جامعة قاصدي مرباح –ورقلة–

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة ماستر أكاديمي

اختصاص: فيزياء الأرصاد الجوية للأوساط الجافة

من إعداد الطالبتين: قاسمي شفيقة

شبابي سعاد

الموضوع

تشخيص طبقة التروبوسفير بتقنية LIBS

نوقشت يوم:2017/05/25

أمام أعضاء اللجنة المناقشة المكونة من السادة:

نعام أمال	أستاذ محاضر ب	جامعة ورقلة	رئيسا
خلف الله بن بلقاسم	أستاذ مساعد أ	جامعة ورقلة	ممتحنا
بن مبروك لزهر	أستاذ محاضرا	جامعة ورقلة	مشرفا

السنة الجامعية:2017/2016

شكـــــر و تقـــدير

ربي لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك لك الحمد في الأولىوالآخرة، ولك الحمد على توفيقنا في إنهاءوإكمال هذا العمل و على تسهيل دربنا و تنوير بصيرتنا.

نتوجه بجزيل الشكر و التقدير و الامتنان إلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد على انجاز هذه المذكرة و في تذليل ما وجهناه من صعوبات، و نخص بالذكر ببالغ الشكر الأستاذ المشرف "بن مبروك لزهر" و هدا لوقوفه معنا طيلة هذا العمل بنصائحه و معلوماته القيمة، كما أتقدم بالشكر إلى الأستاذ "نعام أمال " على قبوله ترؤس لجنة المناقشة، والأستاذ " خلف الله بلقاسم" على قبوله مناقشة هذه المذكرة.

و إلى كل من ساهم في انجاز هذا العمل،

كما لا ننسى أن نشكر الأساتذة الأفاضل بقسم علوم المادة و خاصة أساتذة قسم الفيزياء الذين درسوننا في مرحلة التعليم الجامعي.

الفــهرس

المقدمة.....01

الفصل الأول: الغلاف الجوي و البلازما في الغلاف الجوي

I-1-1-تعريف الغلاف الجوي.....02

I-1-2-مكونات الغلاف الجوي.....02

I-1-3-التوزيع الأفقي والرأسي للغلاف الجوي.....03

I -1-3-1 التوزيع الأفقي.....03

I-1-3-2- التوزيع الرأسي (التقسيم الداخلي).....05

I-2-البلازما في الغلاف الجوي.....07

I-2-1-لمحة تاريخية.....07

I-2-2- ما هي البلازما.....08

I-2-3-أهم خصائص البلازما.....08

I-2-3-1-التوصيل الكهربائي.....08

I-2-3-2- التعادل الكهربائي في البلازما.....08

الفصل الثاني: عموميات حول الليزر و الأطياف الذرية

II-1-عموميات حول الليــزر.....09

II-1-1-تعريف الليزر.....09

II-1-2-خصائص الليزر.....09

II-1-2-3شروط الانبعاث الليزر.....10

II-1-3-مكونات جهاز الليزر.....12

II-1-4-أنواع الليزر.....13

II-1-5- استخدامات الليزر.....13

II-2-الأطياف الذرية.....14

II-2-1-تعريف الأطياف.....14

II-2-2- أنواع الأطياف.....14

II-2-2-1-طيف الإصدار.....14

II-2-2-2-طيف الامتصاص.....15

II-2-3-التعريضات وأشكال الخطوط.....15

II-2-3-دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية.....16

II-2-3-1-التعريض الطبيعي.....16

II-2-3-2-تعريض دوبلر.....17

II-2-3-3- تعريض التصادمات.....18

II-2-4-الطرق المستعملة لتحليل الأطياف.....19

II-2-4-1- شدة الخطوط الطيفية.....19

II-2-4-1-1- شدة الخطوط الطيفية الذرية.....19

II-2-4-1-2-شدة الخطوط الطيفية الجزيئية.....20

II-2-4-2-تحديد درجة حرارة الإلكترون.....20

1- نسبة الشدة بين الخطين.....20

2-طريقة الرسم التخطيطي بولتزمان.....21

الفصل الثالث: تقنية LIBS والتحليل الطيفي لعينة من الهواء

مقدمة.....22

III-1- تقنية LIBS.....22

III-1-1-مفهوم تقنية LIBS.....22

III-1- 2طريقة عمل تقنيةLIBS.....22

III-1-3 مميزات التقنية.....23

III-2- شرح التجربة.....24

III-2-1 دراسة الأطياف التجريبية.....25

III-2-2رسم الأطياف النظرية للغازات و الشوائب المحتملة.....26

III-2-3 المقارنة و تحديد الأطياف.....29

III-2-4 تشخيص الوسط و حساب درجة الحرارة.....29

خلاصة عامة.....33

قائمة المراجع

فهرس الأشكال

الشكل (I–1): نسب الغازات الأساسية المكونة للغلاف الجوي.....01

الشكل(I–2) طبقات الغلاف الجوي الأرضي وارتفاعاتها.....05

الشكل (II–1): الأطوال الموجية عند تحليل الضوء باستخدام الموشور.....10

الشكل (II–2): عملية الانبعاث التلقائي والانبعاث الاستحثاثي.....10

الشكل (II–3): انتقال الإلكترون بين مستويات الطاقة من E_1 الى E_2.....11

الشكل (II– 4): انتقال الإلكترون بين مستويات الطاقة E_2 الى E_1.....11

الشكل (II– 5): التعداد المعكوس.....12

الشكل (II–6): مكونات ليزر الياقوت.....13

الشكل(II–7): رسم تخطيطي لجهاز ليزري.....13

الشكل(II–8): طيف الإصدار (الانبعاث).....15

الشكل(II–9): طيف الامتصاص.....16

الشكل (III–1): التركيب التجريبي لتحليل عينة الهواء بالليزر.....24

الشكل (III–2): الطيف التجريبي في المجال(300–1100)(nm) 25

الشكل (III–3): مخطط العمل.....26

الشكل (III–4): طيف ذرة الكربون النظري في المجال 300–600(nm) 27

الشكل (III–5): طيف ذرة الهيدروجين النظري في المجال 300–380(nm) 27

الشكل (III–6): طيف ذرة النيتروجين النظري في المجال 300–750(nm) 28

الشكل (III–7): طيف ذرة الأكسجين النظري في المجال 300–750(nm) 28

فهرس الجداول

الجدول (III–1): جدول تطابق في بعض المجالات النظرية للغازات.....29

الجدول (III–2): معطيات الفيزياء الذرية للانتقالات المختارة للأكسجين.....30

الجدول (III–3): معطيات الفيزياء الذرية للانتقالات المختارة للأزوت.....30

الجدول (III–4): نسب الازوت و الأكسجين.....30

مقدمة عامة

مقدمة عامــة

يعتبر وجود الغلاف الجوي عاملا أساسيا و مهما جدا في نشأة الحياة على الأرض، هو عبارة عن طبقة رقيقة متكونة من غازات التالية الازوت N_2 (78%)، الأكسجين O_2(21%)، الأرغون A(0.39%) و ثاني أكسيد الكربون CO_2(0.33%) و غازات أخرى بنسب ضئيلة. تظه ر بلون أزرق من الفضاء تحيط بالأرض وتحميها وتسبب الحياة فيها. ينقسم الغلاف الجوي إلى عدة طبقات التي يتم الكشف عنها بالاستشعار عن بعد لدراسة خواصها الفيزيائية و الكيميائية. يهدف عملنا هذا لتشخيص الطبقة الأولى و هي طبقة التروبوسفير لتحديد نسبة تواجد هذه العناصر (الكربون، الهيدروجين، الازوت، الأكسجين)، يوجد عدة طرق لتشخيصها و لقد اخترنا طريقة LIBS التي يتم تطبيقها بأشعة الليزر لدراسة الأطياف حيث سنتطرق في هذا العمل إلى دراستها خلال ثلاث فصول:

في الفصل الأول نتعرف على الغلاف الجوي و تركيبته و توزيعاته الأفقية و الرأسية كما أننا سنتعمق نوعا ما في تشخيص طبقة التروبوسفير،و بما أن البلازما مكونة للمادة بنسبة 99% حيث يكون فيها اصدرات طيفية للوسط سوف نتطرق لدراستها و شرح مميزاتها في هذا الفصل كذلك.

في الفصل الثاني سنتحدث عن عموميات الليزر (تعريفه، خصائصه، أنواعه، استخداماتهم)، كما سنتطرق إلى التعرف عن الأطياف الذرية (أنواعها، خصائصها، أنواعها...).

أما في الفصل الثالث خصوصا فهو جزء التطبيقي في المذكرة، حيث سنتعرف عن تقنية LIBS نظرا لأهميتها في المطلب ، و نقوم فيه بشرح التجربة وهي تحليل عينات من الهواء (الأكسجين، الهيدروجين، الكربون، الا زوت) باستخدام تقنية LIBSو مقارنة الأطياف التجريبية الناتجة مع الأطياف النظرية التي سنتطرق برسمها بواسطة برنامج عددي بلغة الفورترون و كذالك حساب درجة الحرارة الالكترونية للوسط و حساب نسبة الغازات الغالبة في العينة.

في الأخير نقدم ملخصا عاما لهذا العمل.

الفصل الاول

الغلاف الجوي ، تركيبته و البلازما في الغلاف الجوي

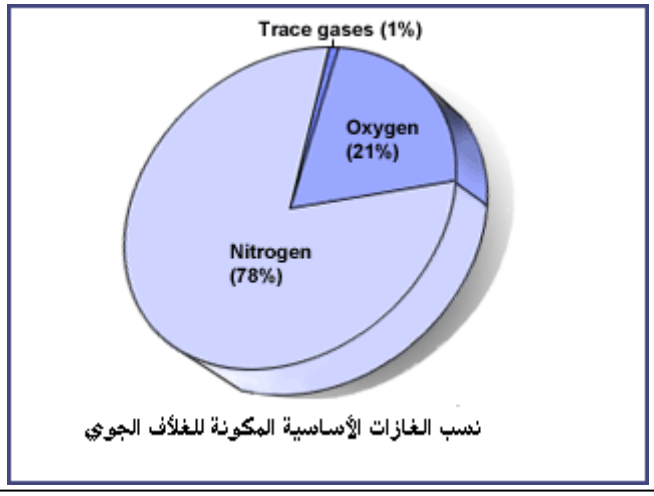
I-1-الغلاف الجوي :

I-1-1-تعريف الغلاف الجوي: الغلاف الجوي الأرضي هو عبارة عن طبقة رقيقة مركبة من الغازات وبعض المركبات الكيميائية تحيط بالأرض وتحميها يعتبر وجود الغلاف الجوي حول الأرض عاملاً أساسيا ومهماً جداً في نشأة الحياة على الأرض.

