

جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء

رقم الترتيب :

الرقم التسلسلي :



مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

فرع : فيزياء

التخصص : فيزياء الإشعاعات، كاشف وبصريات إلكترونية

من إعداد الطالبة: بن خناثة بدر

بعنوان :

حساب درجة الحرارة الإلكترونية أثناء تأين غاز الأرجون خلال غرف التفريغ
الكهربائي (استقطاب RF)

نوقشت يوم 23 / 05 / 2016.

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

محمدي لزهر	أستاذ محاضر ب	جامعة ورقلة	رئيسا
لمقدم سومية	أستاذ مساعد أ	جامعة ورقلة	مناقشا
بن مبروك لزهر	أستاذ محاضر ب	جامعة ورقلة	مشرفا

الموسم الجامعي 2015 / 2016

الأهداء

إلى منار العلم إلى الأمي الذي علم المتعلمين إلى سيدي الخلق أجمعين إلى رسولنا الكريم محمد صلى الله عليه وسلم .

إلى كل من كلله الله بالهيبه والوقار ... إلى من علمني العطاء بدون انتظار ... إلى من احمل اسمه بكل افتخار ... أرجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوما اهتدي بها اليوم وفي الغد والى الأبد .

والدي العزيز

إلى ملاكبي في الحياة ... إلى من علمني الحب وإلى معنى الحنان ، والتفاني ... و إلى بسمه الحياة وسر كل الوجود إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحني إلى أغلى الأحاب .

أمي الحبيبة

إلى من أرى التفاؤل بأعينهم ... والسعادة في ضحكتهم إلى الوجوه المفعمة بالبراءة ولحبتكم أزهرت أيامي وتفتحت براعم الغد .

إخوتي وأبناء عمي

إلى أخواتي التي لم تلدهن أمي ... إلى من تحلو بالإخاء و تتميزو بالوفاء والعطاء وينابيع الصدق الصافي إلى من سعدت برفقتهم في دروب الحياة الحلوة والحزينة و إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير والى من عرفت كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم .

صديقاتي

« خاصة بن علي جهاد ، بن الشيخ سلمى ، تلي سميرة ، معبدي مبروكة ، محمدي زينب »

إلى الروح التي سكنت روحي

اهدي هذه المذكرة لهم .

الشكر والامتنان

الحمد لله رب العالمين الذي ميز طريق الهداية في متاهات الغواية ،اللهم اجعل أعمالي فلاحا وأخرها نجاحا ،اللهم أخرجني من ظلمات الوهم وأكرمني بنور الفهم ،والصلاة والسلام على خير الأولين و الآخرين رسول الله صلى الله عليه وسلم .

ولا يسعني أن أضع اللمسات الأخيرة لهذه المذكرة إلى أن أتقدم بوافر الشكر والامتنان إلى أستاذي ومشرفي الفضيل بن مبروك زهر لاقتراحه موضوع المذكرة وإشرافه عليها ومتابعتها والى الدعم المتواصل أثناء فترة البحث ،أسأل الله له دوام الصحة والعافية وأن يحفظه خدمة العلم .

وأتقدم بالشكر الجزيل إلى الأستاذ خلفاوي فتحي أستاذ تعليم عالي بجامعة قاصدي مرياح على كل الجهود التي بذلها أثناء الفترة الدراسية .

كما أتقدم بشكري للأستاذ محمدي زهر أستاذ محاضر بجامعة قاصدي مرياح ورقلة رئيس لجنة المناقشة ، كما أشكر الأستاذة لمقدم سمية أستاذة مساعدة بجامعة قاصدي مرياح ورقلة اللذين شرفاني بقبولهم مناقشة هذه المذكرة .

وأتقدم بالشكر الجزيل إلى جامعة قاصدي مرياح ورقلة وقسم الفيزياء لإتاحتهم الفرصة لإكمال مسيرتي العلمية .

وأقدم شكري وعرفاني بالجميل إلى أفراد أسرتي لمنحهم الدعم والتشجيع خلال دراستي وخاصة أبي الغالي وأقدم امتناني إلى عمي عبد الوهاب داعية من الله عز وجل أن يمدده بالصحة والعافية ،وشكري وتسامحي إلى كل من وضع العثرات في طريقي ليجعلني أكثر قوة وإيمانا وصبرا في هذه الحياة .



قائمة الأشكال

قائمة الجداول

01..... مقدمة عامة

الفصل الأول :عموميات حول البلازما والرش المهبطي

03..... مقدمة

03..... 1-1- البلازما الباردة.....

03..... 1-1-1- معاملات البلازما

03..... 1-1-1-1- درجة التأين.....

04..... 1-1-1-2- درجة الحرارة الإلكترونية والأيونية

05..... 1-1-1-3- كثافة الجسيمات ودوال التوزيع.....

05..... 1-1-1-4- طول ديبياي

05..... 1-1-1-5- تردد البلازما.....

06..... 1-1-1-6- معامل لبلازما η (المقاومة النوعية)

04..... 1-1-1-7- نصف قطر الكرة الإلكترونية والأيونية

07..... 1-1-1-8- كرة ديبياي.....

08 1-2- القوانين الإحصائية للتوازن

08..... 1-2-1- توزيع ماكسويل بولتزمان.....

09 1-2-2- توزيع بولتزمان

09 1-2-3- قانون ساها إغريت.....

