دالة التوزيع تعطى بالعلاقة:

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{A^2}{(\omega - \omega_0) + \frac{\gamma}{4}} \quad (7.1)$$

وشدة الإشعاع اللورنتزية تأخذ الشكل :

$$I(\omega) = \frac{\gamma}{2\pi} \frac{1}{(\omega - \omega_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4}} \quad (8.1)$$

والعرض الكامل عند منتصف الإرتفاع يعطى بالمعادلة:

$$I(\omega_1) = I(\omega_2) = \frac{I(\omega_0)}{2} \quad (9.1)$$

2.5.1.1 تعريض دوبلر:

ناتج عن الحركة النسبية بين المرسل والمستقبل، وهو أول وصف دقيق قدمه رايلي سنة 1889 حيث لاحظ ذرات المصدر تتحرك بسرعة v تصنع الزاوية θ مع إتجاه الملاحظ ويكون الإشعاع بالتواتر ω حيث :

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{v}{c} \cos \theta\right) \quad (10.1)$$

ω_0 : التواتر المتعلق بالمصدر.

c : سرعة الضوء في الفراغ.

ومن خلال العلاقة (10.1) نحصل على :

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{v}{c} \cos \theta = \frac{v_x}{c} \quad (11.1)$$

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

$$\omega(v_x)dv_x = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-v_x^2}{v_0^2}\right) \frac{dv_x}{v_0} \quad (12.1)$$

v_0 نعرفها بالعلاقة:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = kT \quad (13.1)$$

m : كتلة ذرات المصدر.

k : ثابت بولتزمان.

بوضع $\frac{v_0}{c} = \Delta\omega_D$

توزيع الشدة في خطوط الطيف من الإنتقال $i \rightarrow j$ فنحصل على شكل دوبلر الغوسي

وعبارته تأخذ الشكل التالي: [10]

$$I(\omega)d\omega = \omega \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_D} \right) d\omega \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[- \left(\frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_D} \right)^2 \right] d\omega \quad (14.1)$$

$I(\omega)$: توزيع غوصيان للتواتر ω .

3.5.1.1 تعريض التصادمات :

يمكن السبب الرئيسي لتعريض خطوط الطيف هو الإضطراب الناجم عن تصادم بين جسيمات البلازما المشحونة وغير المشحونة (الذرات، الأيونات ، الإلكترونات ...إلخ)، وفي هذه الحالة التعريض يحدث بواسطة التصادم ويمكن تقسيمه إلى ثلاث أنواع :

1.3.5.1.1 التعريض بالرنين:

ويكون ذلك بواسطة إضطراب الجزيئات غير المشحونة (تفاعل ثنائي الإقطاب -ثنائي الإقطاب).

2.3.5.1.1 تعريض فاندرفالز :

ويكون ذلك بواسطة إضطراب الجزيئات غير المشحونة مع مختلف أنواع ذرات المصدر (تفاعل ذرة من نوع A مع ذرة من نوع B).

3.3.5.1.1 تعريض ستارك :

يظهر بسبب الإضطراب الناتج عن الجسيمات المشحونة (أيونات، إلكترونات) مع ذرات المصدر ، ويتم التعبير عن هذا التفاعل بواسطة تأثيرات حقل ضعيف أيوني إلكتروني مع ذرات المصدر، ويعمل على إضطراب مستويات الطاقة E الذرية لتصل أدنى المستويات . [10] [11]

$$\delta_S[A^0] = 2\omega \left(\frac{n_e}{10^{16}} \right) + 3,5A \left(\frac{n_e}{10^{16}} \right)^{\frac{1}{4}} \left[1 - BN_D^{-\frac{1}{3}} \right] 2\omega \quad (15.1)$$

إذا كان الوسط ذو ضغط منخفض نسبيا فإن الطيف يأخذ الشكل اللورنتزي . [10]

6.1.1 أشكال الخطوط:

1.6.1.1 شكل غوص :

ويأخذ من الشكل :

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi\beta}} \exp \left(- \frac{x^2}{\beta^2} \right) \quad (16.1)$$

حيث: $X = \Delta v = v - v_0$, $\beta = \Delta v_D$

2.6.1.1 شكل لورنتز :

الشكل اللورنتزي يأخذ الشكل :

$$L(x) = \frac{1}{\pi} \frac{\delta}{x^2 + \delta^2} \quad (17.1)$$

$$\delta = \frac{\Delta v}{2} \quad , \quad x = \Delta v = v - v_{ij} \quad \text{حيث :}$$

3.6.1.1 شكل فويت :

الدالة فويت هي مركبة من شكل غوص ولورنتز ويقترَب من دالة بسيطة :

$$\Phi(v) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\Delta v_0} \exp\left(-\left[\frac{v - v_0}{\Delta v_0}\right]^2\right) \quad (18.1)$$

$$\Delta v_0^2 = \Delta v_G^2 + \Delta v_L^2 \quad \text{حيث :}$$

$$v_L : \text{عرض شكل لورنتز}$$

$$v_G : \text{عرض شكل غوص}$$

7.1.1 الطرق المستعملة لتحليل الأطياف :

1.7.1.1 شدة الخطوط الطيفية:

1.1.7.1.1 شدة الخطوط الطيفية الذرية :

تتميز الخطوط الطيفية ليس فقط من جانب الترددات المنقولة ولكن أيضا من الشدة التي بها، وشدة الخط الطيفي المرافقة للإنتقال من المستوى الابتدائي إلى المستوى النهائي [11]. وتعطى بالعلاقة الكلاسيكية:

$$I_{if} = N_i A_{if} h \nu_{if} = N_i A_{if} h \frac{c}{\lambda_{if}} \quad (19.1)$$

$$N_i = \frac{N g_i}{B(T)} \exp\left(\frac{-E_i}{k_B T}\right) \quad (20.1)$$

$$B(T) = \sum_i g_i \exp\left(\frac{-E_i}{k_B T}\right) \quad (21.1)$$

حيث :

A_{if} : احتمال إنتقال (معامل أينشتاين).

ν_{if} : التردد .

- N_i : الذرات المثارة في وحدة الحجم .
- ثابت بلانك . h
- دالة التوزيع . $B(T)$
- الشدة يعبر عنها بـ (W/m^3) . I_f

2.1.7.1.1 شدة الخطوط الطيفية الجزيئية :

ليكن الانتقال من حالة تتميز بأعداد الكم (n', v', j') حالة تتميز بأعداد الكم (n'', v'', j'') وشدة الخطوط الطيفية المنبعثة خلال هذه المرحلة الانتقالية هي الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن 4π استتارديانو تعطي المعادلة بـ

$$I_{n'', v'', j''}^{n', v', j'} = h\nu_{n'', v'', j''}^{n', v', j'} A_{n'', v'', j''}^{n', v', j'} N(n', v', j') \quad (22.1)$$

h : ثابت بلانك

- كثافة المرسل (m^{-3}) : $N(n', v', j')$
- احتمالية الانتقال من (n', v', j') الى (n'', v'', j'') بـ (s^{-1}) : $A_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$
- العدد الموجي للانتقال من (n', v', j') الى (n'', v'', j'') بـ (cm^{-1}) : $\nu_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$
- الشدة يعبر عنها بـ (W/m^3) . [11] $I_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$

2.7.1.1 تحديد درجة حرارة الإلكترون:

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

1.2.7.1.1 نسبة الشدة بين الخطين :

هذه العملية تتم بين إنتقالين بشرط وجود توازن حراري (توازن ترموديناميكي محلي) بدراسة حرارة معينة.
وفقا للمعادلة (2.1) يمكننا أن نستنتج درجة حرارة الوسط بأستخدام، الخطين (1) و (2) من نفس النوع.

$$\frac{I_{ij}}{I_{kl}} = \frac{g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}{g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}} \exp\left(\frac{E_k - E_i}{k_B T}\right) \quad (23.1)$$

$$k_B T (eV) = \frac{(E_K - E_i)}{\ln\left(\frac{I_{ij} \cdot g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}}{I_{ij} \cdot g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}\right)} \quad (24.1)$$

2.2.7.1.1 طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان :

يتم تقييم درجة حرارة الإثارة T_{exc} من قياس شدة الخط الطيفي للإنبعاث الضوئي I_{if} المتعلقة بالانتقال من المستوى i إلى المستوى f ، على إفتراض أن الإسكان في المستويات الذرية يحقق توزيع بولتزمان، وتعطى شدة الخطوط الطيفية ب :

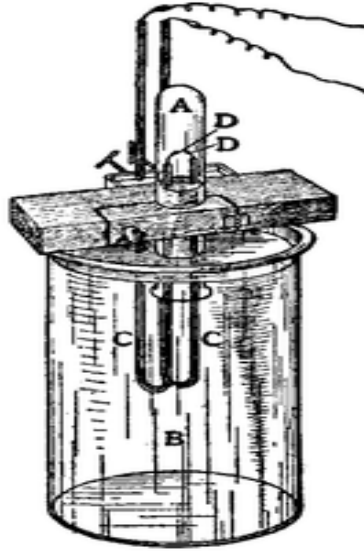
$$I_{if} = \frac{hc}{\lambda} \frac{n_{gi} A_{if}}{B(T_{exc})} \exp\left(\frac{-E_i}{T_{exc}}\right) \quad (25.1)$$

- ثابت بلانك : \hbar
- سرعة الضوء في الفراغ : C
- $B(T_{exc})$: هي دالة التوزيع .
- λ : هو الطول الموجي الموافق للانتقال .
- A_{if} : احتمال الانتقال . [10]

2.1 عموميات حول الأرغون :

1.2.1 نبذة تاريخية عن الأرغون :

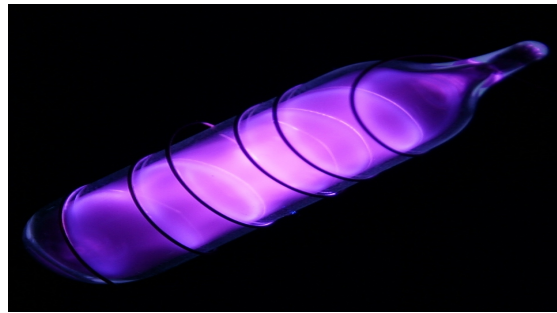
سنة 1783 أجرى هنري كافنديش تجربةً كان هدفها دراسة الخواص التفاعلية للهواء، والتي كانت أول دليل على وجود الأرغون ضمن تركيب الهواء، قام كافنديش بتمرير تيار كهربائي في كمية محسوبة من غازي الأكسجين والنيتروجين المستحصلين من الهواء، مما أدى إلى حدوث تفاعل بينهما وتشكل أكاسيد النيتروجين، لكن كمية ضئيلة من الغاز لم تتفاعل، ولم يتمكن حينها من تفسير تلك الظاهرة، لكنه تخمن وجود غاز غير فعال في الهواء، وفي سنة 1894، حين تمكن وليام رامزي وجون وليم ستروت (لورد رايلي) من نشر أبحاثهما عن الغاز الجديد المكتشف في الهواء، وهو أول الغازات الحاملة المكتشفة وأطلقا عليه اسم آرغون، وهي كلمة ذات أصل إغريقي، وتعني «خامل»، وذلك إشارةً إلى نحوله الكيميائي، وبالفعل، فإن الأرغون لا يقوم بتشكيل أية مركبات كيميائية، إلا بحالات نادرة جداً، ويعود ذلك إلى إكتمال غلاف التكافؤ بالإلكترونات، تدرج أغلب القيم الفيزيائية للأرغون من نقطتي الإنصهار والغليان والكثافة، بين قيم العنصر الحامل الأخف منه (النيون) وعنصر (الكريبتون) الأثقل منه.