الغلاف الجوي بمكوناته الغازية يوفر المواد الأساسية اللازمة للحياة كالأكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون وغاز الازوت الذي يعتبر حجر الأساس في كل صور الحياة الموجودة على سطح الأرض، كما أن هناك غازات ومركبات كيميائية أخرى مهمة تدخل بطريقة مباشرة أو غير مباشرة في معظم أنشطة الإنسان على سطح الأرض.

تتسبب حركة الغلاف الجوي سواء على مستوى الكرة الأرضية أو على المستوى الإقليمي المحدود في حدوث الكثير من الظواهر الطبيعية مثل تجانس مكونات الهواء وتكون السحب والمطر وهبوب الرياح، وكذلك حفظ كوكب الأرض من التغييرات الكبيرة والمفاجئة في درجات الحرارة[1].

I-1-2-مكونات الغلاف الجوي: يتكون الغلاف الجوي من خليط من الغازات تنقسم إلى قسمين أساسيين، الغازات الأساسية أو النشطة وهي الغازات التي تدخل مباشرةً في التفاعلات الحيوية على الأرض وهذه الغازات هي: غاز الا زوت ونسبته 78% من مجموع الغازات الموجودة وغاز الأكسجين ونسبته 21% وغاز ثاني أكسيد الكربون ومجموعة أخرى من الغازات بنسب ضئيلة شكل(1)[1].



الشكل (I-1): نسب الغازات الأساسية المكونة للغلاف الجوي[1]

أما القسم الثاني فهي الغازات النادرة أو الخاملة والتي نادراً ما تدخل في التفاعلات الحيوية ومن هذه الغازات غاز الميثان والأرغون والهليوم والهيدروجين والأوزون.

بالإضافة إلى الغازات السابقة فان الغلاف الجوي يتكون من بعض المركبات الكيميائية المهمة مثل بخار الماء الذي تختلف نسبته باختلاف المكان والزمان والحرارة والعوامل الجوية المسببة في تغيره، كما يوجد في الغلاف الجوي نسبة من الغبار العالق المكون في الغالب من المعادن والمركبات العضوية الموجودة على سطح الأرض أو تلك التي في النيازك والتي هي عبارة عن جزئيات صغيرة جداً(ميكروسكوبية) من الغبار و التي تعمل على تشتت أشعة الشمس والاحتفاظ بدرجة حرارة الكرة الأرضية و المساهمة في تكثيف بخار الماء لتكوين حبات المطر.

I-1-3-التوزيع الأفقي والرأسي للغلاف الجوي

سوف نتحدث عن كل منهما بإيجاز على النحو التالي:

- التوزيع الأفقي.
- التوزيع الرأسي.

I -1-3-1 التوزيع الأفقي

قسمت سطح الأرض إلى عدة مناطق على أساس الحرارة إلى الآتي:

أ) المناطق القارسة .

ب) المناطق الباردة.

ج) المناطق المعتدلة.

د) المناطق الحارة .

تم التوزيع الأفقي على نفس الترتيب السابق لعدة أسباب هي:

أ) تغطي النطاقات الباردة مساحات أكبر من الحارة .

ب) تؤثر درجات الحرارة الباردة على النشاط البشري تأثيراً واضحاً مقارنة بالحارة .

ج) تأثيرها أوضح على مناخات سطح الأرض .

أ) المناطق القارسة : تقع بين القطبين ودائرة عرض 65ْ شمالاً وجنوباً ، ودرجة الحرارة معدومة ولا يزيد متوسط أي من شهور السنة عن عشر درجات، لذلك فهي عبارة عن فصل واحد طول السنة، ويكون النهار ستة أشهر عند القطب الشمالي عندما تتعامد الشمس على مدار السرطان، يقابله الليل بنفس الفترة عند القطب الجنوبي، ويحدث العكس عندما تتعامد الشمس على مدار الجدي .

وتعد هذه المناطق ذات فصل واحد بارد نظراً لضعف الأشعة التي تصل إليها، حيث تقل زاوية سقوط الأشعة عن 23 درجة وتصل إلى الصفر عند القطبين، وتتوزع جغرافيا شمال قارتي أوراسيا وأيسلندا وجرينلند وشمال أمريكا الشمالية والقارة القطبية الجنوبية .

ب) المناطق الباردة : يحدها دائرتي عرض 65 °-45°شمالاً وجنوباً، ودرجة الحرارة منخفضة طول العام وهي 15° مئوية في المتوسط ويختلف طول الليل والنهار ويتراوح كل منهما بين 4 ساعات إلى 18 ساعة في نصفي الكرة بحسب زاوية سقوط أشعة الشمس وتعامدها على كل من المدارين ودائرة الاستواء، وهي عبارة عن فصلين، صيف دفيء متوسطة ثلاثة أشهر وباقي السنة بارد.

تكون زاوية سقوط الأشعة الشمسية بين 23 °-45°لذلك تكون درجات الحرارة منخفضة وذلك بحسب موقع الشمس من دوائر العرض، ويتوزع جغرافيا في وسط أوراسيا من المحيط الهادي شرقاً حتى سواحل ا لأطلنطي غرباً وفي أمريكا الشمالية أيضا من الأطلنطي شرقاً إلى الهادي غرباً وأقصى جنوب الطرف الجنوبي لأمريكا الجنوبية عند جزيرة تيرادلفيجو ورأس هورن.

ج)المناطق المعتدلة : تمتد بين 45 °-30 °شمالاً وجنوباً ، ودرجة الحرارة فيها بين 10 °-20 °مئوية ويختلف طول الليل والنهار بين 5-10ساعة-5-13ساعة ، وهي عبارة عن أربعة فصول صيف وخريف وشتاء وربيع ، يتراوح الصيف بين 3-5أشهر وبقية الفصول باردة وحرارتها قليلة ، وتكون زاوية سقوط الأشعة الشمسية بين 67 °-45 ° بحسب وجودها على دوائر العرض .

وينتشر في وسط قارات أوراسيا وأمريكا الشمالية وجنوب استراليا ورأس إفريقيا وجنوب أمريكا الجنوبية.

د) **المناطق الحارة :** تقع على جانبي دائرة الاستواء دون دائرة 30ْ شمالاً وجنوباً، ودرجة الحرارة لا تقل في المتوسط عن 20ْ مئوية في شهر من أشهر السنة، حيث تكون الشمس أشعتها شديدة

تشمل المنطقة ذات الحرارة المرتفعة طول العام ذات الفصل الواحد بين 15°-صفر درجة شمالاً وجنوباً وذلك لتعامد الشمس بزاوية قائمة عليها طول العام تقريباً ، بينما يكون بين 30°- 15 ° شمالاً وجنوباً فصلين لانخفاض درجة الحرارة وتكون زاوية سقوط الأشعة بين 67 °-90 ° ويتعادل الليل والنهار في المنطقة ذات الفصل الواحد طول العام تقريباً ، أما بين دائرتي 15°-30 ° شمالاً وجنوباً فيكون الليل والنهار بين 5-10 و 5-13 ساعة بحسب تعامد الشمس على كل من المدارين ويوضح شكل (2) حركة الشمس وتعامدها على الدائرة الاستوائية والمدارين .

I-1-3-2- التوزيع الرأسي (التقسيم الداخلي):

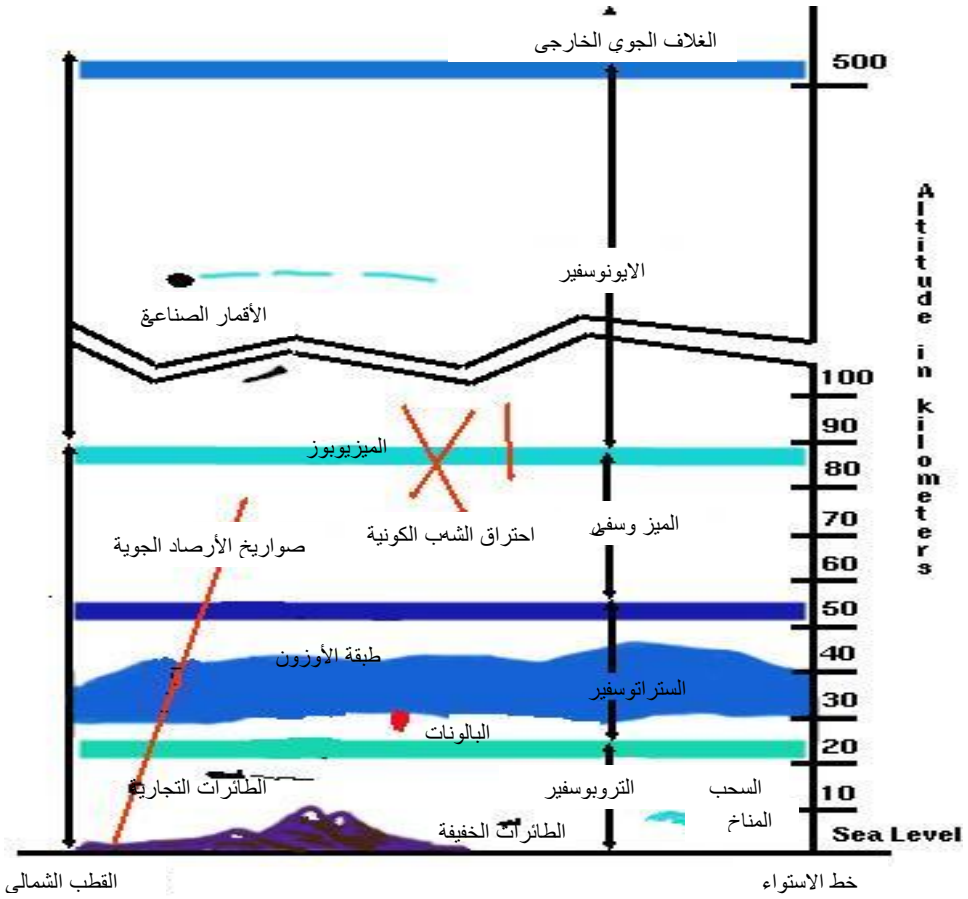
قسم العلماء الغلاف الجوي رأسياً إلى أربعة أقسام رئيسية على أساس اختلاف درجات الحرارة ومكونات الغلاف من الغازات، وإن الحدود بين هذه الطبقات ليست جامعة مانعة أو تمثل حدوداً فاصلة وإنما هناك تداخلات[2]، ويوضحها شكل (2) وهي على النحو التالي:

أ) طبقة التروبوسفير.

ب) طبقة الستراتوسفير.

ت) طبقة الميزوسفير.

ث) طبقة الايونوسفير.



شكل(I-2): طبقات الغلاف الجوي الأرضي وارتفاعاتها والدور الذي تقوم به تستخدم له طبقة كل طبقة [2].