09..... 1-2-4- قانون بلانك.....

10..... 1-3- نماذج التوازن في البلازما.....

10..... 1-3-1- التوازن الحراري الكلي والكامل (ETT).....

11..... 1-3-2- التوازن الحراري المحلي (ETL).....

11..... 1-3-3- التوازن الحراري الجزئي المحلي (ETP).....

11..... 1-3-4- البلازما غير المتوازنة (ET).....

- 11 4-1- فعل زيمان الضعيف
- 11 5-1- الرش المهبطي
- 11..... 1-5-1- الطرق العامة لتوضع الطبقات الرقيقة
- 12..... 1- التوضع الكيميائي للطور البخاري
- 12..... 2- التوضع الفيزيائي للطور البخاري
- 13..... 1-5-2- التوضع بطريقة الرش المهبطي
- 13..... 1-2-5-1- المبدأ العام للرش المهبطي
- 14 2-2-5-1- أنواع الرش المهبطي
- 16 1-3-2-5-1- الرش المهبطي المغنطروني
- 16..... 1-3-2-5-1- التأثير المغنطروني
- 18..... 1-2-3-2-5-1- أنواع المهابط المغنطرونية

الفصل الثاني: الأطياف الذرية

- 19..... مقدمة
- 19 1-2- تعريف الأطياف
- 20 2-1-1- أنواع الأطياف
- 21..... 2-1-2- الطرق المستعملة لتحليل الأطياف
- 22..... 2-1-2-1- شدة الخطوط الطيفية
- 22..... 2-1-2-1-2- شدة الخطوط الطيفية الذرية
- 22..... 2-1-2-1-2- شدة الخطوط الطيفية الجزئية
- 22..... 2-3-1-2- تحديد درجة حرارة الإلكترون
- 22..... 2-3-1-2-1- نسبة الشدة بين الخطين
- 23..... 2-3-1-2- طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان
- 24..... 2-2- مختلف ظواهر التعريضات
- 24..... 2-2-1- التعريض الطبيعي
- 24..... 2-2-2- تعريض دوبلر
- 25..... 2-2-3- تعريض ستارك

- 25.....شكل الخط-3-2
- 25..... شكل غوص -1-3-2
- 25 شكل لورنتز -2-3-2
- 26..... شكل فويت -3-3-2
- 26..... الشكل المركب-4-3-2

الفصل الثالث: تحليل أطياف الأرجون

- 28لمحة عن الأرجون-1-3
- 28..... ذرة الأرجون -1-1-3
- 3
- 29..... طرق التشخيص 2-1-3
- 29.....-التشخيص الطيفي 1-2-1-3
- 30وصف الجهاز التجريبي-2-2-1-3
- 32..... دراسة الأطياف التجريبية للأرجون -3-2-1-3
- 32.....-البرنامج الرقمي-4-2-1-3
- 33..... تحضير قاعدة المعطيات الفيزياء الذرية لعنصر الأرجون-5-2-1-3
- 34.....رسم الأطياف الذرية النظرية-6-2-1-3
- 38.....طريقة التحليل الطيفي-7-2-1-3
- 40..... حساب درجة الحرارة-8-2-1-3
- 40.....مناقشة وتحليل النتائج-9-2-1-3
- 41.....خاتمة

قائمة المراجع

الملحق

قائمة الأشكال

الفصل الأول :عموميات حول البلازما والرش المهبطي

- الشكل (1-1): يمثل كرة ديباي.....08.....
- الشكل (2-1) :مخطط تصنيف طرق توضع الطبقات الرقيقة 12.....
- الشكل (3-1):رسم تخطيطي لمبدأ الرش المهبطي 14.....
- الشكل (4-1) :رسم تخطيطي للرش المهبطي المستمر DC..... 15.....
- الشكل (5-1) :مبدأ الرش المهبطي المتناوب 16.....
- الشكل (6-1): تأثير الحقل المغناطيسي على مسار الإلكترونات..... 17.....

الفصل الثاني :الأطياف الذرية

- الشكل (2-1) :أنواع الطيف..... 23.....

الفصل الثالث :تحليل أطياف الأرغون

- الشكل (3-1) : يمثل مخطط لجهاز القياس البصرية المستخدمة للكشف عن انبعاثات البلازما في المدى المرئي (350-850)..... 31.....
- الشكل (3-2) :يمثل الأطياف التجريبية الناتج عن انبعاثات لبلازما لعنصر الأرغون تحت استطاعة 400 واط..... 31.....
- الشكل (3-3) :يمثل مخطط للبرنامج المستخدم..... 33.....
- الشكل (4-3) : طيف الأرغون عند طول الموجة [670-840-nm]..... 56.....
- الشكل (3-5) :طيف الأرغون عند طول الموجة [650- 740nm]..... 35.....
- الشكل (3-6) : طيف الكربون عند طول الموجة [675-805 nm]..... 36.....
- الشكل (3-7) : طيف الكربون عند طول الموجة [675- 830 nm]..... 36.....
- الشكل (3-8) :طيف الأكسجين عند طول الموجة [670-800 nm]..... 37.....
- الشكل (3-9) : طيف الأكسجين عند طول الموجة [665- 8258nm] 37.....
- الشكل (3-10) :طيف الأكسجين عند طول الموجة [650- 785 nm] 38.....