شكل 5.1: يوضح رسم توضيحي يصور جهاز تجربة كافنديش

2.2.1 تعريفه :

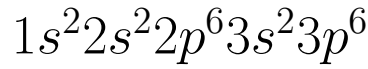
هو عنصر من العناصر الكيميائية، له رمز كيميائي Ar عدده الذري يساوي "18"، ويقع في المجموعة الثامنة عشر والدورة الثالثة من الجدول الدوري، ينتمي في تصنيفه إلى الغازات النبيلة، كما أنه يعتبر غازاً أحادي الذرة، وليس له طعم أو رائحة غاز عديم اللون ذو وميض ليلي، بنفسجي في حالة البلازما، يعد الأرجون من أول الغازات الحاملة التي تم اكتشافها، ويتم العثور عليه بنسب متفاوتة في كل من غلاف الأرض الجوي إضافة إلى وجوده بنسب أكثر في كوكب المريخ، هذا وقد يتم الحصول على هذا العنصر بإعتباره من العناصر الناتجة عن عملية تجزئة الهواء عندما يكون الضغط مرتفعاً. أغلب كمية الأرجون الموجودة على سطح الأرض تظهر على شكل نظير آرغون "40"، حيث ينشأ هذا النظير بفعل عملية التحلل المشع للبتواسيوم، أما في الفضاء فقد يزداد تركيزه بشكل كبير في النجوم، وخاصة عندما تندمج كل من أنوية الهيدروجين أو جسيمات ألفا مع السيليكون.



شكل 6.1: يوضح قارورة متوهجة من الارغون عالي النقاوة (بلازما)

3.2.1 التوزيع الإلكتروني :

يحتوي الأرجون على توزيع إلكتروني بطبقة خارجية مشبعة في الحالة الأساسية :



أما الحالات المؤينة او المثارة فيكون التوزيع الإلكتروني الموافق لها كالتالي :

- آرغون I : $3P^5 4p$
- آرغون II : $3P^5 3d$
- آرغون III : $3P^5 4s$

4.2.1 النظائر :

أكثر نظائر الأرجون إنتشاراً في كوكب الأرض هو النظير آرغون-40 (^{40}Ar) والذي له وفرة طبيعية مقدارها 99.6% في حين أن النظيرين الآخرين آرغون-36 (^{36}Ar) وآرغون-38 (^{38}Ar) لهما وفرة مقدارها 0.34% ، 0.06% ، على الترتيب .
على العموم للأرغون أربعة وعشرون نظيراً معروفاً ، تتراوح أعداد الكتلة لها بين 30 و 53 .

5.2.1 أهميته واستخداماته :

يملك الأرجون العديد من الخواص التي تجعله مفضلاً في عددٍ من التطبيقات، فهو غاز خامل كيميائياً، وعازل حرارياً، كما أنه سهل التوفر ورخيص نسبياً بالمقارنة مع الغازات النبيلة الأخرى:

- ◀ يتم استخدام الأرجون بشكل كبير في صناعة العديد من المواد الغذائية.
- ◀ يدخل في العديد من الصناعات كصناعة الزجاج والإسمنت والكلس.
- ◀ يتم استخدام الأرجون في صناعة المعادن نظراً لقدرته على منع المعدن المنصهر على ملامسة الغلاف الجوي المحيط به.
- ◀ يستخدم الأرجون خاصةً النقي والمركب في إجراء العديد من التحاليل والتجارب الصناعية والطبية.

- ◀ يلعب الأرجون دوراً مهماً في عملية اللحام بالقوس الكهربائي.
- ◀ يتم استخدام الأرجون كغاز خامل لحماية أشباه الموصلات من تأثير الشوائب الغريبة.
- ◀ يستخدم الأرجون في عمليات وتقنيات الليزر.
- ◀ يدخل الأرجون في علاج العديد من الأمراض خاصةً أمراض الدماغ .

- ◀ يتم استخدام الأرجون لطلاء السطوح بالمعادن والغرس الأيوني.
- ◀ تم استخدامه في صناعة العديد من السبائك.
- ◀ يتم استخدام إسطوانات الأرجون في تعبئة وسائد الأمن الهوائية الموجودة في السيارات.
- ◀ يستخدم الأرجون أحياناً في مكافحة الحريق في الأماكن المغلقة الحاوية على تجهيزات إلكترونية، والتي من الممكن أن تتضرر عند إخماد النيران بالماء أو بالرغوة.

6.2.1 خواص غاز الأرجون :

لقد نلخصنا خواص الأرجون في الجدول التالي:

جدول 1.1: يوضح بعض الخواص العامة للأرجون [18]

| | |
|--------------------|--|
| الإسم | Ar |
| الطور | غاز |
| الكثافة | 1.784g/l |
| طاقة التأين I Ar | 1520.6kj/mol |
| طاقة التأين II Ar | 2665.8kj/mol |
| البنية البلورية | مكعب مركزي الوجه |
| البنية المغناطيسية | مغناطيسية معاكسة |
| الناقلية الحرارية | $17.72 \times 10^{-3} W.m^{-1}.K^{-1}$ |
| حرارة الانصهار | 1.18kj/mol |
| حرارة التبخر | 6.63kj/mol |

الخلاصة :

ناقشنا في هذا الفصل عموميات حول الأطياف الذرية من جميع جوانبها فقدمنا بعض التفاصيل المهمة عن الأطياف تعريفها أنواعها وأهم التعريضات وأسبابها، كما تطرقنا الى أشكال الخطوط والطرق المستخدمة في تحليل هذه الأطياف ، كما تطرقنا أيضا للأرجون قمنا بتقديم لمحة عنه وعرفناه

وذكرنا توزيعه الإلكتروني وأهميته و بعض إستخداماته وفي الأخير تطرقنا إلى البعض من خواصه
الكيميائية والفيزيائية .

المراجع

- [1] B.M. Lazhar. Etude des spectres d'émission d'ions de déposition sur couches minces. PhD Thesis. Université de Ouargla-Kasdi Merbah, 2013.
- [2] سميحة ، ب، "دراسة التركيب الجزيئي لرمال كثبان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الحمراء وحيود الأشعة السينية" ، ماستر فيزياء جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2012.
- [3] [http //www.byto.com/vb/showthread](http://www.byto.com/vb/showthread). Ph.
- [4] د ، فواز ، الأطياف في الفلك ، استاذ المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته جامعة دمشق .
- [5] د/ سالم مليباري ، عبد الغني حمزة ، كتاب الكيمياء العامة ، مكتبة الحرمين ، 1987 .
- [6] مالك احمد يونس ، فيزياء الليزر وتطبيقاته ، جامعة البعث 2007 - 2008 .
- [7] W. Demtroder, Atoms Molecules and photons , Springer-Verlag , Berlin Heidelberg , 2006 .
- [8] <https://www.hazemsakeek.net/2001>.
- [9] Moussa .O. cheibetta contribution à la théorie d'élargissement des raies Spectrales émise par les plasma: Application la raie Ly-de l'atome de l'hydrogène Doctorat de 3 ème cycle Université cheikh Anta Diop de Dakar-Sénégal, 2004.
- [10] A.Dinklage .T.klinger .GMark.l.Schweikhard .plasma physic Springer .Berlin 2005.
- [11] W.Demtröder, Atoms Molecules and photons, Springer – Verlag , Berlin Heidelberg, 2006.
- [12] <https://casswww.ucsd.edu/archive/physics/ph5/Stars.html>. Last updated: 2007.
- [13] الموسوعة البريطانية، 1911
- [14] William H. Brock.history of Chemistry.Braunschweig 1997.
- [15] G. Audi, F. G. Kondev, Meng Wang, W.J. Huang, S. Naimi.The NUBASE2016 evaluation of nuclear properties.Chinese Physics.2017.
- [16] <https://www.mindat.org/element/argon>.2005.
- [17] kaye and laby tables of physical end chemical constants. 2005.
- [18] <https://e3arabi.com/>.2019.

الفصل 2

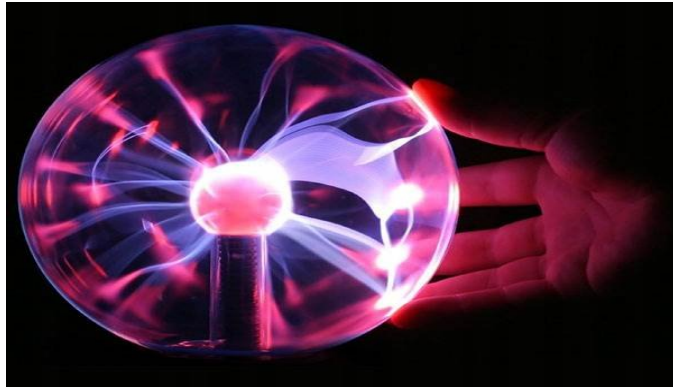
البلازما وتقنية LIBS

1.2 البلازما:

1.1.2 نبذة تاريخية عن البلازما:

سابقا كانت تصنف المادة إلى ثلاث حالات : صلبة - سائلة - غازية، و لكن في سنة 1879م إكتشف العالم الفيزيائي الإنجليزي السير ويليام كروكس الحالة الرابعة للمادة أطلق عليها آنذاك << بالمادة المشعة >> ثم إكتشف العالم البريطاني جوزيف طومسون عام 1897 خصائصها وطبيعتها.

وفي عام 1928أصطلح على هذه المادة المشعة بالبلازما من طرف الفيزيائي الأمريكي ايرفينغ لانغموير لإعتقاده أنها تشبه بلازما الدم لحد ما، إذ رأى من المستحسن إستخدام إسم البلازما لتعريف المناطق الحاوية على شحنات متساوية من الإلكترونات و الأيونات للغاز المتأين المتعادل كهربائيا داخل أنابيب التفريغ ، وعزز ذلك في مقال شهير له (بجوار الأقطاب يوجد أغطية رقيقة تحتوي إلكترونات قليلة، الغاز المتأين يحتوي على أيونات وإلكترونات بكميات متساوية تقريبا مما يجعل ناتج شحن المكان بسيط جدا، يستحسن أن نستخدم إسم البلازما لتعريف المنطقة المحتوية على شحنات متساوية من الإلكترونات والأيونات) [1--3].



شكل 1.2: يوضح شعلة بلازمية تعكس إحدى أكثر ظواهر الهيمولي تعقيدا

2.1.2 تعاريف:

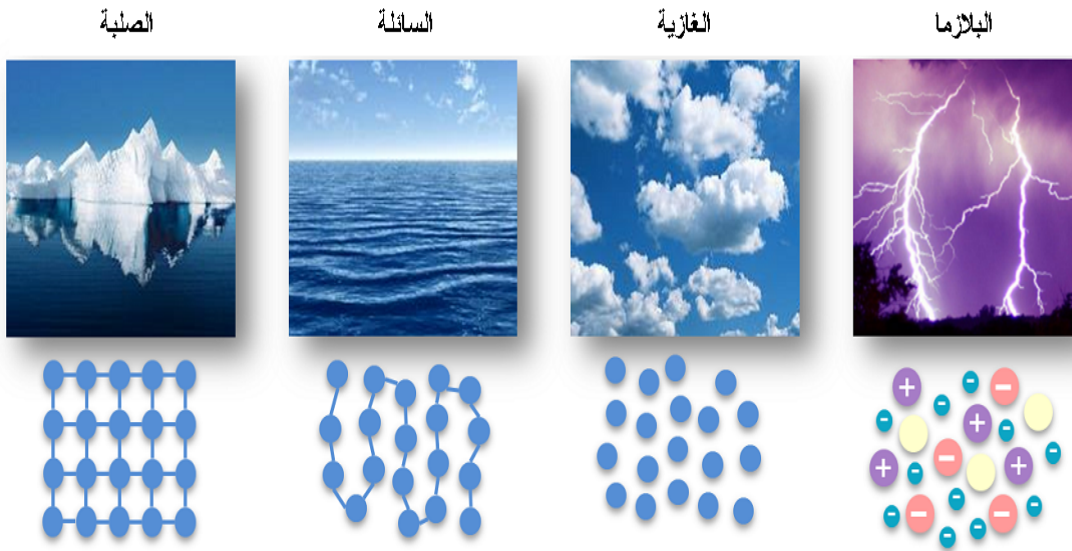
ماهي البلازما؟

تعريف 1: يمكن القول أن البلازما غاز متأين يحوي عددا كبيرا و كافيا من جسيمات مشحونة، تحجب نفسها إلكتروستاتيكا عند مسافة صغيرة [4].