أ) طبقة التروبوسفير (Troposphere): ويتراوح ارتفاعها بين 9-15كم ويختلف ارتفاعها باختلاف دوائر العرض والفصول، وتنخفض درجة الحرارة بها كلما ارتفعنا عن منسوب سطح البحر 0،6 درجة مئوية لكل 100متر حتى تصل إلى 70 درجة مئوية تحت الصفر عند خط الاستواء في الجزء العلوي منها ، تتأثر بالجاذبية الأرضية والحرارة المنبعثة من سطح الأرض وحدوث التيارات الرأسية الصاعدة والهابطة ولذا تحدث بها كل الظواهر الجوية والتقلبات المناخية وتحتوى على بخار الماء والجسيمات الدقيقة من الذرات الغبارية، مما جعلها تنفرد وتتميز عن بقية الطبقات الأخرى بهذه الخواص والصفات .

وتحصر فيما بينها وبين الطبقة التي تعلوها طبقة التروبوبوز وغاز الأوزون الذي يتكون نتيجة التفاعلات الكيميائية والضوئية وينتج أيضاً بسبب البرق وظاهرة الفجر القطبي وله رائحة نفاذة وعديم اللون ويساعد على الاشتعال ويذوب في الماء ومطهر . ويحافظ على مظاهر

الحياة على سطح الأرض، لأنه يمتص الأشعة فوق البنفسجية ويشاركه في هذه الصفة مياه البحار، وتعرض الجسم فترة طويلة لها يسبب سرطان الجلد .

ب) طبقة الستراتوسفير (Stratosphere): ويمكن أن نسميها طبقة الزمهرير ويتراوح ارتفاعها بين 50-55كم فوق منسوب سطح البحر، وتنخفض درجات الحرارة فيها من أسفل وتزداد عند حدودها العليا، وتنعدم الظواهر الجوية و أسفلها تحوى غاز الأوزون.

ت) طبقة الميزوسفير (Mesosphere): يتراوح ارتفاعها بين 50-80كم وتنخفض درجة الحرارة بها حتى تصل إلى 100° مئوية تحت الصفر وتعد نهاية الغلاف الجوي المتجانس تقريباً، وتحمي الأرض بإذن الله تعالى من الشهب التي تحرق بها.

ث) طبقة الايونوسفير (Ionosphere) : وهي الطبقة المتأينة التي تزداد بها نسبة الايونات أي جزيئات الغازات المشحونة كهربائياً، ويتراوح ارتفاعها بين 640-750كم، ولا تتأثر بالجاذبية الأرضية ومتخلخلة الهواء ويسود بها غاز الهيدروجين وكثافة الهواء ضئيلة لذلك قليلة الاحتكاك فتسير فيها الأقمار الصناعية.وتعكس الموجات اللاسلكية وحدوث ظاهرة الفجر القطبي (الأورورا) .

بما أن المواد التي تشكل الكون معظمها في حالة البلازما سوف نتطرق إلى التعرف عليها.

I-2-البلازما في الغلاف الجوي:

إن المواد التي تشكل الكون معظمها في حالة البلازما (ما يقارب 99%)، و تشترك كل أنواع البلازما بأنها تخضع و تفسير بنفس الآليات و تدريها نفس القوانين الفيزيائية وذلك حتى باختلاف مقادير وسائطها، كما تعرف البلازما بالحالة الرابعة للمادة لكونها لا هي حالة صلبة، و لا سائلة، ولا حتى حالة غازية، فهي عبارة عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة و الكترونات و أيونات موجبة بتناسب معين يجعل الوسط إجمالا متعادل كهربائيا[3].

I-2-1-لمحة تاريخية:

إن أول من أطلق مصطلح الحالة الرابعة للمادة هو الانجليزي "Sir William Grooker" عام 1879 لوصف القسم المتأين من الانفراغات الغازية. وقد علل مصطلحه هذا في العبارة التالي[4]: تتحول المادة الصلبة بالتسخين إلى الحالة السائلة و

باستمرار التسخين تتحول إلى غاز، و عند رفع درجة حرارة الغاز إلى حد معين يصل إلى $K10^5$ [5]، تزداد طاقته الحركية إلى الحد الذي يؤدي إلى تصادمها مع بعضها البعض فيحدث تحرر للالكترونات و لأيونات موجبة الشحنة.

أستخدم مصطلح البلازما في البداية من قبل "Langnuir" سنة 19928 كي يعبر عن المناطق متساوية الكمون داخل أنابيب التفريغ الحاوية غازا مؤينا متعادلا كهربائيا. بعد ذلك أستخدم هذا المصطلح بصفة خاصة في فيزياء الفلك للتعبير عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز، لكنها مؤلفة من الكترونات و ايونات موجبة، و بتناسب معين يجعل الوسطإجمالا متعادلا كهربائيا[6].

I-2-2- ما هي البلازما:

بصفة عامة يمكن افتراض إن البلازما هي خليط مكون من ثلاث عناصر[5] الكترونات حرة و ايونات موجبة أو سالبة و ذرات معتدلة أو جزيئات[7]، و الغاز المتأين يحوي عددا كبيرا من جسيمات مشحونة، تحجب نفسها الكتروستاتيكيا عند مسافة صغيرة، و أنها تجمع لجسيمات متأينة، تتفاعل جماعيا بالقوى الكهرومغناطيسيةِ بعيدة المدى و المرتبطة بشحناتها و حركتها[8].

I-2-3-أهم خصائص البلازما:

I-2-3-1-التوصيل الكهربائي:

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

I-2-3-2- التعادل الكهربائي في البلازما:

إحدى الصفات المهمة في البلازما هي نزعها لتبقى متعادلة كهربائيا، أي ميلها إلى توازن الشحنة الفراغية السالبة مع الشحنة الفراغية الموجبة في كل جزء من الحجم العيني، و أن أي اختلاف بسيط في كثافة الشحنة الفراغية يسبب نشوء قوي كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التعادل، من جهة أخرى إذا تعرضت البلازما إلى حقل كهربائي خارجي فان كثافة الشحنات الفراغية ستنظم نفسها بحيث يحجب الجزء الأعظم من البلازما نت تأثيرات هذا الحقل[7].

الفصل الثاني

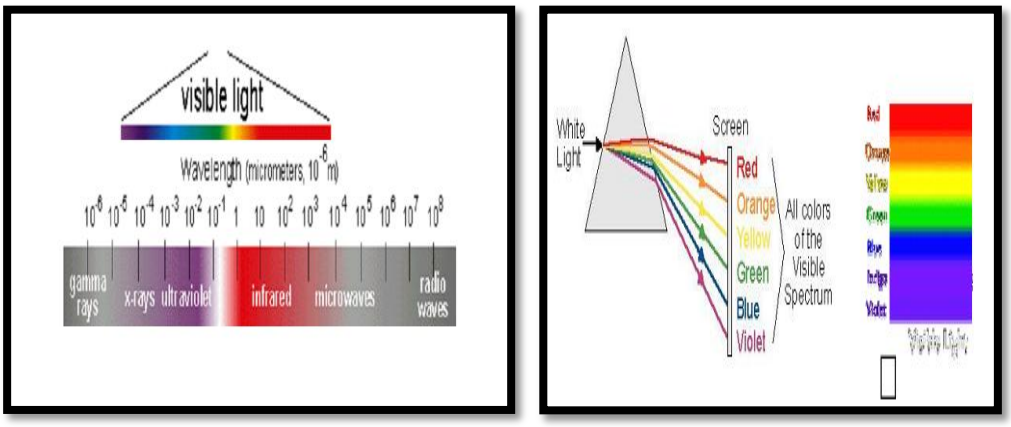
عموميات حول الليزر و الأطياف الذرية

II-1-عموميات حول الليـــزر: تعتبر تكنولوجية الليزر من العلوم المتطورة التي تدخل في العديد من التطبيقات مثل استخدام الليزر في التطبيقات الطبية والاتصالات والأبحاث العلمية والهندسية والعسكرية، والليزر له العديد من الخواص التي تميزه عن أي مصدر ضوئي، ومن هذا نبدأ في الموضوع وتوضيح فكرة عمل الليزر.

II-1-1-تعريف الليزر: (بالإنجليزية: LASER وهي اختصارا لعبارة Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) و تعني تكبير و تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث الاستحثاثي للإشعاع الكهرومغناطيسي [8-9] ، و هو عبارة عن حزمة ضوئية ذات فوتونات تشترك ترددها و تتطابق موجاتها بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية [10]، وقد تنبأ بوجود الليزر العالم ألبرت أينشتاين في 1917 حيث وضع الأساس النظري لعملية الانبعاث الاستحثاثي، وتم تصميم أول جهاز في 1960 من طرف العالم T.H.Maiman باستخدام بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت [12].

II-1-2-خصائص الليزر: شعاع الليزر يمتلك خصائص تميزه عن أية مصدر من مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي و هذه الخصائص هي:

II-1-2-1-أحادي اللون Monochromatique: وتعني أن الليزر له عرض طيفي ضيق ينتج عنه تردد مفرد نقي، وهذا ما يميزه عن الضوء العادي حيث أن بتحليل الضوء الأبيض الصادر من الشمس أو من مصباح ضوئي فإنه يحتوي على العديد من الأطوال الموجية. كما هو موضح في الشكل(II-1)عند تحليل الضوء باستخدام الموشور[10].

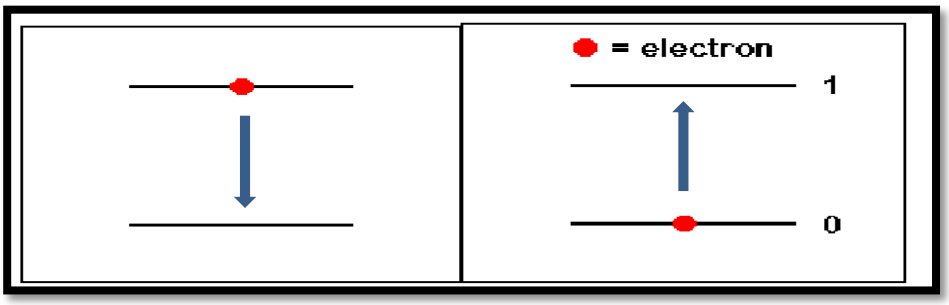


شكل(II-1): الأطوال الموجية عند تحليل الضوء باستخدام الموشور[10].

II-1-2-2-توازي الحزمة الضوئية (Collimation) أو الاتجاهية (Directionality):الضوء الصادر عن الليزر له اتجاه واحد بحيود مهمل[10].

II-1-2-3-الترابط (Coherece): و يجب أن يكون بين موجات الحزمة عالي جدا و متزامن و هذا يساعد الموجات الضوئية أو الفوتونات في تقوية بعضها البعض لتعطي طاقة و قدرة عالية للحزمة، و يكون هذا الترابطإما بناء و فرق الطور بين الموجات يساوي الصفر أو هدام و فرق الطور بين الموجات يختلف عن الصفر[10-12].

II-1-2-4-الشدّة الضوئيةLightIntensity : و تكون عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز المليمتر[10]، المسؤول عن هذه الخصائص هي عملية الانبعاث الاستحثاثي بينما في الضوء العادي يكون الانبعاث تلقائي الشكل(I-2).