قائمة الجداول

الفصل الأول: عموميات حول البلازما والرش المهبطي

الجدول (1-1): المقارنة بين خصائص الرش المهبطي العادي والرش المهبطي المغنطروني
18.....

الفصل الثالث: تحليل أطياف الأرغون

الجدول (3-1): يمثل معطيات الفيزياء الذرية من أجل الانتقالات الموجودة في الطيف
التجريبي لعنصر ArI.....
38.....

الجدول (3-2): يمثل معطيات الفيزياء الذرية من أجل الانتقالات الموجودة في الطيف
التجريبي لعنصر ArII.....
39.....

الجدول (3-3): يمثل معطيات الفيزياء الذرية من أجل الانتقالات الموجودة في الطيف
التجريبي لعنصر OI.....
39.....

الجدول (3-4): يمثل النتائج المتحصل عليها من خلال حساب درجة الحرارة الإلكترونية
40.....

مقدمة عامة

المقدمة العامة

تعد تقنية الطبقات الرقيقة واحدة من أهم التقنيات التي عرف استخدامها تطورا سريعا في مجال الميكرو إلكترونيك إذ تدخل في

تركيب الأجهزة الالكترونية (تصنيع الخلايا الشمسية والضوئية ، صناعة الكواشف والوقاية من التآكل والتأكسد [1]).

هناك تقنيات كثيرة ومتنوعة لتوضع الطبقات الرقيقة نذكر منها [2] :

1/ التوضع الكيميائي للطور البخاري (CVD) (Chemical Vapor Deposition).

2/ التوضع الفيزيائي للطور البخاري (PVD) (Pyhsical Vapor Deposition).

تعتمد هاتان التقنيتان أساسا على عملية التفريغ المتوهج للغاز وتمتازان عن غيرهما من التقنيات بإمكانية توضع المواد العازلة والناقلة

ونصف ناقل [3]، ومن أهم طرق التوضع البخاري للطور الفيزيائي الأكثر استعمالا طريقة الرش المهبطي الذي يتميز بسرعة توضع

ومردود رش كبيرين بالإضافة إلى إمكانية تحسينها بتطبيق حقول مغناطيسية موازية لسطح المهبط [4].

وتعتمد أساسا على وجود البلازما بالوسط. ولتحسين خصائص الطبقات المتوضعة بطريقة الرش المهبطي ركز الباحثون أكثر على

دراسة البلازما المستعملة كوسيط، وتحديد خصائصها الكهربائية وتأثير العوامل الماكروسكوبية على هذه الخصائص تجريبيا ونظريا .

تم دراسة البلازما تجريبيا باستخدام طرق التشخيص، كطريقة الإصدار الضوئي والتشخيص بمطياف الكتلة أو باستخدام

التحليل الطيفي، أما بالنسبة للدراسة النظرية فقد اقترحت عدة نماذج من بينها نماذج تعتمد على المحاكات والبرمجة العددية بلغة

الفورتران مثلا، ونحتاج غالبا إلى تنفيذ هذه البرامج إلى قاعدة المعطيات الفيزياء الذرية وكذا تطبيق قوانين التوازن الثرموديناميكي

(قانون ماكسويل بولتزمان، بولتزمان، ساها...) بالإضافة إلى الحسابات الطيفية، (التعريض الطبيعي، دوبلر، المركب وفويت).

في هذا العمل سوف نتطرق إلى حساب درجة حرارة تأين الأرجون بالرش المهبطي المغنطروني تحت استطاعة 400 واط، وللقيام

بهذا العمل قمنا بتقسيمه إلى ثلاثة فصول :

❖ **الفصل الأول** : نتطرق فيه لدراسة موجزة عن البلازما، تعريفها معاملات البلازما كدرجة التأين، درجة الحرارة الإلكترونية

والأيونية، كثافة الجسيمات ودوال التوزيع، طول ديبي، تردد البلازما، كرة ديبي، نصف الكرة الإلكترونية والأيونية.

كما تعرفنا على القوانين الإحصائية للتوازن ونماذج التوازن للبلازما، ثم نتطرق إلى طرق توضع الطبقات الرقيقة حيث سنتكلم بشكل مفصل عن طريقة الرش المهبطي.

❖ **الفصل الثاني:** سوف نتطرق إلى تعريف الأطياف الذرية و إلى أنواعها وإلى طرق حساب درجة الحرارة بالإضافة إلى أنواع التعريضات وأشكال الخط .

❖ **الفصل الثالث:** سنتكلم في هذا الفصل على عنصر الأروغون وبعض تطبيقاته، وسنتطرق إلى شرح خطوات العمل أو بالأحرى عن البرنامج المطبق والذي تم تنفيذه من خلال قاعدة المعطيات الفيزياء الذرية، ومعرفة كيفية حساب درجة الحرارة من خلال طرق التشخيص المطبقة على البلازما .