تعريف 2: عندما ترفع درجة حرارة غاز إلى حدود معينة، فإنه لا يظل غازا، بل سيتحول إلى نظام تكون فيه الطاقة الحرارية للجسيمات التي تكونه كبيرة جداً، ذلك أن القوى الكهروستاتيكية التي تربط عادةً الإلكترونات بأنوية الذرات تغلب، فبدلاً من غاز ساخن مكون من ذرات متعادلة كهربائياً، سيكون لدينا مزيج مؤلف من صنفين من جسيمات متعاكسة الشحنة، إلكترونات و ذرات متأينة، هذه هي البلازما لا هي حالة صلبة و لا هي سائلة و لا حتى غازية [4].

تعريف 3: عند تسخين المادة فتتحول من صلبة إلى سائلة إلى غازية، ثم زيادة التسخين تبدأ بالتأين، ذلك أن إلكترونات أو أكثر سيتحرر من كل ذرة من الغاز، يمكن وصف البلازما بأنها تجمع لجسيمات متأينة، تتفاعل جماعياً بالقوى الكهرومغناطيسية البعيدة المدى، والمرتبطة بشحناتها و حركاتها .

تعريف 4: عموماً، يمكن وصف البلازما بأنها جملة إحصائية تحمل شحنات متحركة [4].



شكل 2.2: يوضح نموذج مرئي مبسط للمقارنة بين الحالات الأربع للمادة [17]

3.1.2 تصنيف البلازما:

تم تصنيف البلازما إلى نوعين هما: البلازما الحرارية، البلازما اللاحرارية .

1.3.1.2 البلازما الحرارية :

يتم تسخين الغاز حتى درجة حرارة عالية بما فيه الكفاية للتأين الجزئي أو الكامل، بحيث تكون الإلكترونات والجسيمات الثقيلة في حالة توازن حراري مع بعضها البعض وعليه تصبح :

$$T_e \approx T_i \approx T_n \quad (1.2)$$

حيث:

T_e : درجة حرارة الإلكترونات .

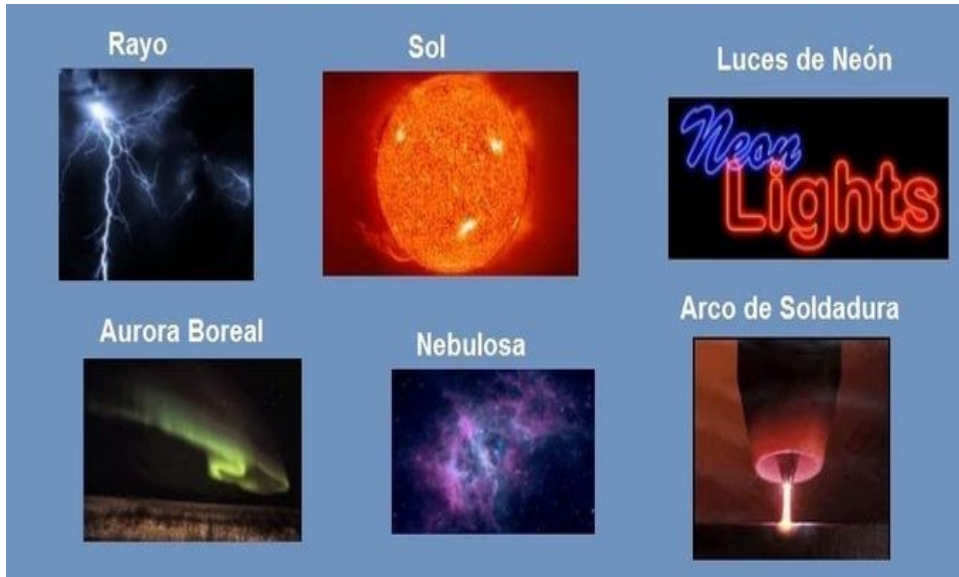
T_i : درجة حرارة الأيونات .

T_n : درجة حرارة الجسيمات المتعادلة .

2.3.1.2 البلازما الكهربائية:

يطلق على البلازما المستحثة كهربائياً "التفريغ الغازي والأيوني"، وبحكم درجة حرارتها المنخفضة يعاملونها على أنها البلازما الباردة، وبالتعريف هي غاز متأين وليس في حالة توازن حراري بحيث أن الإلكترونات الوحيدة هي الساخنة [5]. ونكتب :

$$T_e \gg T_n \quad T_e \gg T_i \gg T_n \quad (2.2)$$



شكل 3.2: يوضح نموذج مرئي يظهر أمثلة عن أنواع البلازما [٥].

4.1.2 أشكال البلازما:

غالبا معظم المواد الموجودة في الكون توجد على شكل بلازما من حيث الكتلة والحجم ، تشكل البلازما نسبة 99٪ من المادة الكونية [6,3] ، والجدول (1.2) يوضح اهم اشكال البلازما :

جدول 1.2: يوضح أشكال البلازما

| بلازما فلكية وفضاء كوني | بلازما طبيعية أرضية | بلازما تصدر عن أجهزة صناعية |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • النجوم (بلازما تسخن بالاندماج النووي) • الفراغ المحيط بين الكواكب • الفراغ المحيط بين النجوم • الفراغ المحيط بين المجرات • الرياح الشمسية • حلقة احد أقمار المشتري • الأقراص الناشئة من تكوين الأجسام النجمية الضخمة | <ul style="list-style-type: none"> • البرق • الصواعق • كرة اللهب • طبقة الغلاف المتأين • عوادم الصواريخ | <ul style="list-style-type: none"> • الشفق القطبي • مصابيح التألُّق (لمبات الفلوريسنت ذات الطاقة الضعيفة، إشارات النيون) • شاشات البلازما • النطاق الموجود أمام الحاجز الحراري لسفن الفضاء خلال دخولها غلاف الأرض الجوي • داخل هالة مولد تفريغ الأوزون • أبحاث الاندماج النووي • مصابيح البلازما تسمي (كرة البلازما) • يستخدم البلازما لحفر رقائق لإنتاج الدوائر الحاسوب و صنع أشباه الموصلات الكهربائية |

5.1.2 قوانين التوازن :

1.5.1.2 توزيع ماكسويل بولتزمان :

$$f(v)d(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{m_e}{2\pi T} \right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{m_e v^2}{2k_B T} \right) \quad (3.2)$$

حيث :

- K_B : ثابت بولتزمان.
- m_e : كتلة الإلكترون.
- v : سرعة الجسم.

2.5.1.2 قانون بولتزمان :

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{g_i}{g_0} \exp\left[-\frac{E_i - E_0}{k_B T}\right] \quad (4.2)$$

حيث :

N_0 : كثافة الذرة في الحالة الأساسية ذات طاقة E_0 .

N_i : كثافة الذرة في الحالة المثارة ذات طاقة E_i .

g_0 و g_i : تمثل درجة التوالد.

3.5.1.2 قانون ساها :

$$\frac{N_e N_i}{N_0} = \frac{g_e g_i}{g_0} \left(\frac{2\pi m_e K_B T}{h^2}\right) \exp\left(-\frac{E_i}{k_B T}\right) \quad (5.2)$$

حيث :

$g_0 \cdot g_e \cdot g_i$: الوزن الإحصائي للإلكترونات والأيونات والذرات المحايدة على الترتيب.

$g_i \cdot g_0$: تعتمد على الأنواع الذرية.

4.5.1.2 قانون بلانك :

يعبر قانون بلانك عن كمية الطاقة المشعة في وحدة الزمن ولكل وحدة مساحة من الجسم الأسود في درجة حرارة T في اتجاه معين، هذه الكمية تتوافق مع الإنارة الطيفية التي تعتمد على درجة الحرارة T والطول الموجي λ . يتم إعطاء وصف الإشعاع الطيفي من الجسم الأسود عند درجة حرارة T ، من قبل قانون بلانك [8,7].

$$I_\nu = \frac{8\pi h\nu^2}{c^2} \left(\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1\right)^{-1} \quad (6.2)$$

6.1.2 أهم المقادير في فيزياء البلازما :

1.6.1.2 طول ديبي :

طول ديبي هو المسافة التي يتم عندها الحجب الكولوني لأي شحنة كهربائية، والمقصود بها حجب شحنة من البلازما بواسطة سحابة من الشحنات المعاكسة، ويمكن فهم هذه المسافة بتصور شحنة موجبة تحيط بها الإلكترونات تخضع لقوتين متعاكستين، قوة التجاذب الكولوني التي تؤثر بها الشحنة الموجبة، وقوة أخرى سببها التهبج الحراري، حيث يعطى طول ديبي بالعلاقة التالية :

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{k_B T}{4\pi e^2 n_e}} \approx 6.9 \sqrt{\frac{T}{n_e}} (cgs) \quad (7.2)$$

حيث :

n_e : الكثافة الإلكترونية وحدتها (cm^{-3}) .

T : درجة الحرارة وحدتها بالكلفن.

عند معالجة أيونات البلازما باعتبارها ساكنةً، فإن إلكترونات البلازما تشكل سحباً شحنية حول الأيونات، تحجب الشحنة الأيونية عند بعد يساوي تقريباً طول ديبي. لطول ديبي أطوال نموذجية تتراوح بين 1 و 10 ميكرومتر، وعموماً فإن للتفاعلات الجماعية دوراً أكثر أهمية من التفاعلات الثنائية في ديناميك البلازما [9].

2.6.1.2 طول موجة ديروغلي الحرارية :

يعطي هذا الطول تقديراً للطبيعة الموجية الكمية لجسيمات البلازما [] ويعرف بـ: [11]

$$\lambda = \left(\frac{2\pi\hbar}{mkT} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8.2)$$

حيث :

m : كتلة الجسيم

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$: ثابت بلانك المختزل.

3.6.1.2 طول لاندو :

يعرف طول لاندو بالطول الحرج للتفاعل الثنائي ويعرف أيضاً بالبعد التقليدي للإقتراب الأديني، وهو يستخدم في تحليل ظواهر التصادم وإرتباطات الموضع في البلازما. [] يعطى بالعلاقة: [10,2]

$$K_B T = e^2 \frac{1}{r_0} \Rightarrow r_0 = \frac{e^2}{k_B T} \quad (9.2)$$

حيث []

r_0 : طول لاندو . e : الشحنة الإلكترونية.

4.6.1.2 درجة تأين الغاز :

تكون الغازات في حالاتها العادية عازلة كهربائياً، وتصير موصلة إذا أخضعت لحقول كهربائية شديدة. تعطى درجة تأين الغاز بـ: [13,12]

$$\alpha = \frac{n}{n_0 + n} \quad (10.2)$$

حيث:

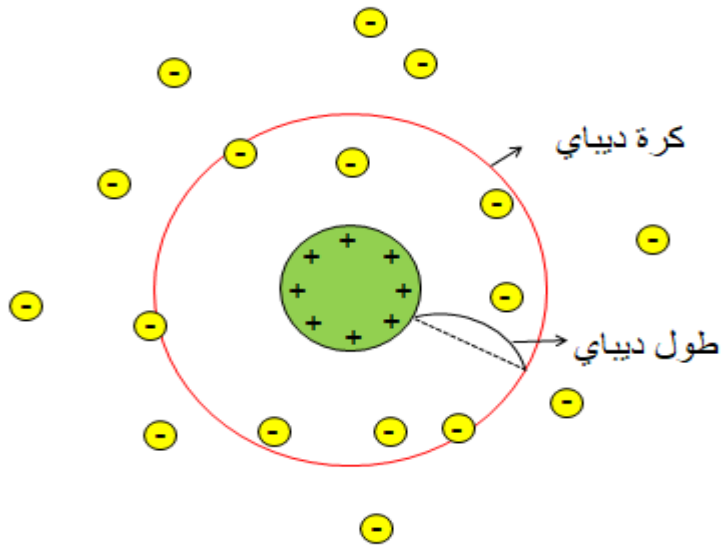
n_0 : الكثافة العددية للجسيمات المحايدة .
 n : الكثافة العددية للإلكترونات .