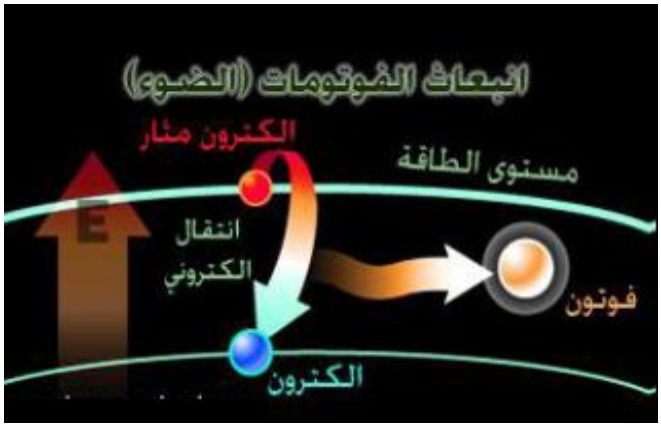
الانبعاث الاستحثاثي **الانبعاث التلقائي**

شكل (II-2):عملية الانبعاث التلقائي و الانبعاث الاستحثاثي[12].

II-1-2-3شروط الانبعاث الليزر:يجب توفر ثلاثة شروط أساسية وهي:

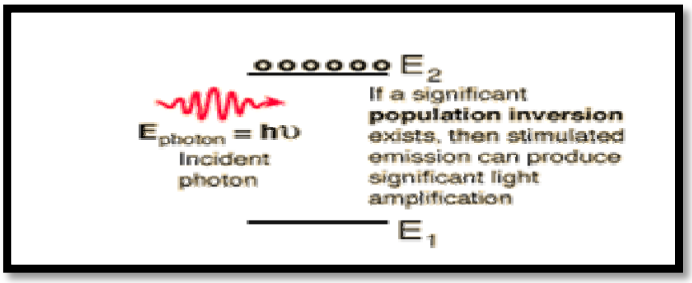
1) توفر الانبعاث الاستحثاثيStimulated Emission: في الظروف العادية تكون غالبية الذرات في مستوى الطاقة الأقل، وعدد قليل منها يكون في المستويات العليا ، و الذرات التي تكون في حالة تهيج تنبعث فوتونات تلقائيا، ولتخلص من حالة التهيج والنزول إلى مستويات طاقة أقل تكون هذه العملية عشوائية الحدوث، و الفوتونات المنبعثة لا تكون مترابطة مع بعضها البعض (أي لا تكون بنفس الطور) [11].

شكل (II-3): انتقال الإلكترون بين المستويات من E_1 الى E_2 [11].



شكل (II-4): انتقال الإلكترون بين المستويات من E_2 الى E_1 [11].

2) التعداد المعكوس (Population Invesion): يتطلب انبعاث أشعة الليزر العمل على زيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أي زيادة تعدادها عن الحالة الطبيعية، و عندما يكون عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا نستطيع القول بأنه حصل انقلاب في التعداد و هو ما سميناه بالتعداد المعكوس. [8]



شكل(II-5): التعداد المعكوس[9].

3) **التكبير الضوئي Light Amplification:** يجب أن يُضخ الوسط المادي من مصدر طاقة لحث الذرات والجزيئات على التهيج، أي الارتفاع إلى مستوى طاقة أعلى لا تتواجد فيه عادة تحت الظروف الطبيعية،وتكوّن ما يسمى بالتعداد المعكوس،والذي فيه تكون غالبية ذرات و جزيئات المادة في مستويات الطاقة العليا بدلا من المستويات المنخفضة. وبعدها ينبعث الشعاع الليزري بواسطة الانبعاث المحتث وعمليات التكبير الضوئي.

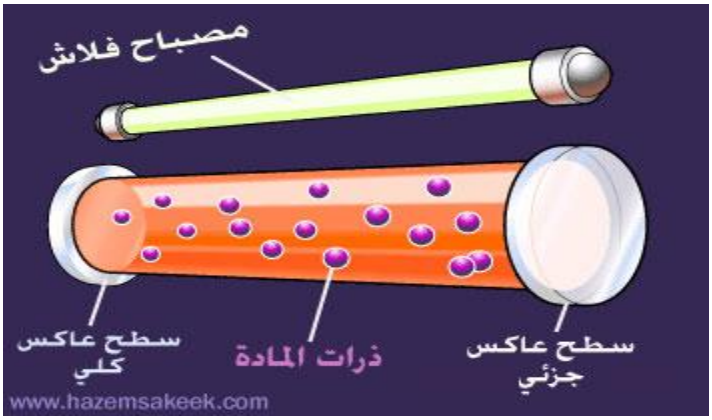
II-1-3-مكونات جهاز الليزر: يتكون جهاز الليزر عادة من العديد من المكونات الكهربائية والالكترونية والبصرية وأجهزة السيطرة والتضمين، ومن أهم المكونات الرئيسية التي يشترط وجودها في أجهزة الليزر[8] هي:

1) **الوسط الفعال:** إن الوسط الفعال المستخدم في الليزرات يكون عادة في حالة صلبة أو سائلة أو غازية.

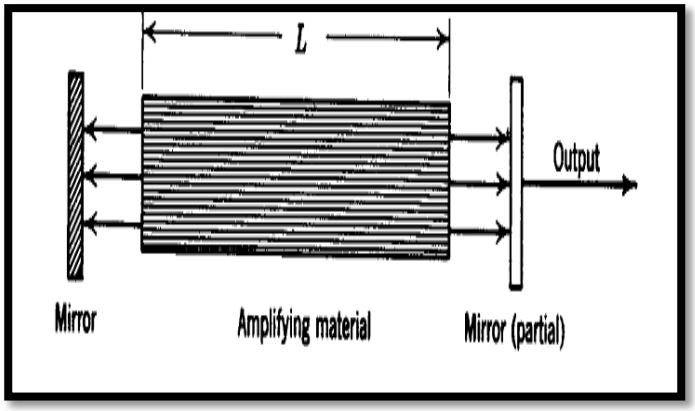
ومن الليزرات الصلبة ليزر الياقوت انظر شكل(II-6).

2) **المرنان (مرآتان):** و يقوم المرنان بمساعدة الفوتونات المنبعثة لتنعكس ملايين المرات في الثانية ذهابا و إيابا بين المرآتين، مارة في كل جولة خلال الوسط الفعال لتحفيز عداد كبيرة من الذرات أو الجزيئات المتهيجة لكي تنبعث فوتونات جديدة أخرى للحصول على حزمة الليزر.

3) **الضخ:** حيث تقوم الطاقة الضاخة بإثارة الذرات المستقرة في الوسط الفعال لتنتقل إلى المستويات المتهيجة لكي يتحقق التوزيع العكسي المناسب الذي يضمن توليد الليزر، وهناك ثلاث تقنيات للضخ وهي تقنية الضخ الضوئي و الضخ الكهربائي و الضخ الكيميائي.



شكل(II-6): مكونات ليزر الياقوت[9]



شكل(II–7): رسم تخطيطي لجهاز ليزري[12].

II–1–4–أنواع الليزر :يمكن التعرف على نوع الليزر من خلال طبيعة المادة الفعالة، وهناك ثلاثة أنواع رئيسية وهي:

1) **ليزر الحالة الصلبة** :هو الليزر الذي ينتج بواسطة مادة أو خليط من مواد صلبة كليزر الياقوت (Ruby)، وليزر النديميومياك (Neodymium-YAG)، وليزر أشباه الموصلات مثل أرسنايد الأنديوم (InAs-laser) و أرسنايي الكاليوم (GAS-laser)، و يسمى بليزر TAG اختصارا و يكون طوله الموجي في منطقة الأشعة تحت الحمراء. [8]

2) **ليزر الغاز** :وهو الليزر الذي تكون المادة الفعالة بحالة غازية، كليزر ثاني أكسيد الكربون (CO_2) و ليزر الهليوم نيون (He-Ne) و تكون أطوالها الموجية في مدى الأشعة تحت الحمراء. [8]

3) ليزر السائل:وتكون المادة الفعالة في حالة سائلة وهناك أنواع عديدة منها: ليزرات الصباغ العضوية و ليزرا وكسري كلوريد النديميوم سيلينوم .[11]

II–1–5– استخدامات الليزر:

إنّ الليزر منذ اكتشافه عام 1960 فرض نفسه في الكثير من الاستخدامات العلمية والعملية، وقد أستخدم كمصدر حراري في التطبيقات الصناعية، والطبية (يستخدم في العمليات الجراحية مثل جراحة المخ والقلب والأوعية الدموية والجراحة العامة)، وفي تثقيب المعادن وقطعها ولحامها، ويستخدم أيضا في الاتصالات.... الخ[12]، كما يستخدم في تحليل المادة الصلبة وغيرها.

II-2-الأطياف الذرية : إنّ الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الذرة له من الأهمية في علم الفيزياء الذرية في التعرف على العناصر المختلفة، حيث أنّ لكل عنصر من العناصر الموجودة في الطبيعة طيف كهرومغناطيسي خاص به ولا يوجد عنصرين لهما نفس الطيف، ولدراسة الضوء المنبعث من إثارة ذرات العنصر إما بواسطة المنشور أو بواسطة الحيود وتدعى بالمطياف أو الراسم الطيفي[13].

تعتبر طرق التحليل من أهم وأشمل الطرق للتحليل الطيفي نظرا لسهولتها ودقتها وحساسيتها العالية وتطبيقاتها المتعددة، حيث تعتمد على امتصاص وانبعاث الطاقة الإشعاعية، إذ بتفسير هذه المعلومات يمكن الحصول على معلومات كمية ونوعية، فمن الناحية النوعية تستخدم مواقع الخطوط أو الحزم الامتصاصية او الانبعاث التي تحدد في الطيف الكهرومغناطيسي دليلا على وجود عناصر خاصة، أما من الناحية الكمية فيمكن تقدير تركيز المكونات من قياس شدة خطوط الامتصاص والانبعاث، حيث تعطى المعلومات التي نحصل عليها من القياسات الطيفية على شكل رسم بياني بين الطاقة الممتصة أو المنبعثة بدلالة الموقع على الطيف الكهرومغناطيسي، ويدعى بالطيف ويقاس موقع الامتصاص أو الانبعاث بوحدات الطاقة أو الطول الموجي[14].

II-2-1-تعريف الأطياف: الطيف ناتج عن تشتت شعاع (تحلل) ذو طاقة إلى عدة أطوال موجية (شريط مكون من لون واحد أو عدة ألوان)، حيث نسمي الإشعاع الصادر عن الذرات بالطيف الذري، حيث استطاع بوهر عام 1913 وضع نظرية لذرة الهيدروجين والتي بموجبها فسر الطيف المنبعث من الذرة، ويختلف الطيف باختلاف المصدر والوسط الذي ينتشر فيه الشعاع[15].