الفصل الأول

عموميات حول البلازما والرش

المهبطي

مقدمة

ظهرت فيزياء بلازما خلال القرن العشرين كنتيجة مباشرة لدراسة الإنفراغ في الغازات [6]، حيث أن معظم المواد التي تشكل الكون هي في حالة البلازما (ما يقارب 99%) وتتشترك كل أنواع البلازما بأنها تخضع وتفسر بنفس الآليات وتديرها نفس القوانين الفيزيائية وذلك حتى باختلاف مقادير وسائطها [7]، فمنذ عام 1920 حقق هذا المجال تقدما كبير بسبب أهميته في الطبيعة وتطبيقاته الصناعية وشموله على أسس و معارف الفيزياء الحديثة، فالبلازما تشكل الحالة الرابعة للمادة في الطبيعة، وتنتج حسب تسلسل وتزايد درجة الحرارة من الحالة الصلبة فالسائلة فالغازية [6]، و استخدمت لأول مرة من قبل لانغميور عام 1923 للدلالة على غاز مضيء يحوي إلكترونات وعدة أنواع من الأيونات وبعض الذرات المعتدلة، وفي وقت لاحق عام 1929 وضع العالمان لانغميور وتونكس وصفا للبلازما بأنها مائع شبه معتدل كهربائي ومكون من جزيئات مشحونة وأخرى معتدلة وهي تسلك سلوكا جماعيا [7].

كما تتميز البلازما بنوعين البلازما الساخنة والبلازما الباردة فسوف نتطرق في هذا الفصل لمعرفة البلازما الباردة و أحد تطبيقاتها خصوصا توضع الطبقات الرقيقة في جهاز الرش المهبطي.

1-1- تعريف البلازما الباردة

نشير لبلازما الباردة للغازات ضعيفة التأين [8]، حيث تبقى درجات حرارة الأيونات والجسيمات بدرجات حرارة معتدلة (1000 كالفن)، في حين تكون الإلكترونات ذات درجات حرارة مرتفعة. تطبيقات هذه البلازما تكون في معالجة السطوح وفي تحضير مواد جديدة [6].

1-1-1- معاملات البلازما

1-1-1-1- درجة التأين

تمثل درجة التأين أحد المعايير لتصنيف البلازما [9]، وهي ظاهرة تشكل شحن حرة داخل الغاز أفقي الحالة العادية تكون الغازات بمثابة عوازل كهربائية (متعادلة كهربائيا) وتطبيق حقول كهربائية عالية التوتر تتحول إلى نواقل كهربائية، وتسمى هذه الظاهرة بالتأين الكهربائي لغاز أو التفريغ الغازي (بلازما التفريغ) [7]، ونسبي النسبة بين كثافة الجسيمات المشحونة (إلكترون، وأيون) والكثافة الكلية للبلازما درجة تأين الغاز وتعطى بالعلاقة التالية [9]:

$$\alpha = \frac{n_{e,i}}{n_{e,i} + n_N} \quad (1-1)$$

حيث $n_{e,i}$: تمثل الكثافة العددية للجسيمات المشحونة (إلكترونات، أيونات).

n_N : تمثل الكثافة العددية للجسيمات المحايدة.

في الغازات ضعيفة التأين (البلازما الباردة) تتراوح درجة التأين بين 10^{-6} و 10^{-4} وتحقق $\alpha < \alpha_0$

α_0 : تمثل القيمة الحرجة لدرجة التأين بحيث تظهر أفعال البلازما.

وهنا تكون الحرارة العامل القوي المتحكم بذلك [10].

1-1-1-2- درجة الحرارة الإلكترونية والأيونية

تعتبر درجة الحرارة الإلكترونية T_e وهي درجة حرارة الإلكترونات الأكثر أهمية مقارنة بدرجة حرارة الجسيمات الأخرى

(أيونات، جسيمات محايدة) في تحديد الظواهر التي تحدث البلازما [11]، كما إن الإلكترونات العامل الأكثر فعالية في تأين

البلازما في نظام متوازن ترموديناميكي والذي يحقق المعادلة التالية:

$$E_C = \frac{1}{2} m_e \langle V \rangle = \frac{3}{2} K_B T_e \quad (2-1)$$

وتعبر هذه المعادلة عن الطاقة الحركية المتوسطة مع تساوي طاقة التحريض الحراري [7].

حيث E_C : تمثل الطاقة الحركية .

m_e : كتلة الإلكترون .

T_e : درجة حرارة الإلكترونات بالكلفن (K) .

V : سرعة الإلكترون .

K_B : ثابت بولتزمان .

1-1-1-3- كثافة الجسيمات ودوال التوزيع

كثافة البلازما N تمثل عدد الجسيمات في وحدة الحجم لكل صنف (أيونات - إلكترونات - جسيمات محايدة) ويخضع توزيعها

لعبارات إحصائية تدعى دوال التوزيع f ، والتي تصنف عدد الجسيمات في اللحظة t والموضع \vec{r} :

$$F = f(t, \vec{r}, \vec{v}) \quad (3-1)$$

إذا كان الغاز في حالة توازن ترموديناميكي، وطاقة التفاعل بين الجسيمات مهملة أمام الطاقة الحركية فإن الجسيمات تخضع لتوزيع ماكسويل بولترمان، والذي يعبر عن التصادمات أثناء الحركة العشوائية، وتكتب دالة توزيع السرعات في هذه الحالة بالشكل التالي [12]:

$$f_m = \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} \exp \left(\frac{-m V^2}{K_B T} \right) \quad (4-1)$$

1-1-1-4 طول ديبي

نسمي المقدار λ_D نصف ديبي، وهو يمثل سماكة غمد ديبي أو سماكة طبقة الاختزان [7]، كما يعرف بأنه المسافة التي تتم عندها الحجب الكولوني لأي شحنة كهربائية في البلازما [4][13] وفي الجملة الدولية mks يعطى بالعلاقة [7]:

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 K T_e}{n e^2} \right)^{1/2} \quad (5-1)$$