5.6.1.2 غلاف ديبي :

من السلوكيات الأساسية للبلازما هو قابليتها على إلغاء أي جهد كهربائي يطبق عليها وتحصره في منطقة صغيرة تسمى غلاف ديبي ويمكن تعريفها بأنها معدل المسافة التي يقع فيها تأثير المجال الكهربائي لجسيم مشحون، وهذا يعني أن الجسيمات المشحونة تترتب بحيث تلغي أي مجال كهروستاتيكي خارجي ضمن مسافة تعادل طول ديبي .

6.6.1.2 كرة ديبي :

هي الكرة التي نصف قطرها طول ديبي .



شكل 4.2: يوضح كرة ديبي

7.6.1.2 درجة الحرارة الإلكترونية والأيونية :

درجة الحرارة الإلكترونية T_e تشير لدرجة حرارة الإلكترونات، وتعتبر الأكثر أهمية مقارنة بدرجة حرارة الجسيمات الأخرى (أيونات، جسيمات محايدة) في تحديد الظواهر التي تحدث في البلازما، إذ أن الإلكترونات هي العامل الأكثر فعالية في تأين البلازما، في نظام متوازن ترموديناميكا درجة حرارة الإلكترونات تحقق المعادلة التالية : []

$$E_c = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{3}{2}k_B T_e \quad (11.2)$$

حيث :
 E_c : الطاقة الحركية.
وتعتبر هذه المعادلة عن تساوي الطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات مع طاقة التحريض الحراري.

7.1.2 الإشعاع في البلازما :

إن الكشف عن البلازما ودراستها يتم بملاحظة إشعاعها الكهرومغناطيسي المنبعث عنها، إن كان ضوء، أشعة سينية، موجات راديوية...، إن هذا الإشعاع ليس مرتبطاً فقط بخصائص مشع معزول بل أيضاً بخصائص البلازما المحيطة به.
تعد الخطوط الطيفية للإمتصاص والإنبعاث مفيدة لتشخيص الكثافة ودرجة الحرارة في البلازما. []

2.2 تقنية LIBS:

1.2.2 مقدمة:

عندما اخترع العالم ثيودور ميمان أول نبضة ليزر في عام 1960، فإن البعض وصف هذه التقنية على أنها الحل الذي يبحث عن مشكلة، ولكن العلماء بسرعة إكتشفوا أن الليزر ليس مجرد هواية وإنما له الكثير من التطبيقات العملية، الأطباء اليوم يستخدمون أشعة الليزر لإصلاح قرنية العين، وتبيض وإزالة الوشم ويستخدم الليزر أيضاً كمشط دقيق جداً، كما أن الصناعات الإلكترونية تستخدم الليزر في الكثير من التطبيقات مثل قارئ الباركود (*bar - code*) وأنظمة التخزين الضوئية وفي طابعات الكمبيوتر، كما تستخدم طاقة الليزر العالية في ثقب أحجار الماس وقطع المواد الخفيفة كالبلاستيك والمواد الثقيلة مثل التيتانيوم... الليزر مهم بشكل خاص في مجال التحليل الطيفي المستخدم من قبل الكيميائيين والفيزيائيين، إن الخبراء في علم الكيمياء التحليلية طوروا تقنيات تمكن من تحديد المركب الكيميائي للمادة وبواسطة هذه التقنيات تمكن العلماء من قياس الخصائص الفيزيائية، مثل الكتلة ومعامل الإنكسار والتوصيل الحراري، وبعض التقنيات الأخرى تعتمد على الشحنة الكهربائية والتيار الكهربائي لتساعد في التعرف على المركبات الأساسية للمادة، وهناك المزيد من التقنيات لقياس مقدار الإمتصاص والإنبعاث والتشتت للإشعاع الكهرومغناطيسي، وهذه التقنية تعرف بعلم السبكتروسكوبي أي علم الأطياف.

2.2.2 أهم الأجهزة المستخدمة في التحليل الطيفي للبلازما:

هناك أنواع عديدة من الأجهزة الحديثة المستخدمة في التحليل الطيفي للبلازما نذكر منها مايلي:

1.2.2.2 المطياف الضوئي:

هو جهاز يستخدم للحصول على طيف نقي بتحليل الضوء إلى مكوناته المرئية وغير المرئية، يتكون هذا الجهاز من مصدر ضوئي أمامه فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم في إتساعها بواسطة مسمار محوري وتوجد الفتحة عند بؤرة عدسة محدبة ، كما يحتوي على منضدة قابلة للدوران موضوع فوقها مشور ثلاثي من الزجاج ، كما به تيلسكوب مكون من عدستين محدبتين هما الشيئية والعينية. تضاء الفتحة بالضوء الأبيض المراد تحليله فيسقط على أحد أوجه المشور، يتم ضبط المشور في وضع النهاية الصغرى للانحراف ثم نوجه التلسكوب لإستقبال الأشعة النافذة من المشور، تعمل العدسة الشيئية على تجميع أشعة كل لون في بؤرة خاصة فيمكن رؤيتها بالعدسة العينية، هناك أجهزة أخرى تعرف بإسم المطياف البياني والذي يصور الطيف الناتج على فيلم .()



شكل 5.2: يوضح مطياف ضوئي

2.2.2.2 مطياف الكتلة البلازمية المتولدة بالحث :

(ICP - MS) هو أحد أنواع مطياف الكتلة الذي يستخدم بلازما متولدة بالحث لتؤين العينة، يفتت الجهاز ذرات العينة ويشكل ذرات وأيونات صغيرة متعددة الذرات تُكشف بعد ذلك، وهو معروف ويستخدم لقدرته على كشف المعادن والعديد من المواد غير المعدنية في العينات السائلة بتراكيز منخفضة للغاية، يمكنه الكشف عن النظائر المختلفة لنفس العنصر، ما يجعله أداة متعددة الإستعمالات في الوسم النظيري. بالمقارنة مع مطيافية الإمتصاص الذري، يتميز ICP - MS بسرعة ودقة وحساسية أكبر. ولكن، بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من أجهزة مطياف الكتلة، مثل مطياف الكتلة التأييني الحراري (TI - MS) والتفريغ التلقيني (GD - MS) يدخل (ICP - MS) العديد من أنواع العناصر المتداخلة والتي تتمثل في الأرغون من البلازما والغازات المكونة للهواء التي تتسرب عبر الفتحات المخروطية والتلوث من الأواني الزجاجية والمخاريط.



شكل 6.2: يوضح مطياف الكتلية البلازمية المتولدة بالحث

3.2.2.2 تقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر LIBS :

علم الأطياف القائم على استخدام الليزر أصبح الآن أداة أساسية في علم التحليل مثل أطياف رامان، الوميض ، الإنتزاع بواسطة الليزر المصحوب بإنبعث طيفي من البلازما الناتجة وتقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر LIBS وهي مختصر لـ (*Laser-Induced-Breakdown Spectroscopy*) وهي ماسنقوم بالدراسة حوله في هذه المذكرة .

التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر أو ما يطلق عليه LIBS يعتبر تقنية متقدمة ومهمة، حيث بها يمكن تحليل المواد الصلبة والسائلة والغازية والحصول على نتائج بسرعة كبيرة، بدون أن تسبب أي ضرر يذكر للعينة. ليس هذا فحسب بل إنها ممكن أن تعمل على مسافة أكبر نسبيا من التقنيات الأخرى التي تتطلب إحضار العينة إلى المختبر لتحليلها. فعلى سبيل المثال يمكن استخدام LIBS للكشف على الأسطح الملوثة بالإشعاع النووي. حيث يمكن تثبيت جهاز الليزر على بعد أمتار من جدران المفاعل النووي والحصول على نتائج مرضية. وتسمح هذه التقنية بالعمل خلف جدار واقى من الإشعاع بالإعتماد على المرايا والعدسات لتوجيه شعاع الليزر للمنطقة المراد فحصها. **كيفية عمل هذه التقنية:**

الآن سوف نقوم بشرح فكرة عمل تقنية LIBS حيث تتكون من أربعة أجزاء أساسية وهي على النحو الموضح في الشكل (7.2) وسوف نقوم بشرح كل جزء على حدى :

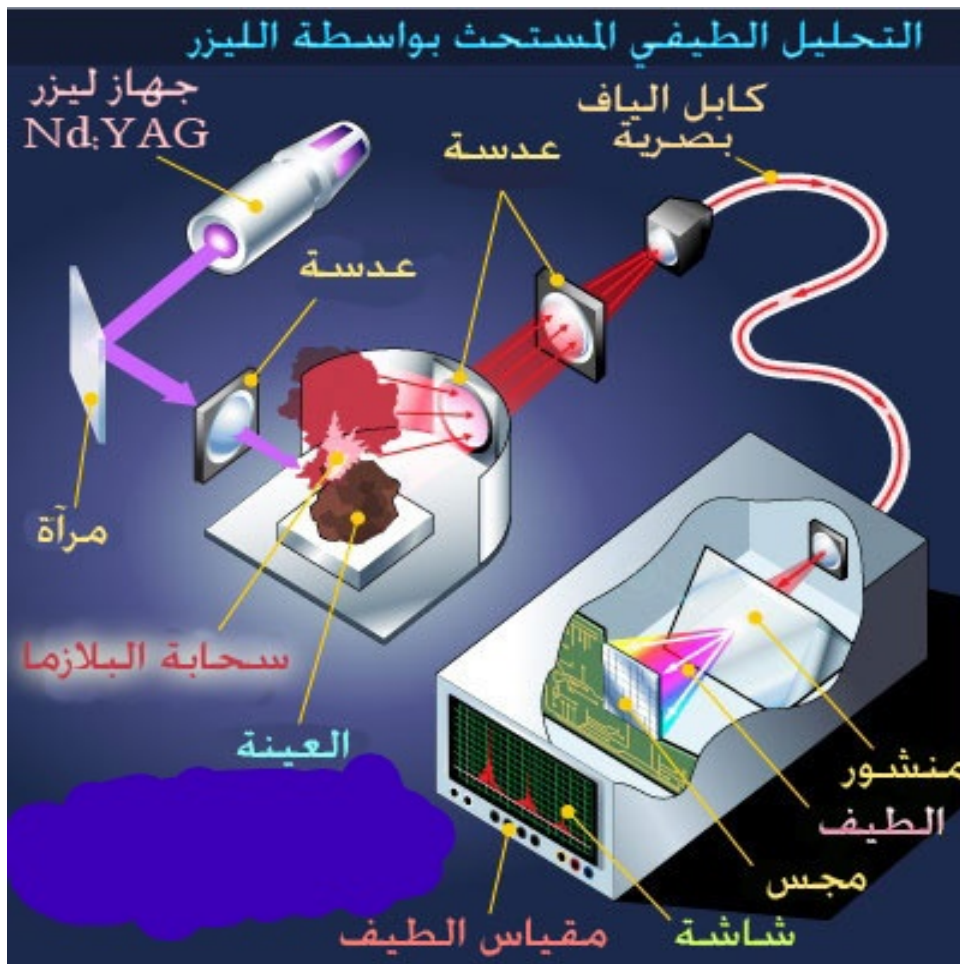
(1) الجزء الرئيسي وهو الليزر بالطبع، ويستخدم LIBS ليزر *Nd : YAG* الذي طوله الموجي $1064(nm)$ ، ولكن تجدر الإشارة إلى أن أنواع أخرى من الليزر تم إستخدامها أيضا، يعمل الليزر بنظام النبضات كل نبضة تصل إلى العينة يكون لها زمن يتراوح من 5 إلى 20 نانوثانية.