II-2-2- أنواع الأطياف: إن الطيف المرئي يتكون من الألوان السبعة، ويمكن رؤيته بالعين المجردة وينقسم إلى نوعين:

II-2-2-1-طيف الإصدار: يتم الحصول على طيف الإصدار بإثارة الذرات بوسائل مختلفة (حرارية: طيف اللهب) فالطاقة الممتصة تجعل الإلكترونات ترتقي من الوضع الأرضي إلى وضع مهيج أعلى طاقة، ومن المعروف أن عمر الحالة المهيجة للإلكترونات قصير، فتعود الإلكترونات إلى الوضع الأرضي فتحرر الطاقة الممتصة على شكل ضوء (طيف إصدار الصوديوم...)ويمكن أن تعود الإلكترونات إلى الوضع الأرضي عبر حالة مثارة أدنى، ومن جهة أخرى يمكن للحالات المثارة أن يكون لها أعمار مرموقة بحيث يستمر معها إصدار الضوء بعد توقف الإثارة، ونعرف هذه الحادثة بالفسفرة [16،15]

شكل(II-8):يوضح طيف الإصدار(الانبعاث)[15].

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

- **الطيف المستمر:**ويتكون الطيف المستمر من حزمة غير متقطعة من ألوان وأطوال جميع الموجات المرئية وذلك مثل الطيف الذي تعطيه غالب المواد الصلبة عند درجات حرارة عالية.
- **الطيف المتقطع:**ويتكون طيف الإصدار المتقطع (غير المستمر) لمادة من نمط لخطوط مضيئة على أرضية داكنة ويُسمى بخط الطيف المرئي الطيوف الخطية.

II-2-2-2-طيف الامتصاص :تعطي معظم المواد الصلبة إذا سخنت إلى درجة حرارة عالية جداً لهبة بيضاء ساخنة، وينطلق منها إشعاع طول موجته مساوي لطول موجة الضوء المرئي، يؤلف هذا الإشعاع عادة طيفاً مستمراً فلا يشكل مناطق مظلمة.

إذا كنا نريد معرفة طيف مادة ولا نستطيع جعلها تتوهج عن طريق التسخين عندها نضع منبعا لطيف مستمر ونمرره عبر هذه المادة فتمتص المادة الفوتونات التي تتوافق معها كذرة بحسب بنيتها الداخلية، فتظهر أماكن الامتصاص بلون اسود وهذا ما يسمى طيف الامتصاص الذي يساعدنا من معرفة نوع المادة.[16]

شكل(II-9): يوضح طيف الامتصاص[15].

II-2-3-التعريضات وأشكال الخطوط : تمّ تطوير واستعمال عدة تقنيات بنجاح من أجل تحديد عوامل مختلف الأوساط (غاز، بلازما..). إنّ الطرق النظرية هي التقنيات الأكثر استعمالا عموما، ومن بين هذه الطرق نجد طريقة مطيافية الإصدار والامتصاص.

عند إصدار أو امتصاص الإشعاعات، تكون الأشعة الطيفية ليست رقيقة جدا"، لكنها تمثل بعض العرض وبعض المقاطع، وهي تمثل توزيعات الإشعاعات $I(v)$ أو $I(w)$ حول تردّد مركزي v_0 أو $_0$.ومطيافية الاصدار الذري هي طريقة توافق جدا تشخيص الغازات والبلازما[17].

II-2-3-دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية: أسباب تعريضات الخطوط الطيفية المنبعثة من المرسل كثيرة، نذكر منها:

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

II-2-3-1-التعريض الطبيعي

كلاسيكيا: سببه يكمن في كبح لحركة الإلكترون المهتز الذي يفقد طاقته عند الإشعاع.

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

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

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

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

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

γ: يمثل معدل الانبعاث.

الدالة $_j(r,t)$ يمكن التعبير عنها بجزأين أحداهما موضعي والأخر زمني على النحو التالي:

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

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

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

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

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

ω_o: التواتر الطبيعي للمشع.

دالة التوزيع تعطى بالشكل: $\mathrm{E}(\omega) = \frac{1}{2\pi}\frac{\mathrm{A}^2}{(\omega-\omega_0)+\frac{\gamma^2}{4}} (6-\mathrm{II})$

شدة الإشعاع اللورنتزية تأخذ الشكل:

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

عرض نصف الخطوط يعطى بالمعادلة:

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

II-2-3-2-تعريض دوبلر: أصل فعل دوبلر هو حركة الذرات و الأيونات المرسلة (تحرك ذرات المصدر).

و هو أول وصف دقيق قدمه رايلي 1889، حيث لاحظ ذرات المصدر تتحرك بسرعة v اتجاه يصنع زاوية θ مع الاتجاه الملاحظ، و يسجل تواتر ω و تعطى عبارته كالتالي:

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

: التواتر المتعلق بالمصدر.ω_0حيث:

C: سرعة الضوء في الفراغ.

من خلال العلاقة $(9-\mathrm{II})$ نحصل على:

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

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

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

حيث: v_0 : نعرفها بالعلاقة: $\frac{1}{2}\,mv_0^2=k\mathrm{T}$

m: كتلة ذرات المصدر.

k :ثابت بولتزمان .

بوضع $\Delta\omega_D=\frac{v_0}{c}$ توزيع الشدة في خطوط الطيف من الانتقال $i\rightarrow j$، فنحصل على شكل دوبلر الغاوسي وعبارته تأخذ الشكل التالي:[18]

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

$\mathrm{I}(\omega)$: توزيع غوسيان لتواتر ω

II-2-3-3- تعريض التصادمات: إنّ السبب الأساسي لتعريض خطوط الطيف هو الاضطراب الناجم عن الذرات وذلك بمختلف جزيئاتها المشحونة والغير مشحونة، وفي هذه الحالة يحدث التعريض بواسطة التصادم يمكن تقسيمه إلى ثلاث فئات:

1 - التعريض بالرنين: ويكون ذلك بواسطة اضطراب الجزيئات الغير مشحونة (تفاعل ثنائي الأقطاب ـ ثنائي الأقطاب)

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

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

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

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

II-2-4-الطرق المستعملة لتحليل الأطياف

II-2-4-1- شدة الخطوط الطيفية

II-2-4-1-1- شدة الخطوط الطيفية الذرية

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

$$I_{if} = N_i A_{if} h v_{if} = N_i A_{if} h \frac{C}{\lambda_{if}} \quad (14.\text{II})$$

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

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

حيث:

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

v_{if}: نبض هذا التحول (تردد).

N_i: عدد الذرات المثارة في وحدة حجم.

h : ثابت بلانك .

$B(T)$: دالةالتوزيع.

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

II-2-4-1-2-شدة الخطوط الطيفية الجزيئية: في حين أن الانتقال من حالة تتميز بأعداد الكم (n', v', j') إلى حالة تتميز بأعداد الكم $(n", v", j")$، وشدة الخطوط الطيفية المنبعثة خلال هذه المرحلة الانتقالية هي الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن 4π استيراديان وتعطى المعادلة بـ:

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

حيث:

h: ثابت بلانك .

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

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

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

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

II-2-4-2-تحديد درجة حرارة الإلكترون: هناك عدة طرق لتحديد درجات الحرارة البلازما وتشمل : نسبة الشدة بين الخطين، أو الرسم التخطيطي بولتزمان .

1- نسبة الشدة بين الخطين: نسبة الشدة بين الخطين: هذه الطريقة تتم بين انتقالين شعاعيين في شروط من توازن مستويات الطاقة الحرارية المحلية (توازن ترموديناميكي محلي) لدرجة حرارة معينة .

وفقا للمعادلة $(1.\mathrm{II})$ يمكننا أن نستنتج درجة الحرارة التي تنبعث من نوع الإشعاع المرسل، نستخدم نسبة شدة بين الخطين (1)و(2)من نفس النوع.

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

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

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

$$I_{if} = \frac{hC}{\lambda}\frac{ng_{iA_{if}}}{B(T_{exc})}exp\left(-\frac{E_i}{T_{exc}}\right) (20.\text{II})$$

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

$B(T_{exc})$:هي دالة التوزيع.

λ:هو الطول الموجي الموافق للانتقال.

A_{if}: احتمال الانتقال[22].

الفصل الثالث

تقنية LIBS و التحليل الطيفي لعينة من الهواء

مقدمة: سنتطرق في هذا الفصل إلى التعرف على تقنية LIBSوطريقة عملها و التعرف أيضا عن مميزاتها. وكذلك سوف نقوم بشرح عملنا وهو المقارنة بين النتائج التجريبية والنظرية لعينة من الهواء ولقد اخترنا الغازات التالية لهذه التجربة (الكربونC، الهيدروجينH، الازوتN، الأوكسجين(O و ذلك انطلاقا من تحضير قاعدة المعطيات الذرية لها، و نقوم بكتابة و تنفيذ البرنامج الرقمي بلغة الفورترون و حساب الأطياف النظرية و رسمها و يتم مقارنتها مع الأطياف التجريبية.

III-1- تقنية LIBS

III-1-1-مفهوم تقنية LIBS: التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر أو ما يعرف بـLIBS(Laser-Induced Breakdown Spectroscopie) تعتبر تقنية متقدمة و مهمة. حيث يمكن تحليل بها المواد الصلبة والسائلة والغازية والحصول على نتائج بسرعة كبيرة،[24] بدون أن تتغير خواص العينة،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 تقنيةLIBS للكشف على الأسطح الملوثة بالإشعاع النووي.حيث يمكن تثبيت جهاز الليزر على بعد أمتار من جدران المفاعل النووية والحصول على نتائج مرضية. وتسمح هذه التقنية بالعمل خلف جدار واقي من الإشعاع بالاعتماد على المرايا والعدسات لتوجيه شعاع الليزر للمنطقة المراد فحصها. كما يمكن تطبيق هذه التقنية في مجالات عدة مثل الطب، و المجال العسكري، وكذلك على أي نوع من المواد كالسوائل، (H_2O، وسط مائي...) الغازية، (غاز الهليوم، الهواء،CO_2) الصلبة، (رش السطح، المواد، البيولوجية، المواد الصلبة).

III-1-2 طريقة عمل تقنيةLIBS:

تقوم التقنية على تسليط نبض الليزر على المادة المراد دراستها حيث تقوم بتبخيرها لتتحول إلى بلازما إذ أن التحليل الطيفي للضوء المنبعث يسمح بتحديد التكوين الكيميائي لعناصر المادة.

إن تفاعل شعاع الليزر النبضي المرتفع يصل في نفس المكان إلى مليارات من الواط في كلcm^2 حيث يقوم بتسخين قوي جدا للمساحة المسلط عليها وبعد ذلك يكون هناك تبخر لتتشكل البلازما.