ويمكن كتابة العلاقة بشكل مفيد على النحو التالي:

$$\text{عندما تقدر } T \text{ بالكلفن (K)} \quad \lambda_D = 6,9 \left(\frac{T}{n} \right)^{1/2} \text{ cm}$$

$$\text{عندما تقدر } KT \text{ بـ ev} \quad \lambda_D = 740 \left(\frac{KT}{n} \right) \text{ cm}$$

1-1-1-5 تردد البلازما

عند حدوث اضطراب داخلي أو خارجي في البلازما فإنه يؤدي إلى إزاحة الجسيمات (إلكترونات، أيونات) عند وضع التوازن ذلك بسبب تراكم الشحنات الكهربائية، لكنها سرعان ما تعود إلى حالتها الطبيعية [11]، هذا التصرف الذي تتميز به حيث البلازما تؤدي إلى حركة جسيمات حركة اهتزازية غير متخامد تتميز بنبض الحركة الإلكترونية والأيونية $W_{pe.i}$:

$$w_{pe.i} = \sqrt{\frac{q^2 n_{e.i}}{\epsilon_0 m_{e.i}}} \quad (6-1)$$

كما تتميز هذه الحركة بالتردد الإلكتروني والأيوني :

$$f_{pe.i} = \frac{w_{pe.i}}{2\pi} \quad (7-1)$$

$$f_{pe} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2 n_e}{\epsilon_0 m_e}} \quad (8-1)$$

$$f_{pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q^2 n_i}{\epsilon_0 m_i}} \quad (9-1)$$

$$f_{pe} = 9000 \sqrt{n_e} \quad \text{عدديا نجد :}$$

بحيث التردد f_{pe} بـ Hz وكثافة الشحنة الإلكترونية n_e بـ cm^{-3} .

بالمقارنة بين تردد البلازما والتردد المطبق من طرف المولد f نميز ثلاثة أنواع للبلازما [11]:

$$f < f_{pi} < f_{pe}$$

بلازما الترددات المنخفضة f_{pe} f_{pi} f الإلكترونيات والأيونات تتصرف وفق للحقل المطبق .

بلازما ذات التردد المذياعي (الميكرويف): $f_{pe} < f < f_{pi}$ يتراوح بين $0,5 \text{ GHz} \sim 1 \text{ MHz}$.

الأيونات تنجس داخل البلازما أما الإلكترونيات فتتصرف وفقا للحقل المطبق .

بلازما الترددات المرتفعة: $f < f_{pe} < f_{pi}$ تتراوح بين $500 \text{ MHz} \sim \text{GHz}$.

الإلكترونيات والأيونات لا تتصرف وفق الحقل المطبق .

1-1-1-6- معامل لبلازما η (المقاومة النوعية)

وهو يؤخذ بعين الاعتبار إذا كانت الطاقة الكامنة المتوسطة للجسيمات المشحونة أصغر من طاقتها الحركية ،وعندها تسلك

الجسيمات المشحونة سلوك جسيمات حرة وتنتقل في مسارات على شكل خط مستقيم وهذا الشرط يحدد بالمعامل η حيث:

$$\Omega \cdot m \quad \text{وتقدر بـ} \quad \eta = \frac{r_{av}^2}{3\lambda_D^2} \ll 1 \quad (10-1)$$

r_{av} : المسافة المتوسطة بين الأيونات [7].

1-1-1-7- نصف قطر الكرة الإلكترونية والأيونية

نصف قطر الكرة الإلكترونية: يميز نصف الكرة الإلكترونية البعد المتوسط بين إلكترونين ويعطى بالشكل التالي [14] [15]:

$$r_e = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi n_e}} \quad (11-1)$$

n_e : الكثافة الإلكترونية .

نصف قطر الكرة الأيونية: يميز نصف قطر الكرة الأيونية البعد المتوسط بين أيونين، وتعطى العبارة بالشكل التالي:

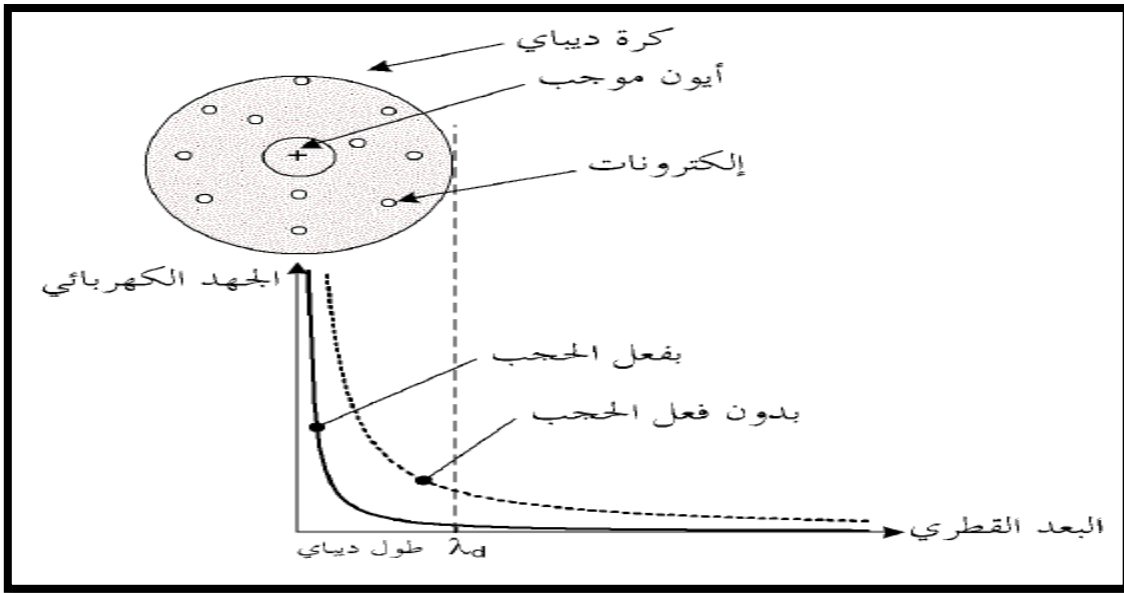
$$r_i = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi n_i}} \quad (12-1)$$