(2) يمر شعاع الليزر عبر عدسة تقوم بتجميع طاقة الليزر على العينة، بعض الأنظمة تعمل في المختبر مثبتة على مقعد خاص يحتوي على العينة داخل مفرغة هواء، ولكن بعض الأنظمة الأخرى تكون محولة ويمكن نقلها إلى المكان الذي فيه العينة المراد فحصها، وعلى كل الأحوال فإنه كلما

كان تركيز أشعة الليزر أكبر كلما كانت الطاقة اللازمة لإنتزاع الإلكترونات من سطح العينة أقل، كل نبضة من نبضات الليزر تحمل طاقة في حدود 10 إلى 100 ملي جول، وهذه الطاقة كافية لإنتزاع بعض جسيمات المادة، وهذه الجسيمات تكون متأينة وتكون ما يعرف بإسم سحابة البلازما.

(3) تتمدد سحابة البلازما المكونة من الغاز المتأين وخلال فترة زمنية في حدود ميكروثانية تبدأ الذرات في الإسترخاء، وتنتقل إلى المدارات الأرضية مطلقة فوتونات ضوئية تعرف باسم طيف الإنبعث، تسقط هذه الفوتونات الضوئية على عدسات تجمعها وتركزها على نظام من الألياف البصرية، حيث هنا يقوم نظام الألياف البصرية بنقل الضوء إلى المطياف.

(4) يحتوي المطياف على موشور، يعمل على تشتيت الضوء حسب طوله الموجي وتقوم كاميرا خاصة بتسجيل الطيف لمزيد من الدراسة والتحليل، وبادارسة الأطوال الموجية للضوء المنبعث ومقدار شدته .



شكل 7.2: يوضح تقنية LIBS

و الملاحظ هنا أن هذه التقنية تتميز بالعديد من الخصائص والميزات التي تجعلها من أفضل تقنيات التحليل الطيفي حيث أن العينة لا يلزم لها أي تجهيزات مسبقة كما أن التقنية غير مكلفة

وإستخدامها سهل ويمكن إستخدامها لتحديد مكونات عناصر أي نوع من العينات، هذا بالإضافة إلى أن هذه التقنية لا تحدث أي ضرر على العينة تحت الفحص لأن ما ينتزعه الليزر من سطح المادة غير مرئي .

الخلاصة :

ناقشنا في هذا الفصل البلازما وذكرنا انواعها وأشكالها كما نلخصنا بإيجاز اهم المقادير في فيزياء البلازما من مختلف جوانبها، بالإضافة الى اهم القوانين التي تتحكم في البلازما كما نلخصنا بإيجاز أهم المقادير في فيزياء البلازما ، كذلك ناقشنا في هذا الفصل تقنية LIBS فتحدثنا عن الليزر كنبذة تاريخية في المقدمة ثم تطرقنا الى أهم الاجهزة المستخدمة في التحليل الطيفي للبلازما ثم توسعنا في التقنية جيدا حيث عرفناها وذكرنا و طريقة عملها .
وفي الفصل الموالي سنقوم بتحليل أطياف بلازما الأرغون المتولدة بواسطة الليزر وذلك بإجراء محاكات عديدة بلغة الفورترون لدراستها.

المراجع

- [1] وليد مصطفي ، ص، مقدمة في فيزياء البلازما، كتاب ، جامعة سلطنة عمان، 2006.
- [2] إسماعيل، ش، رسالة دكتوراه في الفيزياء ، جامعة قسنطينة ، 2005.
- [3] [http //www.plasma.org/rot-plasmas.htm](http://www.plasma.org/rot-plasmas.htm).
- [4] Basic Principles of Plasma Physics ,Cummings Publishing , Reading ,Massachusetts,1973.
- [5] سليمة، ق ، "إستخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال التوزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الموضوعي الايوني في البلازما" ، أطروحة دكتوراه علوم، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، 2013.
- [6] J.J. Thomson, Philosophicall Magazine, 44, p.293, 1897.
- [7] Takashi Fujimoto, Department of Engineering Physics and Mechanics Graduate School of Engineering Kyoto University, Clarendon Press,Oxford 2004.
- [8] فلاديمير كارتسيف بيزترخازانوفسكى، آلاف السنين من الطاقة، ترجمة علم المعرفة، الكويت - 1994.
- [9] محاضرات في فيزياء البلازما لدكتور رعد العزاوي الربيعي 2019 .
- [10] سهيلة، ع ، 'حساب دوال توزيع مشتقات الحقول الموضوعية وتطبيق على طيف الهليوم' ، رسالة ماجستير، المركز الجامعي بالوادي، 2011.
- [11] Langmuir, I. Oscillations in ionized gases. Proc. Nat. Acad. Sci.U.S.,vol.14p.628 .1928.
- [12] Jean-Loup Delcroix et Abraham Bers , "Physique des plasmas", Inter Editions / CNRS. Editions, 1994.
- [13] J.L. Delcroix et A . Bers,physique des plasmas I+II Inter Edition/ CNRS Editions, 1994.
- [14] <https://www.hazemsakeek.net> // 2009.
- [15] Berry. J. E Trace metal analysis by laser ablation-inductively coupled plasmamass spectrometry and x-ray K-edge densitometry of forensic samples. United States: N. p. Web. doi:10.2016.2172/1342573.

[16] Montaser. A. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry . wiley-vch .1992.

[17] <http://ellmarifa.blogspot.com/blog-post-12.html>.2016.

الفصل 3

التحليل الطيفي لبلازما الأرجون وحساب درجة الحرارة الإلكترونية

سنتطرق في هذا الفصل إلى تحليل الأطياف التجريبية الصادرة عن الوسط الذري الذي تشكلت به البلازما نتيجة تأين غاز الأرجون بواسطة الليزر ، وذلك إنطلاقاً من تحضير قاعدة المعطيات الذرية للأرجون وبعض الشوائب الموجودة في الهواء (الكربون ، الآزوت ، الهيدروجين ، الأوكسجين) ، ومن ثم كتابة البرنامج العددي بلغة الفورترن وحساب الأطياف النظرية ورسمها ومقارنتها مع الأطياف التجريبية كما سنهتم كذلك بحساب درجة الحرارة الإلكترونية لبلازما الأرجون ، وقبل كل هذا سنتطرق أولاً إلى توضيح التجربة التي من خلالها تحصلنا على الأطياف التجريبية المراد دراستها.

1.3 التجربة :

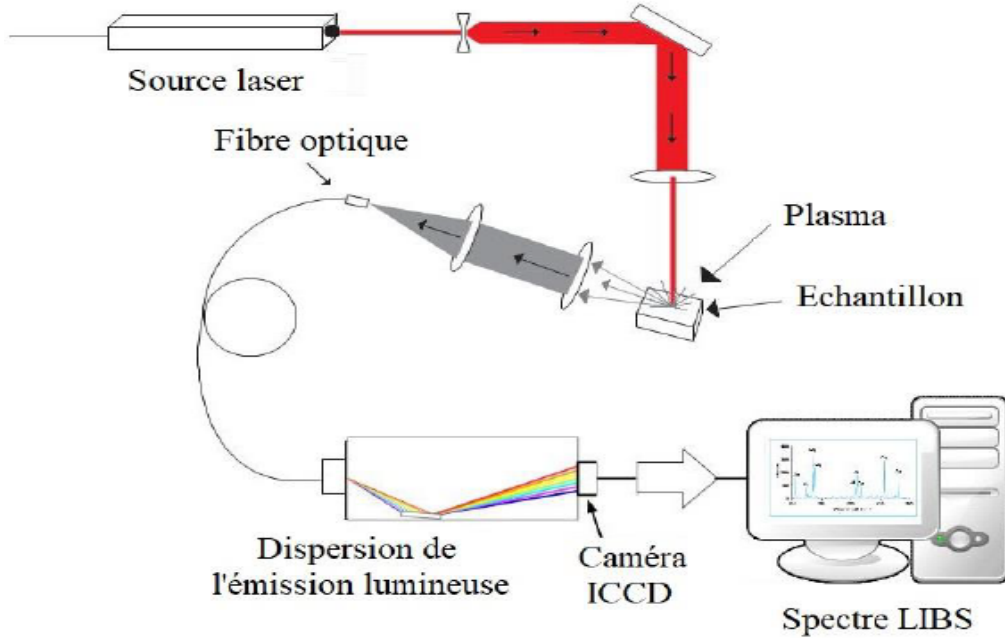
أجريت هذه التجربة على عينة من التربة حيث تم تبخيرها ، ثم تسليط جهاز الـ *LIBS* نوع (*Z-300*) ذو النطاق الطيفي (200 إلى 900 نانومتر) على العينة يعمل هذا الليزر بنظام النبضات ، حيث يساهم هذا الأخير في إثارة وتأيين البخار الموجود على سطح العينة ، مما يؤدي إلى بدء ظهور بلازما دقيقة يتم فيها إثارة جميع الأنواع الموجودة عن طريق الإصطدام بالإلكترونات الحرة للبلازما وكذلك إشعاعياً .



شكل 1.3: يوضح واجهة مستخدم جهاز كمبيوتر ال Z-300 .

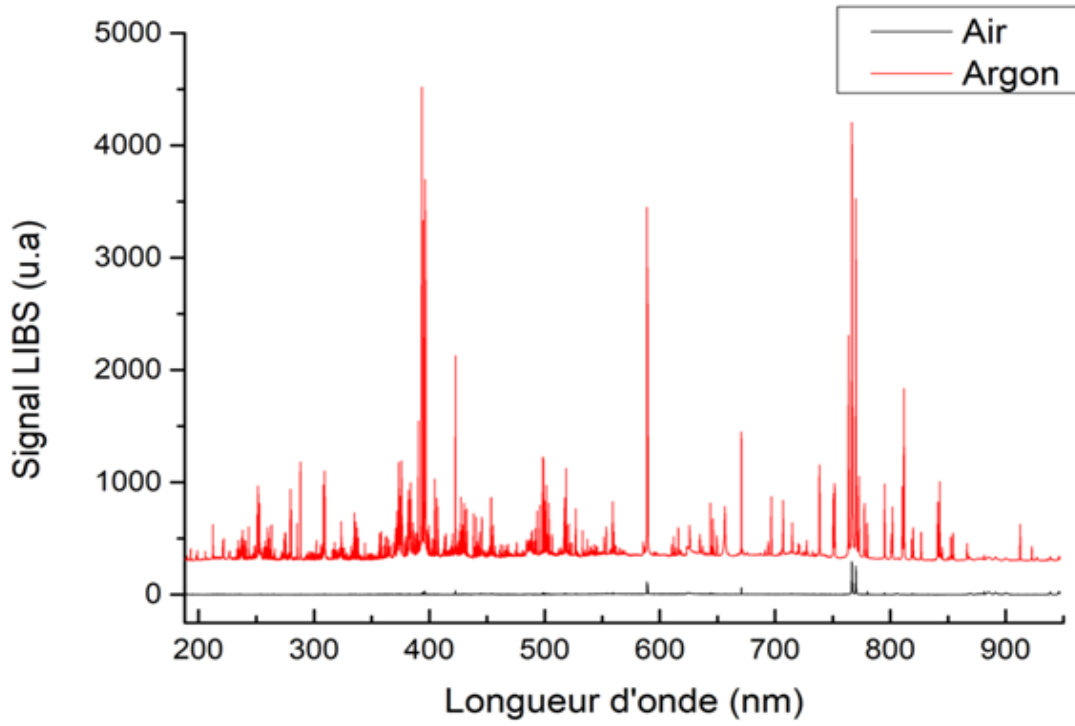
تنفصل الذرات والأيونات الموجودة بداخل العينة عن طريق إصدار إشعاع مميز يتم جمعه بواسطة عدسة مقربة ثم ينقل بواسطة ألياف بصرية إلى المطياف حيث يحتوي المطياف على موشور يعمل على تشتيت الضوء حسب طوله الموجي فيقوم الكمبيوتر بتسجيل الطيف بكاميرا ورسمه لدراسته كما هو موضح الشكل 1.3 .