تقوم الذرات والايونات المثارة المنبعثة في مستويات الطاقة العليا ببعث أطياف مكونة من أشعة ذرية بعد عودتها إلى المستويات الأقل طاقة حيث يسمح الطول الموجي بتحديد العناصر الموجودة وشدتها في تركيز الذرات المنبعثة. كما إنها تنقص من تركيب عناصر المادة.

يمكن تحديد العناصر بطرق مختلفة إلا أن الطريقة الأكثر انتشارا تعتمد على مقارنة القياسات بعينات أخرى مشابهة(على سبيل المثال صخور من نفس التكوين) حيث تكون مكوناتها معروفة وتم قياسها بتقنية أخرى مغايرة. تعتبر هذه الطريقة ممكنة التحقق في المخبر. إلا أن الأمر مغاير تماما إذا كانت خارج المخبر لان المواد المراد تحليلها تكون غير معروفة في أغلب الأوقات. وبالتالي فانه من الضروري البحث عن طرق جديدة لمعالجة الإشارة تسمح بربط شدة أشعة الانبعاث بمكونات المادة من دون الرجوع عينات معروفة من قبل[4].

يمكن اعتبار الطيف الكلي كذلك ك (بصمة رقمية) للعينة. حيث تسمح بعض الطرق المتقدمةفي معالجة المعطيات بتحديد المواد بسرعة عن طريق الطيفLIBS.

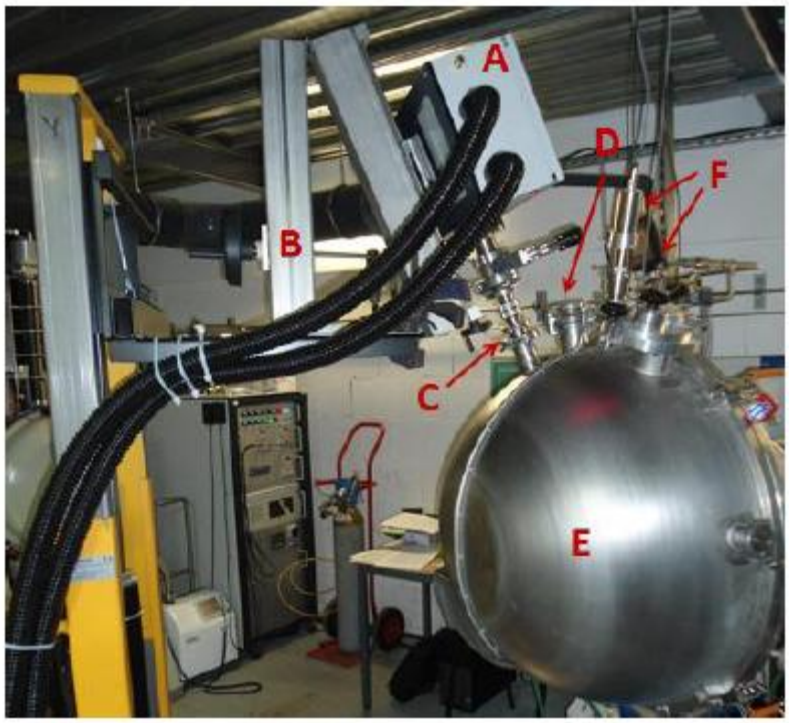
III-1- 3 مميزات التقنية

1) LIBS هي تقنية تحليل للعناصر تتيح لنا إمكانية التطبيق الأحادي فهي تسمح بقياسات من دون ملامسة الأسطح، كما إنها غير مدمرة أو مخربة للمادة.
2) و تتوافق بشكل جيد مع التحليل عن بعد أو الخطي أو الموضعي و ذلك من دون أخد عينة مسبقا أو تحضيرها فهي تقنية سريعة جدا تستغرق بضع ثواني إلى دقائق كحد أقصى لإعطاء النتائج و يرجع الوقت المستغرق إلى ظروف التجربة المختلقة[25] ككل الطرق المعتمدة على دراسة الأطياف فان LIBS يسمح بالقيام بتحليل متعددة للعناصر في نفس الوقت.
3) قادرة على تحليل المواد الصلبة والسائلة والغازية والهواء الجوي بحيث إن الأجهزة المستعملة في عملية التحليل يمكن إن تكون محمولة. بل أكثر من ذلك إذ يمكن حملها حتى في السارة وذلك يعتمد على مجال تطبيقها ومدى احتياجنا لها.

4) يمكن لتقنية LIBSإن لا يناسب ما نصبو إليه في بعض الحالات كوجود العينة في محيط صعب أو يكون أخد العينات شاقا أو مستحيلا مثل وجودها في درجات حرارة عالية أو أماكن فيها مواد مشعة أو حتى إثناء الاكتشافات الفضائية.

III-2- شرح التجربة

تعتمد هذه التجربة على تقنية التحليل الطيفي المستحث بواسطة الليزر (LIBS)الشكل(III-1) يوضح التركيب التجريبي للتقنية ويتألف من أربعة أجزاء رئيسية(جهاز ضخ الليزر، مرآة، العدسة، الألياف البصرية، الكاميراLCCD، المطياف، جهاز الكمبيوتر).



الشكل (III-1): التركيب التجريبي لتحليل عينة من الهواء بالليزر[26]

Aمصدر الليزر

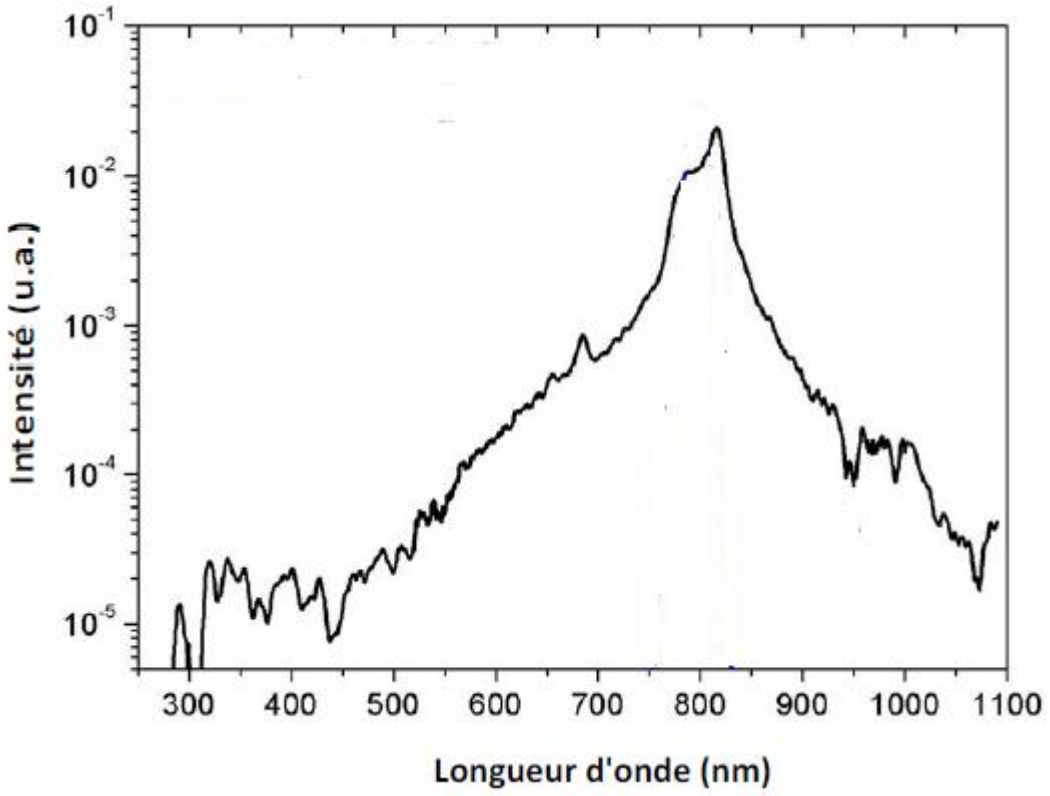
Bلوحة تحكم بمصدر الليزر

Cمدخل أشعة الليزر للغرفة

Dمدخل العينة إلى الغرفة- (الهواء)

Eغرفة التفاعل

Fنقطة تسجيل (ليف بصري+كاميرا)مرتبطة بحاسوب



الشكل (III-2):الطيف التجريبي في المجال (300-1100) (nm)[26]

III-2-1 دراسة الأطياف التجريبية

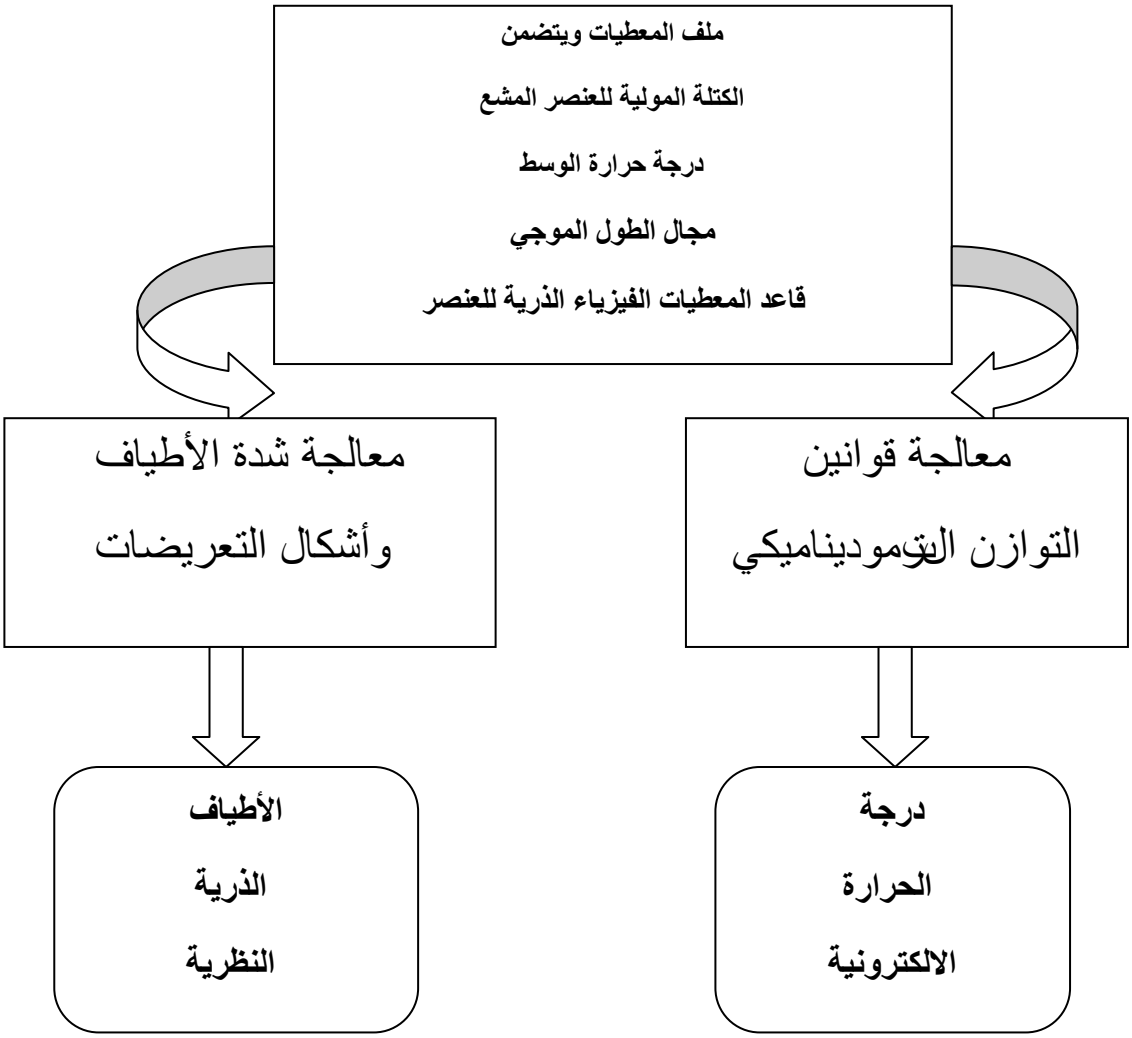
لدراسة الأطياف التجريبية الناتجة عن عينة من الهواء نقوم برسم أطياف الغازات التالية (الكربون، الهيدروجين، النيتروجين، الأكسجين) وذلك انطلاقا من قاعدة معطيات الفيزيائية الذرية من الموقع التالي:

http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html

حيث يتم بعد ذلك إتباع الخطوات التالية:

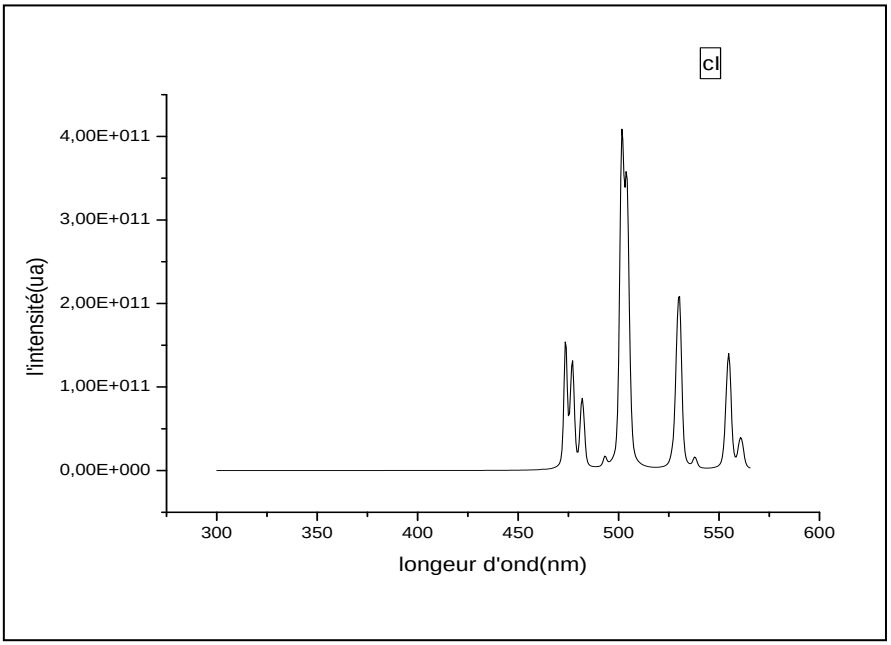
- أخد القيم من الرابط الأعلى للغازات.
- يتم تعديل القيم في ملف لكل قيمة.

- إدخال المعلومات في برنامج الفورترون وإعطاء الأوامر لترتيب القيم في ملف واحد.
- بعد ذلك يتم حساب عدد الانتقالات في برنامج spadruss.
- نقوم برسم الأطياف التجريبية في برنامج الOrigin6 (البرنامج العددي).

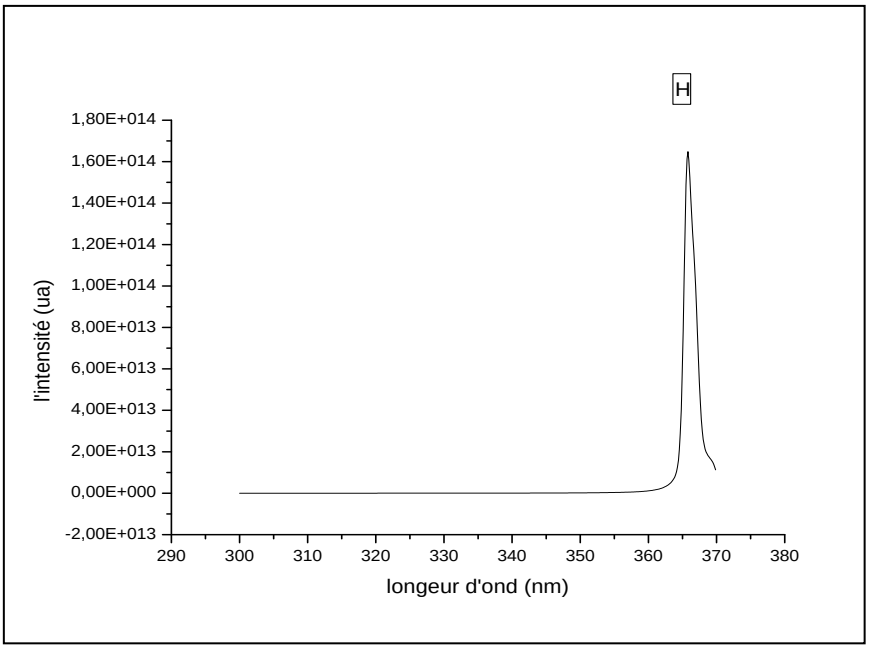


شكل (III-3): مخطط العمل

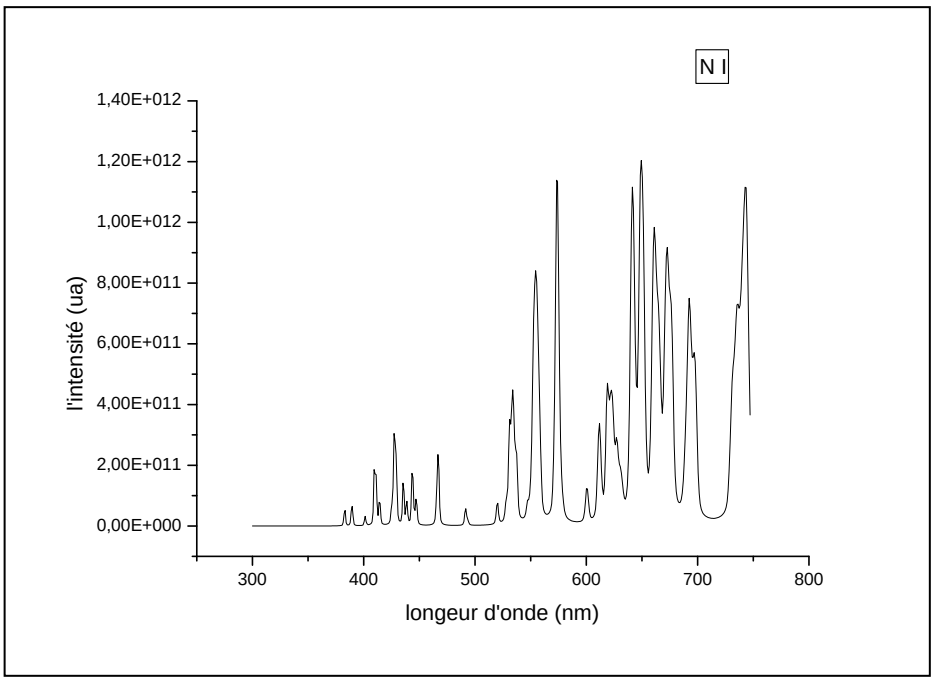
III-2-2 رسم الأطياف النظرية للغازات و الشوائب المحتملة: نقوم برسم الأطياف النظرية للغازات CI،HI ، NI وكذلكOI و بعض الشوائب المتوقع وجودها في العينة بالاعتماد على قاعدة المعطيات الدولية للفيزياء الذرية [17] بفرض أن العينة في توازن ترموديناميكي.



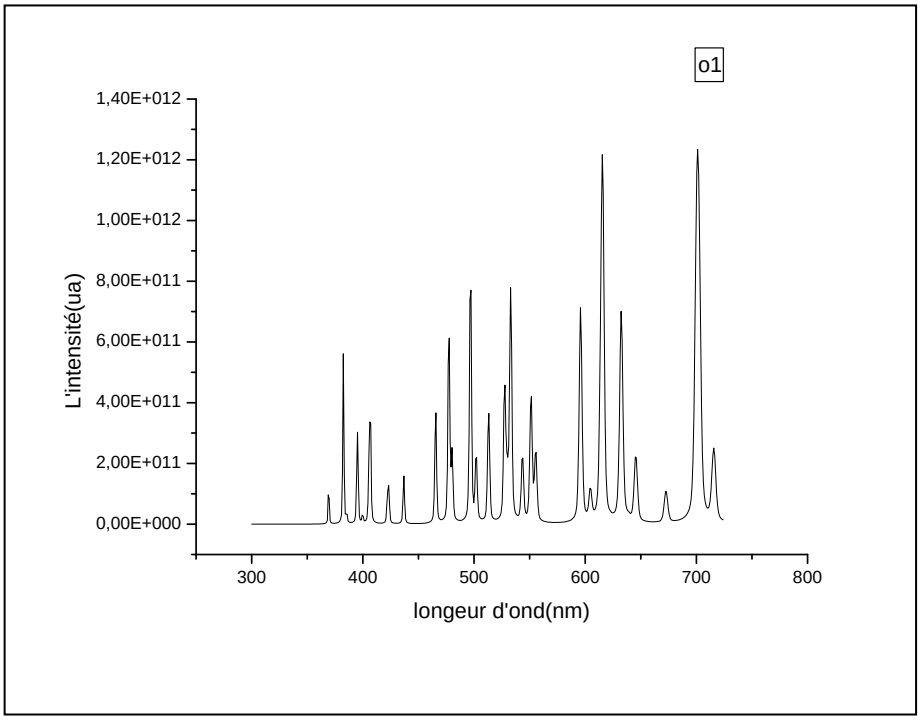
الشكل (III-4): طيف ذرة الكربون النظري في المجال 300-600(nm)



الشكل (III-5): طيف ذرة الهيدروجين النظري في المجال 300-380(nm)



الشكل (III-6): طيف ذرة الازوت النظري في المجال 300-750(nm)



الشكل (III-7): طيف ذرة الأكسجينالنظري في المجال 300-750(nm)

III-2-3 المقارنة و تحديد الأطياف: لمقارنة الأطياف النظرية التي قمنا برسمها بواسطة البرنامج العددي وفق مجال الطول الموجي وبالاعتماد على قاعدة المعطيات الذرية[25]، حيث لاحظنا وجود تطابق في بعض المجالات النظرية للغازات وبعض الشوائب المتوقعة حيث يتم مناولتها في الجدول التالي(III-1):

الجدول (III-1): جدول تطابق في بعض المجالات النظرية للغازات

الشدة التجريبية(exp) (cm)	الطول الموجي $\lambda_{(nm)}$	العنصر
1.4	510	CI
0.8	365	HI
2.2	560	NI
3.6	700	OI
2.5	600	OI
1.1	476	CI
5.4	750	NI
1	470	NI
3.3	650	NI

II-2-4 تشخيص الوسط و حساب درجة الحرارة

- **حساب درجة الحرارة الالكترونية للوسط:** لتحليل الأطياف توجد عدة طرق كما شرحنا سابقا، ومن بينها سنطبق في عملنا هذا طريقة بولتزمان التي تعتمد على حساب نسبة الشدة بين طيفين، و من اجل دقة النتائج و لتفادي التقريب في حساب دوال التوزيع للعناصر المتواجدة في الوسط سنختار طيفين من نفس النوع و نفس الحالة أيضا.