n_i : الكثافة الأيونية .

1-1-1-8- كرة ديبياي

تعرف على أنها كرة من الشحنات نصف قطرها هو طول ديبياي، تكون الشحنات داخل هذه الكرة ذات تأثير متبادل قوي فيما

بينهما، على عكس الشحنات التي توجد على حواف هذه الكرة فهي تقريبا محجوبة [10].



الشكل (1-1) يمثل كرة ديبي [10].

2-1-2- القوانين الإحصائية للتوازن

من أجل وضع قوانين مسؤولة ومختلفة عن التوازن الحراري، فإننا نفترض أن يتم إنشاء دراسة لبلازما غاز محايد في علبة معزولة من الخارج وفي درجة حرارة الغرفة (300 k) وعدم وجود مصدر كهربائي ومتوسط الطاقة الحركية للجزيئات غير كافية لإنتاج أزواج إلكترونات وأيونات عن التصادم [16].

2-1-1-1- توزيع ماكسويل بولتزمان

ينص قانون ماكسويل توزيع بولتزمان على توزيع السرعات المجهريّة v والجزيئات للإلكترونات في حالة وجود توزيع الخواص:

$$F(v)d(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{m_e}{2\pi T}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{m_e v^2}{2K_B T}\right) \quad (13-1)$$

حيث :

K_B : بولتزمان ثابت

m_e : كتلة الإلكترون .

T : درجة الحرارة .

1-2-2- توزيع بولتزمان

يعطي قانون بولتزمان توزيع الكثافة السكانية في الحالة الأساسية وكذلك النسبة في الحالة المثارة .

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{g_i}{g_0} \exp \left[-\frac{E_i - E_0}{K_B T} \right] \quad (14-1)$$

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 [17].

1-2-3- قانون ساها-أغريت (Saha- Eggert)

هذا التوازن من الخصائص التي يتم وضعها في حالة بسيطة لغاز أحادي الذرة باستخدام صيغة أنشئت في عام 1920 من قبل

عالم الفيزياء ساها .

$$\frac{N_e N_i}{N_0} = \frac{g_e g_i}{g_0} \left(\frac{2\pi m_e K_B T}{h^2} \right) \exp \left(-\frac{E_i}{K_B T} \right) \quad (15-1)$$

m_e : كتلة الإلكترون.

K_B : ثابت بولتزمان .

h : ثابت بلانك .

g_e, g_i, g_0 : هي الأوزان الإحصائية لكل الذرات المحايدة ، والأيونات والإلكترونات على الترتيب بالنسبة للإلكترونات

دائما $g_e = 2$ (لأنه لدينا حالتين للسبين) [18].

1-2-4- قانون بلانك

يعبر قانون بلانك عن كمية الطاقة التي تشع في وحدة الزمن ولكل وحدة مساحة من الجسم الأسود في درجة حرارة T في اتجاه

معين، وهذه الكمية تتوافق مع الإنارة الطيفية وتعتمد فقط على درجة الحرارة T والطول الموجي λ ، ولوصف الإشعاع الطيفي

للجسم الأسود عند درجة حرارة T القانون من قبل بلانك الذي يستخدم لتحديد المتغير المتعلق بالجسم الأسود يعطى على

النحو التالي [19] [20].

$$I_{\nu} = \frac{8h\nu^3}{c^2} \left(\exp \left(\frac{h\nu}{k_B T} - 1 \right) \right)^{-1} \quad (16-1)$$

1-3- نماذج التوازن في البلازما

يعتبر أحد التصنيفات الممكنة لمختلف أنواع البلازما، يعتمد على درجة حرارة التوازن وبالتالي نجد البلازما في الحالات التالية:

- التوازن الحراري الكلي والكامل (ETT أو ETC) .
- التوازن الحراري المحلي (ETL) .
- التوازن الحراري الجزئي المحلي (ETP) .
- وأخيرا البلازما غير المتوازنة (ET) [21].

1-3-1- التوازن الحراري الكلي والكامل (ETT)

تتميز البلازما المتوازنة كليا بنفس درجة الحرارة لجميع الأنواع العناصر المتواجدة بالوسط.

وفي ظل هذه الظروف فإن قوانين التوازن صالحة في أي لحظة [22] :

- ✓ قانون ماكسويل بولتزمان .
- ✓ قانون بولتزمان .
- ✓ قانون بلانك .
- ✓ قانون ساها saha .

ولتمييز النظام أو الوسط بشكل كامل فإنه يكفي معرفة درجة الحرارة T وكثافة الذرات N [23].