مخطط التجربة التي تحصلنا من خلالها على الطيف التجريبي

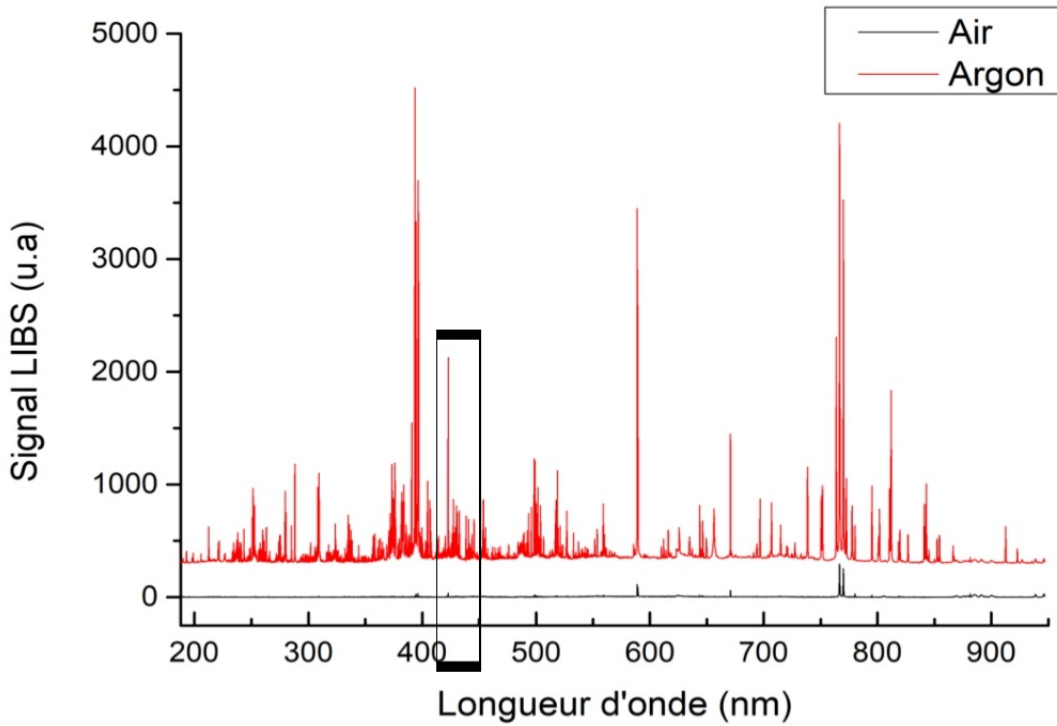


شكل 2.3: يوضح وصف تخطيطي وتوضيحي لتحليل LIBS

الطيف التجريبي



شكل 3.3: يوضح الطيف التجريبي للآرغون في المجال [200-900] nm



شكل 4.3: يوضح الطيف المراد دراسته في المجال [424-436] (nm)

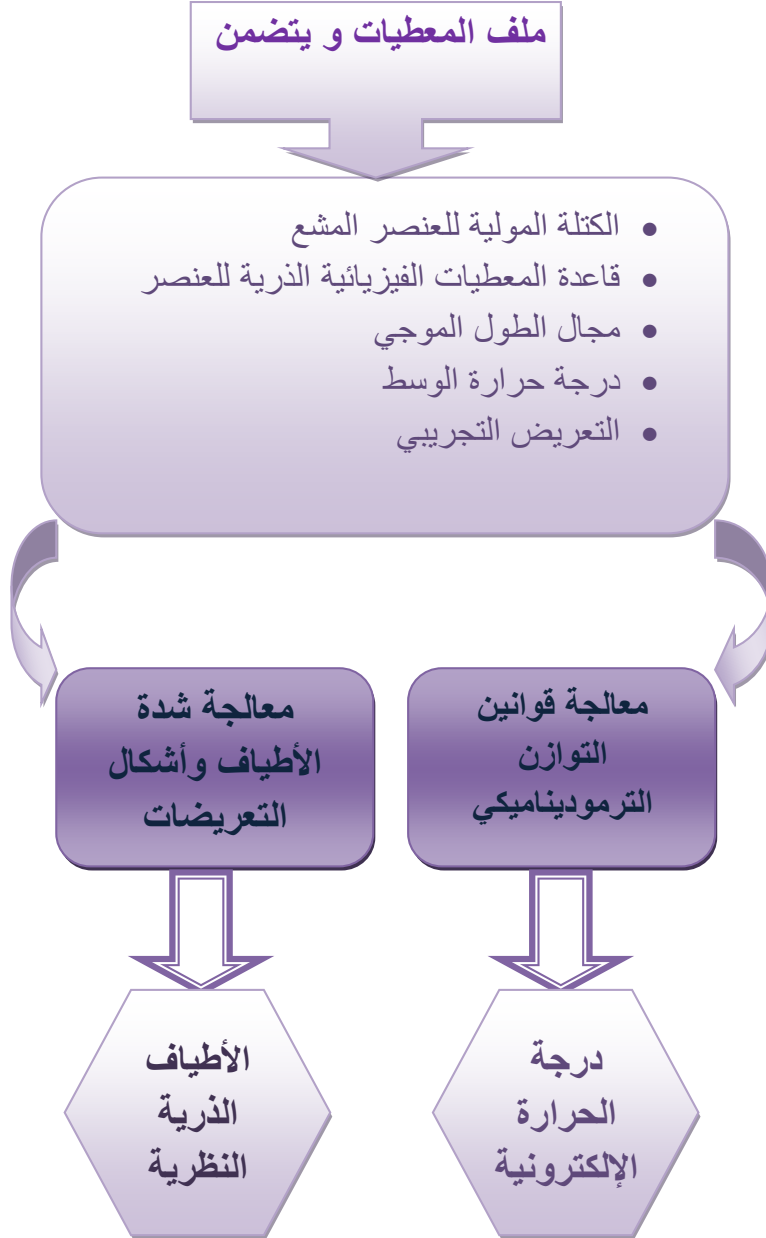
2.3 تحليل الطيف التجريبي :

هنا سنحلل فقط الجزء المحدد بالإطار والذي يكون ضمن مجال الطيف المرئي من 424 (nm) الى 436 (nm) ، حيث نلاحظ خطين لهما شدة عالية مقارنة ببقية الخطوط الطيفية الأخرى ، الخط ذو الشدة الأكبر يقع في المجال [425,428] (nm) أما الثاني فيقع بين [429,432] (nm)

3.3 دراسة الأطياف التجريبية:

لدراسة الأطياف التجريبية الناتجة عن عينة الآرغون سنقوم برسم أطياف الآرغون والشوائب نظريا وذلك انطلاقا من قاعدة معطيات الفيزياء الذرية (NIST) وباستخدام البرنامج العددي الذي تم إعداده بلغة الفورترن وهذا البرنامج مبني على المعادلات التالية :

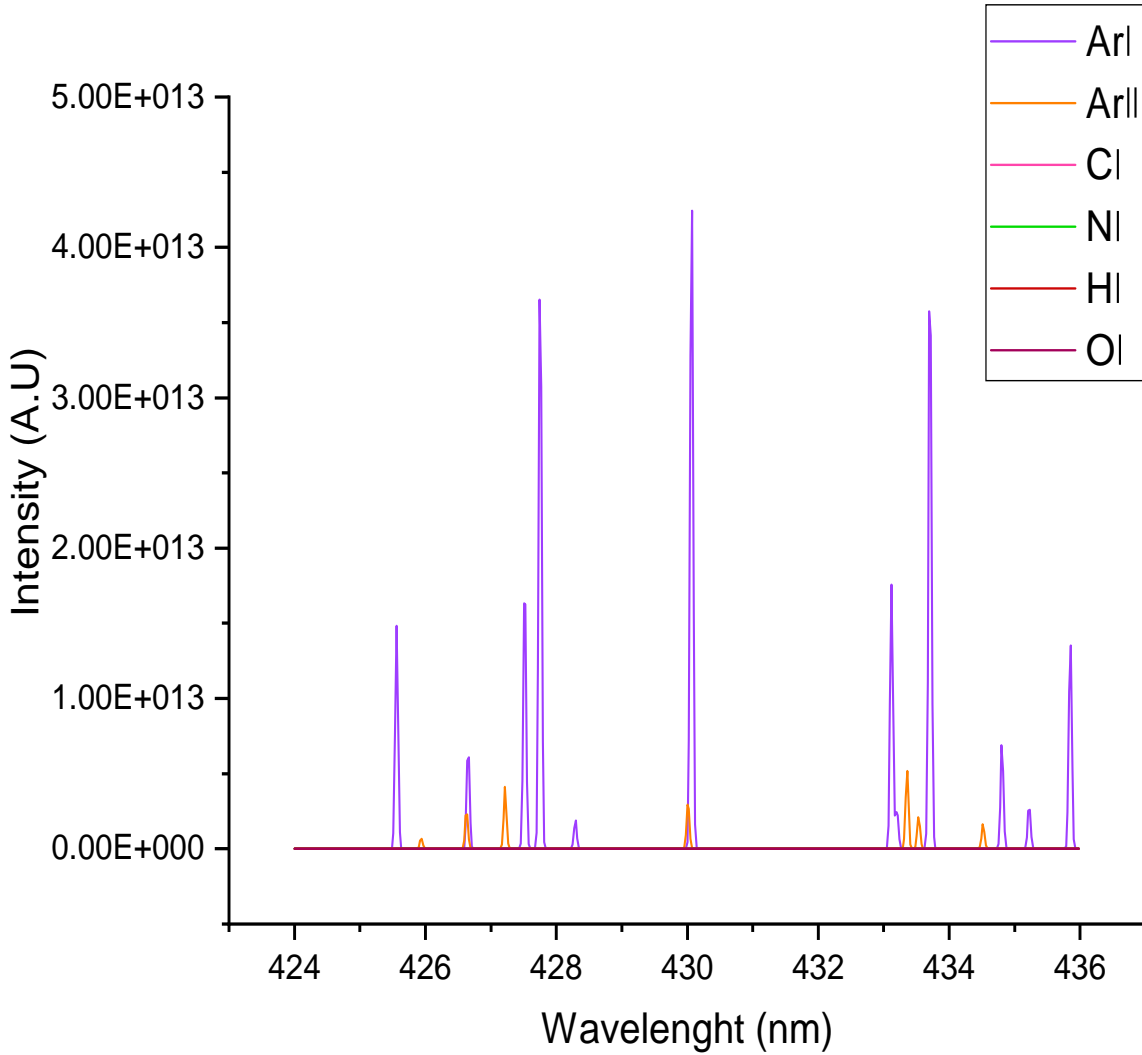
- توزيع ماكسويلبولتزمان
- توزيع بولتزمان
- قانون ساها
- قانون دالتون
- قانون الحصييلة الحيادية للبلازما
- قانون انحفاظ المادة
- التعريض الطبيعي
- تعريض دوبلر
- مفعول ستارك
- تعريض التصادمات
- التعريض التجريبي شكل غوص
- التعريض التجريبي شكل لورنتز
- قانون التعريض المراكب (شكل فوايت)