من أجل حساب درجة حرارة الوسط نختار طيفي الأكسجين والذين لهما طول الموجة700 و600 (nm) ونطبق طريقة بولتزمان حسب المعادلة (II-19).

الجدول(III–2): معطيات الفيزياء الذرية للانتقالات المختارة للأكسجين

	العنصر	طول الموجة	Aj	Ei	Ej	gi	gj	Iexp
1	OI	604.6438	1.75e+06	10.9888615	13.0388269	5	3	2.5
2	OI	700.2230	3.53e+06	10.9888615	12.7590122	5	7	3.6

بالاعتماد على القيم المعطاة في الجدول(III–2) وبتطبيق العلاقة (II–18) (II–19) نجد:

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

$$K_B T(eV) = \frac{(E_k - E_i)}{\left(ln\left(\frac{I_{ij} . g_k . A_{kl} . \lambda_{ij}}{I_{kl} . g_i . A_{ij} . \lambda_{kl}}\right)\right)} \qquad (19.\mathrm{II})$$

$$K_B T(eV) = \frac{(0.278)}{(ln(0.35))} = 0.26\ (ev)$$

حيث $K_B = 8.617.10^{-5} ev/k$:

و منه نجد درجة الحرارة T=3017.29k

الجدول (III–3): معطيات الفيزياء الذرية للانتقالات المختارة الازوت

	العنصر	طول الموجة	Aj	Ei	Ej	gi	gj	Iexp
1	NI	558.0083	2.00e+05	11.7638463	13.9851354	8	8	5.4
2	NI	748.5178	7.97e+05	12.0096115	13.6655515	6	4	2.2

بالاعتماد على القيم المعطاة في الجدول(III–3) وبتطبيق العلاقة (II –18) (II –19) نجد:

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

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

$$K_B T(eV) = \frac{0.38}{\left(ln\left(\frac{(5,4.2.8.748,5)}{(2,2.8.4.558)}\right)\right)} = \frac{0,24}{(\ln(1,645))} = 0.48$$

و منه درجة حرارة الإلكترونية هي:T=5604K

من خلال الأطياف الذرية المحصل عليها وبعد المقارنة تمكنا من تحديد العناصر المسؤولة عن الإصدارات الطيفية للعينة المدروسة حيث اتضح أنها تحوي بنسبة كبيرة عنصر الازوت والأكسجين بالإضافة إلى الهيدروجين والكربون.

كما تمكنا من حساب درجة حرارة الوسط.

نلاحظ اختلاف ما بين قيمتي درجة الحرارة الالكترونية ما بين المحسوبة باستخدام ذرة الأكسجين وكذلك المحسوبة باستخدام ذرة الازوت، ويرجع هذا الاختلاف إلى أن نسبة تواجد الازوت أكبر من نسبة تواجد الأكسجين بالوسط كما يمكن أن نفسر هذا الاختلاف لكون الوسط ليس في توازن ترموديناميكي مما يؤدي إلى خلل في الإصدارات الطيفية لعناصر الوسط.

- **حساب نسبة تواجد الأكسجين و الازوت بالوسط:**من خلال الطيف التجريبي سنحاول تحديد نسبة تواجد كل من الازوت والأكسجين بالعينة المدروسة.

وسنطبق قانون بولتزمان المتعلق بنسبة الشدة ما بين طيفين، وسنحتاج هنا إلى المعايرة الرقمية للأطياف النظرية باستخدام البرنامج العددي المعد سابقا.

مبدأ عملية المعايرة و تحديد النسب يرتكز أساسا حول اختيار طيف تجريبي الازوت وليكن I_{N750} وطيف أخر للأكسجين و ليكن I_{O700} ،وينبغي أن تتساوي النسبة التجريبية مابين الأكسجين و الازوت مع النسبة النظرية

وأعطت نتيجة المعايرة الرقمية النتائج التالية:

جدول (III-4): نسب الازوت و الأكسجين

العنصر	النسبة
الازوت	83.30%
الأكسجين	16.60%

من خلال هذه النتائج نلاحظ إنها قريبة من النسب الحقيقية والمعروفة مسبقا حيث:

78%أزوت و 21%أوكسجين

يعود هذا الفارق إلى احتمال وجود تداخل ما بين الأطياف المختارة مع أطياف لعناصر أخرى حيث يؤثر هذا التداخل على الشدة التجريبية.

كما انه خلال المعايرة الرقمية قمنا بإهمال باقي العناصر وهذا ما يؤثر حتما على النسب المحسوبة.

خلاصة عامة

خلاصة عامـة

في عملنا هذا تمكنا من تحديد تركيبة الغلاف الجوي وطبقة التروبوسفير انطلاقا من دراسة الأطياف الناتجة عن البلازما المتشكلة إثر تحليل الطبقة بتقنية الليزر، ولإتمام دراستنا هذه قمنا بعرض شامل نوعا ما حول الغلاف الجوي وتركيبته والتوزيع الأفقي والراسي له. وقمنا أيضا بالتعرف على الحالة من حالات المادة وهي البلازما (تعريفها وخصائصها)، وقمنا بعرض حول عموميات الليزر (تعريفه أنواعه....) كما تم تعريف الأطياف الذرية و التعريضات الممكنة. وتم أيضا عرض المطيافية المستخدمة في عملنا هذا والمبنية على تقنية "LIBS "، حيث تم شرح وتوضيح التركيب التجريبي الذي من خلاله تحصلنا على الأطياف التجريبية المتعلقة بالعينة الهواء.

و تم التطرق كذالك لطريقة و النمودج المتبع من اجل تشخيص هذه العينة وذلك اعتمدنا على دراسة الاطياف الناتجة، حيث تحصلنا على نتائج درجة الحرارة الالكترونيةللوسط في حدود T_e=5604 K بطبيق طريقة بولتزمان لاطياف من للازوت

و كما قمنا أيضا بحساب نسبة تواجد كلا من الازوت و الاكسجين بالوسط و تحصلنا على 83.30%_أزوت و 16.6% أوكسجين وهما قريبتان من النسب المعروفة

ومن أجل نتائج أكثر دقة سنسعى مستقبلا إلى أخد بعين الاعتبار جميع مكونات الوسط من اجل تحديد نسب عناصر الوسط بشكل أدق.

قائمة المراجع

قائمة المراجع:

[1]الموقع الالكتروني www.elbassair.net

[2] المؤلف د. إبراهيم محمّد على بدويهنة 1430 هجرية.

[3] وليد مصطفى صهيوني، مقدمة في الفيزياء البلازما، يونيو2006، سلطنة عمان.

[4] علي إبراهيم مهدي العزاوي، الكهرومغناطسيات، الجامعة المنتصرية، بغداد.

[5] A. Dinklage,T. Klinger, G. Marx, L. Schweikhard, Plasma Physic Springer,, Berlin2005.

[6] Jean-Loup Delcroix et Abraham Bers, "physique des Plasma", Inter Editions /CNRS Editions (1994).

[7] اسماعيل شيحي، حساب دوال الحقل الكهربائي الموضعي ومشتقاتها داخل البلازما باستخدام المحاكاة العددية مونتي كارلوتطبيقا على طيف الهليوم، رسالة دكتوراه دولة، جامعة منتوري قسنطينة2005.

[8] د. يوسف مولود حسن . صالح مصطفى الأتروشي، تقنيات الليزر واستخداماته، كلية الهندسة جامعة دهوك. طبعة (1) 2008.

[9] صالح مصطفى الأتروشي. رياض وديع يوسف، الليزر و أسس واستخدامات، كلية الهندسة جامعة دهوك. طبعة (1) 2008.

[10] د. سعود بن حميّد الليحاني، الليزر وتطبيقاته، تأليف جامعة أم القرى.

[11] د. محمّد الكوسا: أستاذ مساعد في قسم الفيزياء فيزياء الليزر وتطبيقاته. (جامعة دمشق 2006/2005)

[12] بيلا آ.ليكيل. جامعة فرنالدو، الليزرات، ترجمة فاروق عبودي قصير، جامعة الموصل 1984م – 1403هـ.

[13] دكتور: محمّد خليل أبو زلطه.أمجد حسين أبو جزر.مصباح جمعة عقل. زياد عبد الكريم القاضي. فيزياء الضوء والصوت والفيزياء الحديثة (النظرية النسبية والاشعاع والفيزياء الذرية). الطبعة العربية الأولى2010م-1431هـ،عمان-الأردن.

[14] سميحة بضياف: دراسة التركيب الجزيئي لرمل كثبان منطقة ورقلة، باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الاحمر وحيود الاشعة السينية 2012.

[15]الموقع الالكتروني: http://www.bytocom.com/vbshowthread. php

[16] د.فواز سيوف.الأطياف في الفلك أستاذ المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته- جامعة دمشق.

www.saaa-sy org.

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

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

[19] Moussa O. cheibetta, contribution à la théorie d'élargissement des raiesSpectralesémise par les plasma : Application la raie Ly-α de l'atome del'hydrogène, Doctorat de 3 émecyle, Université cheikh AntaDiop de Dakar-Sénégal,2004 .

[20] L- BenMabrouk, ''Etude spectres d'émission d'ions de Déposition sur couches Mémoire de Magister Université de Ouargla2003.

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

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

[23] www.hazemakeek.

[24] LA LIBS: Les Applications d'un LASER d'Analyse، des Systémes nucléaires à l'Exploration spatiale. Commissariat à l'énergie atomique. Paris,20 juin 2014.

[25] NAST Atomic Spectra Database، http//physics.nist.gov

[26] LoïcPATATUT,’Développement d'un dispositif de LIBS pour l'analysequantitative ‘, thèse de doctorat L’UNIVERSITÉ GRENOBLE,2015