I-3-2- التوازن الحراري المحلي (ETL)

في كامل وسط البلازما وفي ظروف معينة يمكن أن تكون هناك حالة توازن حراري محلي، بحيث درجة حرارة التوازن المحلي

تكون معروفة في مكان محدد من البلازما حيث تكون قوانين التوازن صالحة محليا باستثناء قانون بلانك .

I-3-3- التوازن الحراري الجزئي المحلي (ETP)

وهو شبيه بالتوازن الحراري المحلي لكن ليس بشكل مطلق ، حيث فقط توجد بعض المستويات الطاقية للذرات المشعة تحقق شروط التوازن و بالأخص قانون بولتزمان [17].

I-3-4-البلازما غير المتوازنة (ET)

حيث نميز بالوسط ثلاثة درجات حرارة مختلفة للعناصر المشكلة للوسط (الذرات الحيدرية و الأيونات و الإلكترونات) [24]. كما أن هذه البلازما لا تحقق أي قانون من قوانين التوازن الحراري .

1-4-1- فعل زيمان الضعيف

و هو يسبب انزياحات لمستويات طاقة الذرات بفعل طاقة إضافية ناتجة عن وجود حقل مغناطيسي وهذه الطاقة الإضافية المكتسبة من طرف الذرة معرفة بدلالة ثنائي العزم المغناطيسي كالتالي [25]:

$$\Delta E_z = -g u_B \cdot B m_j \quad (17-1)$$

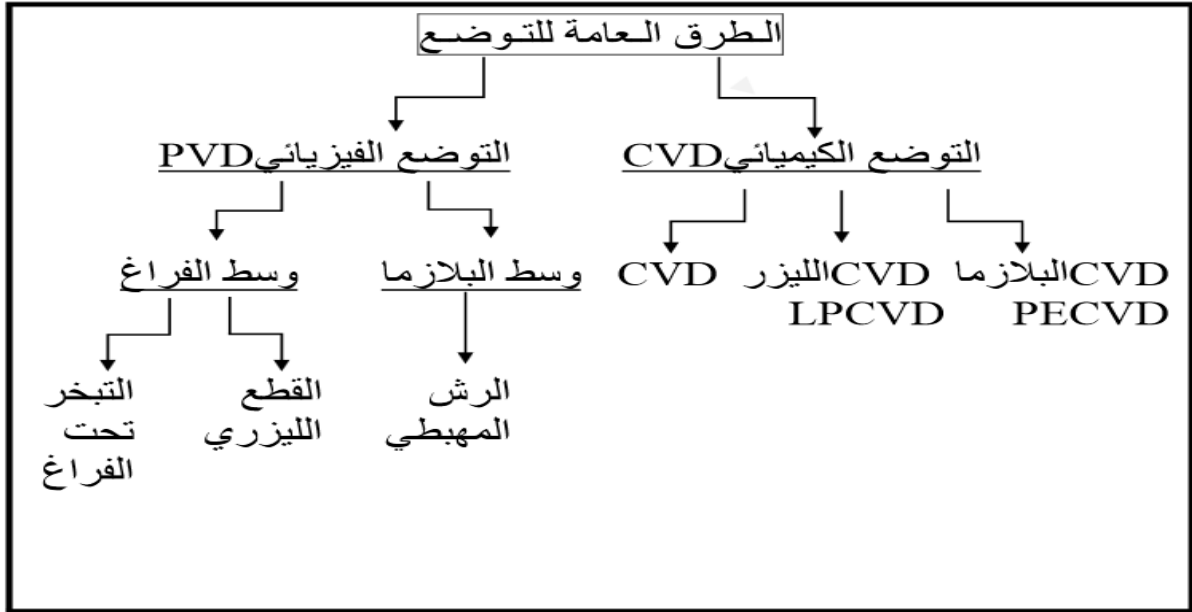
g : معامل لاندي .

$$g = \frac{3}{2} + \frac{s(s+1) - \ell(\ell+1)}{2j(j+1)} \quad (18-1)$$

1-5-1- الرش المهبطي

1-5-1- الطرق العامة لتوضع الطبقات الرقيقة

لإعداد الطبقات الرقيقة هناك عدة طرق متنوعة ، طرق فيزيائية وطرق كيميائية [26]، والطرق الرئيسية المستخدمة في الفراغ لتوضع الطبقات الرقيقة هي التوضع الكيميائي للطور البخاري و التوضع الفيزيائي للطور البخاري .



الشكل (1-2): مخطط تصنيف طرق توضيع الطبقات الرقيقة [11].

1/ التوضيع الكيميائي للطور البخاري (Chemical Vapor Deposition) CVD

يتحقق هذا التوضيع بفعل التفاعل الكيميائي بين مكونات الغاز وهي تقنية مستخدمة بكثرة في المعالجة الأسطح الصغيرة و الإلكترونيك وعلم الطيران... [21][27] حيث تتدخل في هذه الطريقة عدة وسائط كالضغط ودرجة الحرارة والبلازما... الخ .

وهذا ما يميز تصنيفها إلى عدة أصناف [28]:

LPCVD في حالة الضغوط المنخفضة .

HPCVD في حالة الضغوط المرتفعة .

إذا كان الوسط المستعمل بلازما تتحول CVD إلى PECVD للحصول على التوضيع وذلك في درجات حرارة منخفضة .