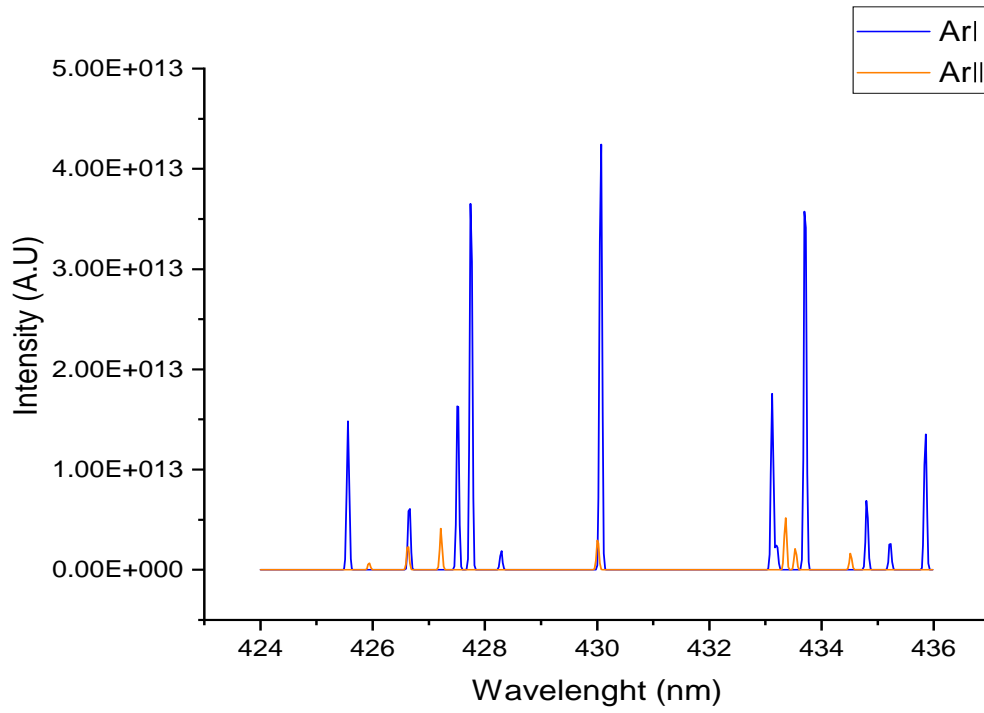
شكل 5.3: يمثل مخطط توضيحي للبرنامج الرقمي

4.3 رسم أطياف الأرجون وبعض الشوائب :

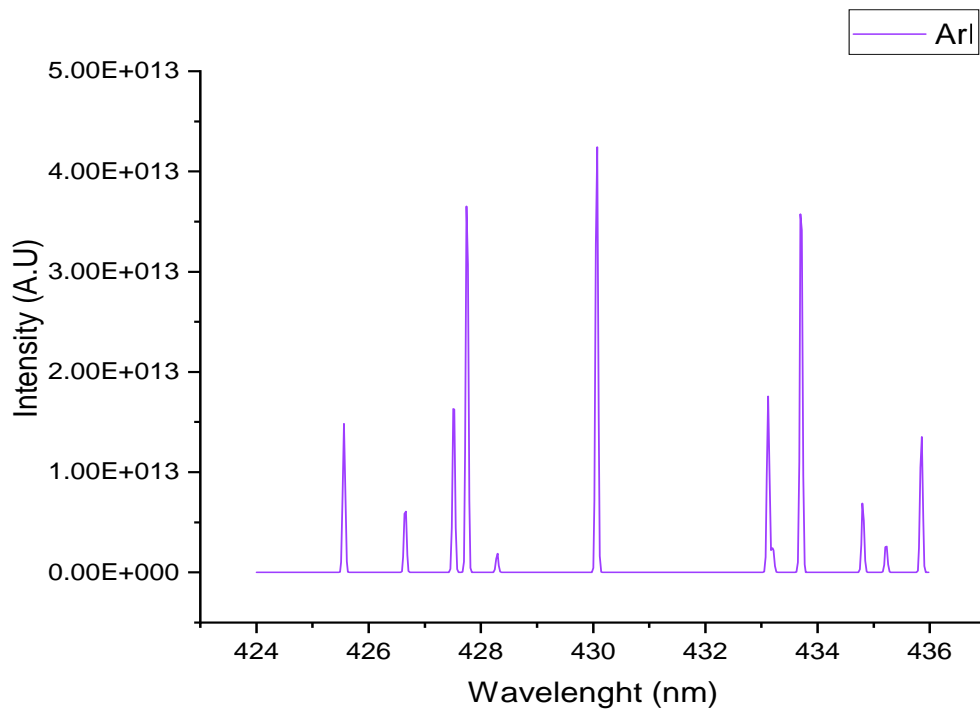
نقوم برسم الأطياف النظرية لغاز الأرجون وكذلك الأرجون المؤين مرة واحدة بالإضافة الى بعض الشوائب المتوقع وجودها في الهواء ، كل هذا بالاعتماد على قاعدة المعطيات الدولية للفيزياء الذرية *NIST* وبفرض إن الوسط في حالة توازن تروديناميكي محلي .
كل الأطياف النظرية المحتملة محسوبة بالبرنامج العددي فورترن ضمن المجال من 424 nm و 436 nm



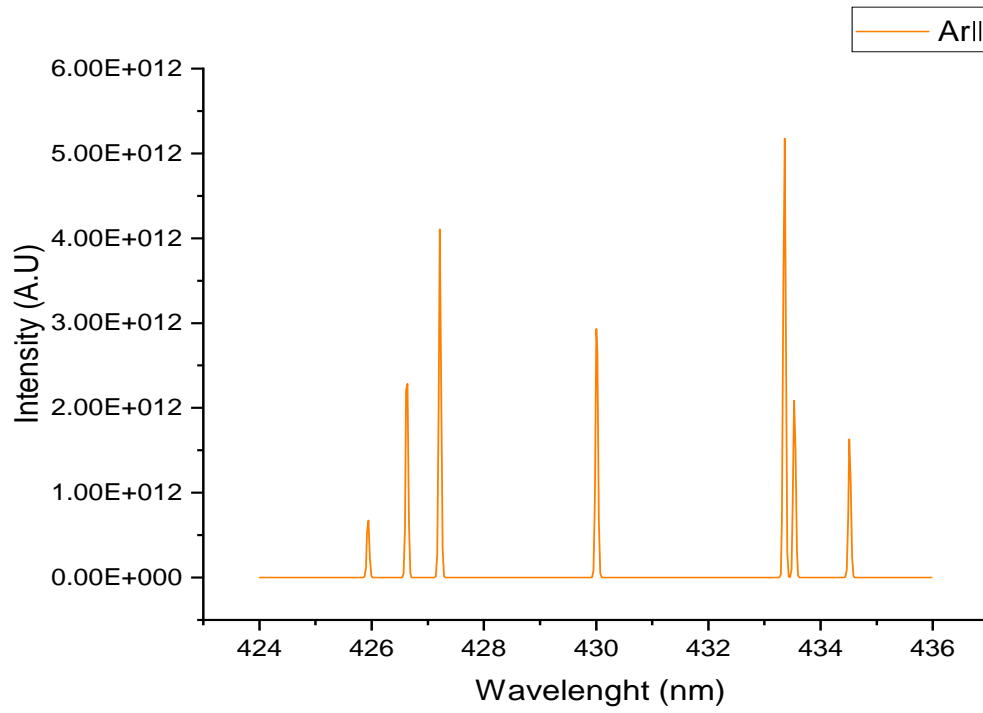
شكل 6.3: يوضح الطيف النظري لـ (*ArI, ArII, Cl, NI, OI, HI*)



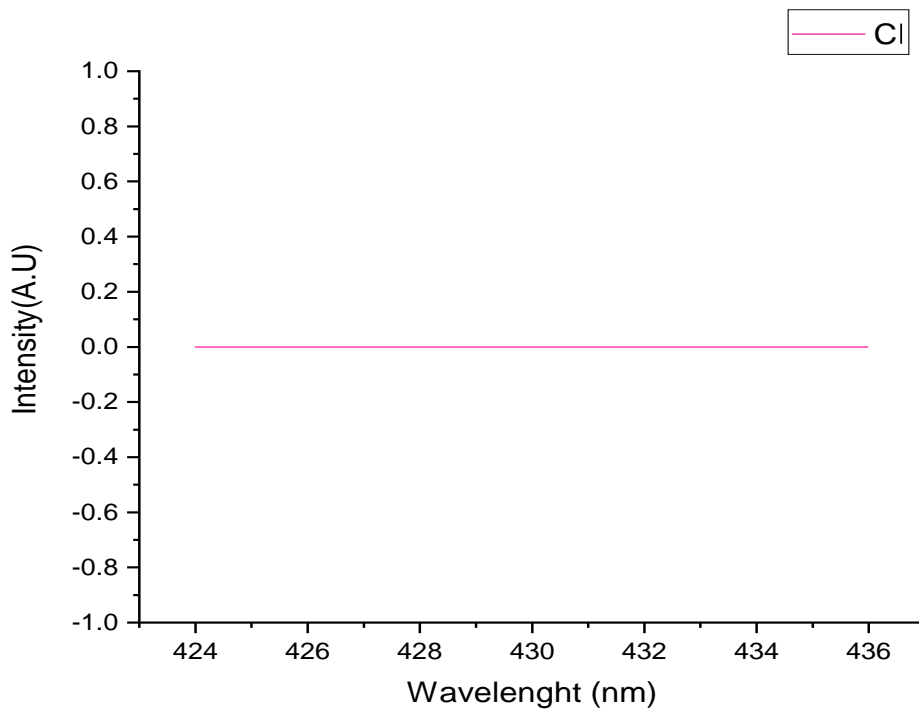
شكل 7.3: يوضح الطيف النظري لـ (ArI, ArII)



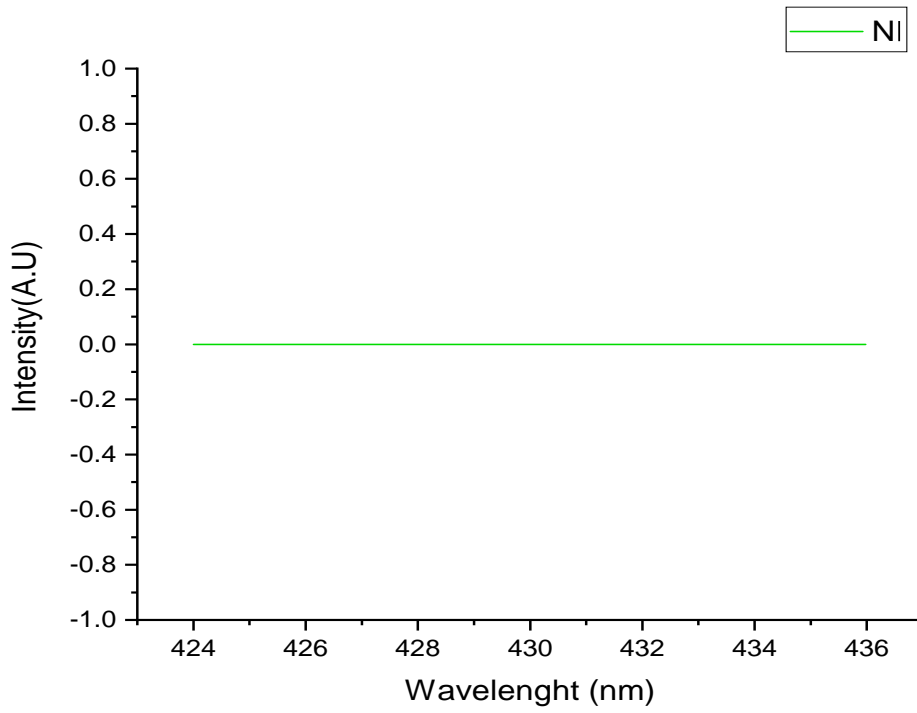
شكل 8.3: يوضح الطيف النظري لـ (ArI)



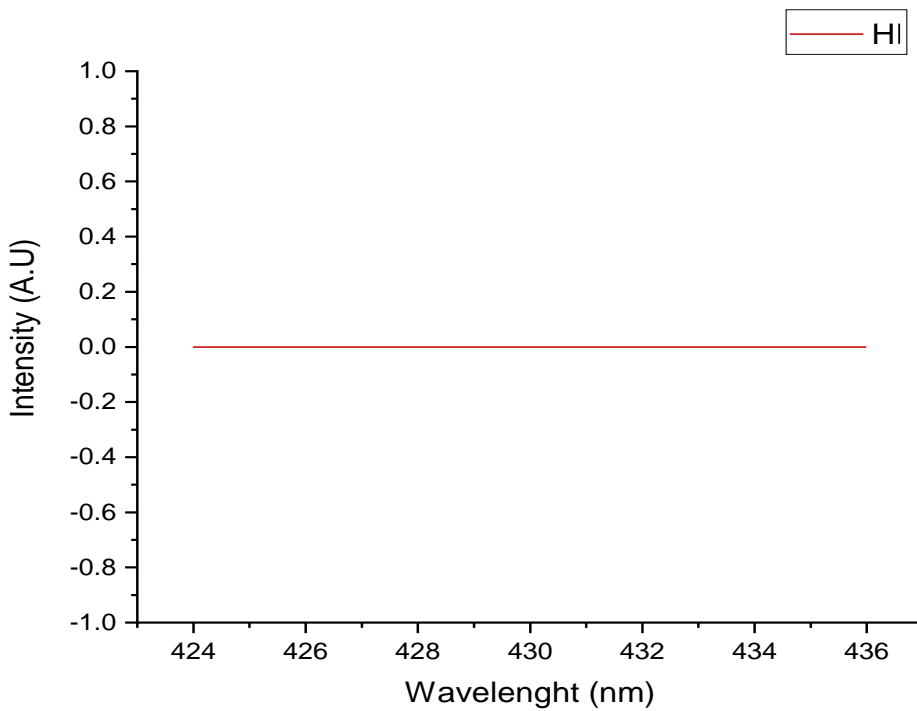
شكل 9.3: يوضح الطيف النظري لـ (ArII)



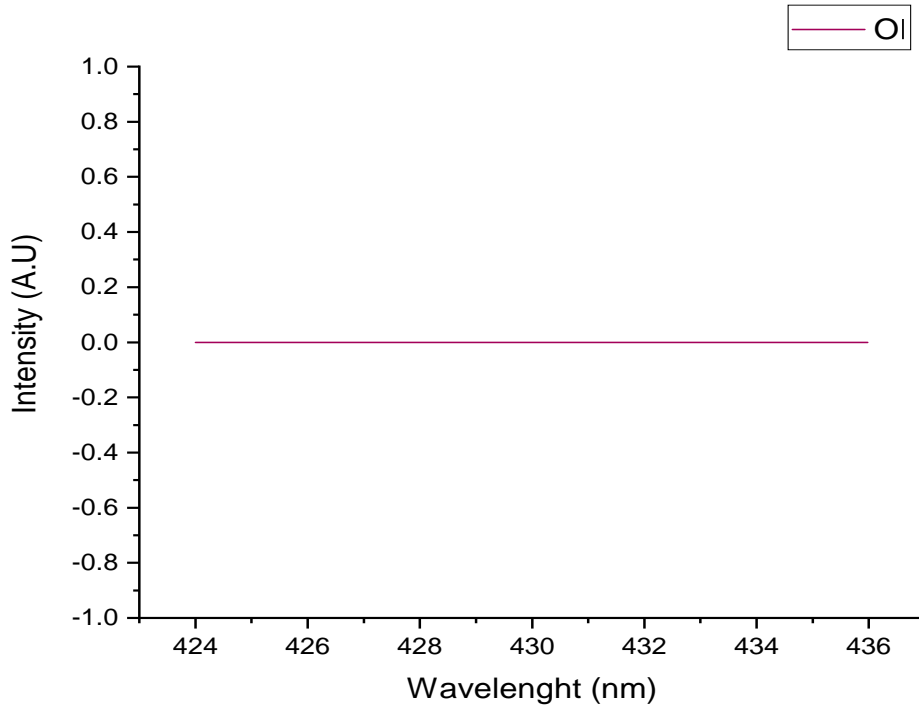
شكل 10.3: يوضح الطيف النظري لـ (Cl)



شكل 11.3: يوضح الطيف النظري لـ (NI)



شكل 12.3: يوضح الطيف النظري لـ (HI)



شكل 13.3: يوضح الطيف النظري لـ (OI)

ملاحظة: نلاحظ عدم وجود أي إصدار طيفي في هذا المجال للأوكسجين والنيتروجين وكذا الكربون والهيدروجين .

5.3 العناصر الكيميائية المسؤولة عن الإصدارات الطيفية:

بعد المقارنة بين الأطياف النظرية والأطياف التجريبية ، توصلنا الى أن الإنتقالات الأكثر شدة ووضوح مصدرها ذرة الآرغون في الحالة الأرضية (ArI) ، أما الآرغون المؤين مرة واحدة ($ArII$) فقد تم تسجيل آثار إصدار طيفي له ، والجدول التالي يحتوي المعطيات الذرية لأهم الإنتقالات المسجلة :

6.3 حساب درجة حرارة الوسط T :

هناك عدة طرق في تحليل الأطياف والتي بواسطتها نستطيع حساب درجة الحرارة الإلكترونية للوسط ، ومن اجل حساب هذه الأخيرة سنختار طريقة بولتزمان التي تعتمد حساب نسبة الشدة بين الخطين الطيفيين .

ولقد تم إختيار الانتقالين من الطيف النظري للآرغون الأساسي تبعاً للأسس التالية :
* النسبة بين الانتقالين تكون أكثر إستقراراً .

- * مستوى طاقة الإنتقالين متباعداً بشكل واضح وكافي .
- * موقع إصدارات الإنتقالين بعيد عن إصدارات الأرجون المؤين والشوائب .

جدول 1.3: يمثل المعطيات الذرية الخاصة بإنتقالات الأرجون المستخدمة في قانون بولتزمان .

| $E_k(eV)$ | g_k | $A_{ki}(s^{-1})$ | $I_{exp}(u.a)$ | $\lambda(nm)$ | العنصر | الرقم |
|-------------|-------|------------------|----------------|---------------|--------|-------|
| 11.62359272 | 3 | $8.0e + 05$ | $3.65 + 013$ | 427.2169 | ArI | 1 |
| 14.50606764 | 5 | $3.1e + 05$ | $4.25 + 013$ | 430.0101 | ArI | 2 |

لإيجاد درجة الحرارة نقوم أولاً بحساب النسبة بين شدة الطيفين المحددين بالجدول السابق .

$$R = \frac{I_{ij}}{I_{kl}}$$

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

ومنه

$$K_B T = \frac{E_k - E_i}{\ln\left(\frac{R \cdot g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{kl}}{g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{ij}}\right)} \quad (1.3)$$

$$T_e = K_B T = 2.61ev$$

$$T_e = 30243k \text{ ومنه}$$

7.3 مناقشة النتائج :

بعد الدراسة التي قمنا بها تحصلنا في الاخير على نتائج جيدة حيث وجدنا الأطياف التجريبية متوافقة مع الاطياف النظرية المحسوبة بالبرنامج العددي الفورترن فلاحظ العديد من الاطياف ذات شدات وتعريضات معتبرة في كل من الطيفين النظري والتجريبي وهي على التوالي : -425.11 -425.93 -426.62 -427.21 -430.01 -433.35 -433.53 -434.51 .

وبعد تعويضنا لمعطيات الجدول السابق في العلاقة (1.3) وجدنا أن : $T_e = k_B T = 2.61ev$ وهي تمثل درجة الحرارة الإلكترونية المحسوبة وهي تدخل ضمن مجال درجات الحرارة الالكترونية للبلازما المخبرية و التي تكون غالباً محصورة ما بين 2 و 5 إلكترون فولط ، وهي بالكالفن تأخذ القيمة $T_e = 30243K$ وعليه فهي تصنف من البلازما الحرارية ، ومن جهة أخرى نجد ان هذه القيمة تتوافق بشكل خاص مع المجال الذي حدده الباحث في مذكرته حيث كانت درجة الحرارة الالكترونية للوسط محصورة بين 30000 و 40000 كالفن .

المراجع

- [1] DAOUI, Hafsa, et al. Simulation study of a fluorine spectrums induced by laser sublimation. Journal of Physics Communications, 2020.
- [2] BEN MABROUK, Lazhar. Etude des spectres d'emission d'ions de déposition sur couches minces. PhD Thesis. Université de Ouargla-Kasdi Merbah, 2003.

[3]

[4]

[5]

[6]

[7]

[8]

خاتمة عامة

تناولت هذه الدراسة بلازما الآرغون المتولدة بفعل الليزر حيث قمنا بتحليل الاطيف الناتجة عنها والتي هي اساس الإشكالية التي بنينا عليها هذه المذكرة ، كما استطعنا حساب درجة الحرارة الإلكترونية المتشكلة صناعيا بواسطة آية الـ *LIBS* ، وبهذا يمكننا القول اننا اجبنا عن لب المسألة المطروحة في هذه المذكرة، ولقد تجزأت هذه العينة من الدراسة إلى ثلاث فصول كانت كالآتي: الفصل الأول تناول عموميات حول الأطياف ، تعريف الاطيف انواعها بعض التعريضات وأسبابها كما تطرقنا الى اشكال الخطوط وبعض الطرق المستخدمة في التحليل الطيفي ، ثم تحدثنا على غاز الآرغون تعريفه مروراً بتوزيعه الإلكتروني ونظائره الموجودة بالطبيعة وصولاً الى اهميته واستخداماته .

الفصل الثاني ضم البلازما ببعض جوانبها، تعريفاتها عند الدارسين انواعها أشكالها في الطبيعة ن كما لم ننسى أهم المقادير في البلازما وكذلك أهم قوانين التوازن المتحكمة فيها ، ثم تطرقنا الى أهم عنوان في المذكرة وهي تقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر عرجنا على تاريخ الليزر وأهم الأجهزة المستعملة في التحليل الطيفي للبلازما ككل ، ثم تحدثنا على التقنية بشكل مفصل من ناحية ماهيتها وكيفية عملها .

الفصل الثالث فقد قمنا بشرح التجربة التي إعتدنا في الحصول على الأطياف التجريبية لبلازما الآرغون ودراستها نظريا بالإعتماد على البرنامج العددي فورترون وكذلك قاعدة المعطيات الدولية الفيزيائية الذرية هذه الاخيرة سهلت علينا أكثر عملية المقارنة فتحصلنا على نتائج جد متوافقة من حيث الخطوط الطيفية ذات الشدات العالية ، كما تمكنا من حساب درجة الحرارة الإلكترونية للوسط إعتقادا على طريقة بولتزمان وذلك ابتداءً من حساب نسبة الشدة بين الإنتقالين فتحصلنا في الأخير على درجة الحرارة $T_e = 30243k$ وهي ضمن مجال البلازما الحرارية والأجمل انها تتوافق مع المجال الذي حدده الباحثين في المقال المعتمد لمذكرتنا .

وفي الأخير يبقى لنا أن نقول فقط بأن هذه الدراسة تفتح آفاق جديدة لدراسة بلازما أي عنصر بتقنية الـ *LIBS* .

ملخص :

لقد تم في هذا العمل المقارنة بين الأطياف التجريبية لبلازما الآرغون المتولدة بتقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر (تقنية LIBS) والأطياف النظرية المحسوبة بالبرنامج العددي فورترون، فوجدنا توافق كبير بين النتائج المتحصل عليها، كما قمنا بحساب درجة الحرارة الإلكترونية للوسط باستخدام معادلة بولتزمان، حيث أن القيمة المحسوبة تندرج ضمن التصنيف المعتمد للبلازما المخبرية.

الكلمات المفتاحية : الأطياف، الآرغون، الليزر، LIBS، معادلة بولتزمان .

Abstract:

In this work, the experimental spectrometry of the Argon plasma generated by laser-induced spectroscopy technology (LIBS technology) and the theoretical spectrometry calculated by the numerical program Fortron was compared, so we found a great compatibility between the results obtained, and we calculated the electronic temperature of the medium using the Boltzman equation The calculated value falls within the approved classification of laboratory plasma.

Keywords : Spectrometry, Argon, Laser, LIBS, Boltzmann equation.