2/ التوضيع الفيزيائي للطور البخاري PVD (Physical Vapor Deposition)

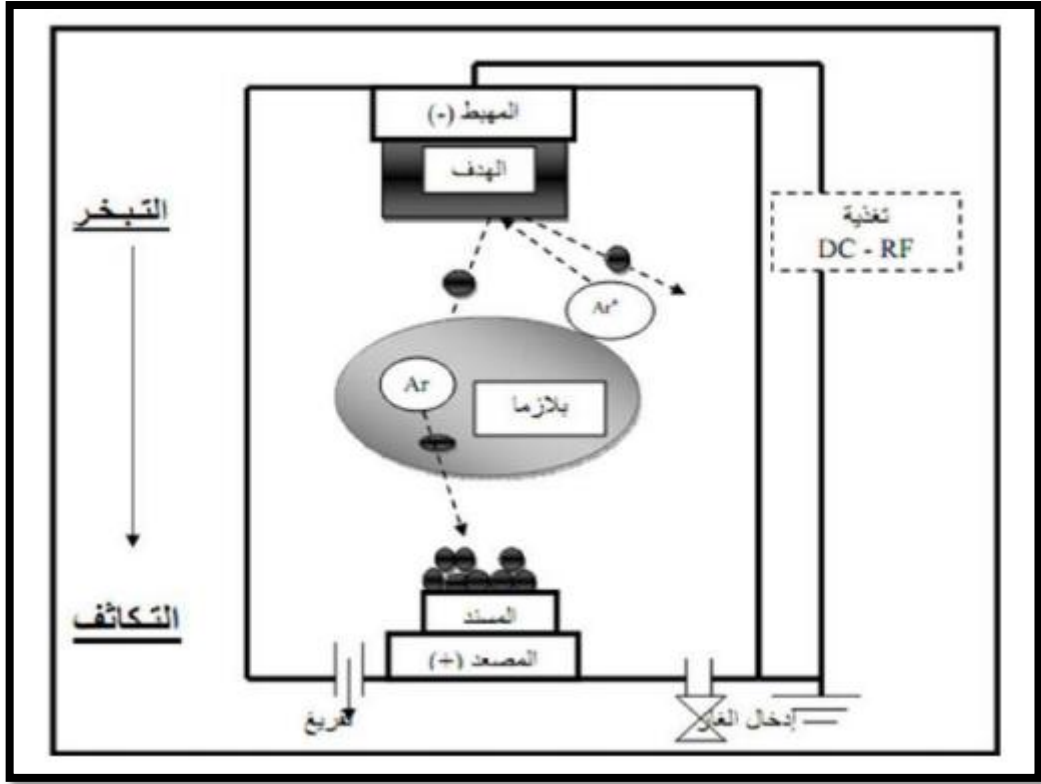
تعتمد تقنية التوضيع الفيزيائي للطور البخاري PVD على عملية التبخر الحراري للمواد تحت الضغوط المنخفضة ولها عدة مميزات مقارنة بطريقة CVD فهي غير ملوثة كما أن الطبقات المتوضعة تكون كثيفة وسهلة المراقبة [23] وتصنف إلى التبخير الحراري تحت الفراغ، الترسيب الأيوني ، ومن أهم طرق التوضيع البخاري للطور الفيزيائي الأكثر استعمال الرش المهبطي [29] .

1-5-2- التوضع بطريقة الرش المهبطي

تعتبر تقنية الرش المهبطي من بين التقنيات التي تمكننا من الحصول على الشرائح الرقيقة للمعادن [30]، حيث ظهرت هذه الطريقة منذ 1852 من Pluk ثم Grove، الذي أثبتتها باستخدام التفريغ الكهربائي بين إلكترودين ناقلين (مصعد و مهبط) يفصل طرف بينهما فراغ يحتوي على غاز حامل في ضغط منخفض، حيث ظهرت على مصعد شرائح رقيقة، استغرقت هذه الظاهرة وقتاً طويلاً وذلك لتأثير عدة عوامل منها مدى حياة الذرات، ومع مرور الزمن تمت دراستها وتطويرها لإنتاج أسرع للطبقات الرقيقة [31].

1-2-5-1- المبدأ العام للرش المهبطي

يمثل الشكل التالي الرسم التخطيطي لمبدأ الرش المهبطي، والذي يتمثل في اقتلاع مادة الهدف بواسطة قذفها بأيونات طاغوية ناتجة عن التفريغ الكهربائي للغاز (الغاز المستخدم عموماً يكون غاز حامل كغاز الأرجون) [4]، تثبت مادة الهدف على المهبط الذي يحمل جهداً سالباً (من 3 إلى 5kv) بالنسبة للمصعد وموازيًا له تفصل بينهما مسافة بضع سنتيمترات (بين 3 و 5 cm) إذا كان الضغط المطبق بين اللبوسين يتراوح بين ($1 \sim 10^2$ pa) تتسارع الأيونات الطاقوية تحت تأثير الحقل الكهربائي الناتج، متجه نحو المهبط فتتصادم مع مادة الهدف ويتبادلان كمية الحركة في ما بينهما، ينتج عن ذلك اقتلاع ذرات محايدة كهربائياً تتوضع على صفيحة مستوية متصلة بالمصعد تسمى المسند، مشكلة شريحة مجهرية تمثل الطبقة الرقيقة [32]. ويعتمد المبدأ الفيزيائي للرش المهبطي على تبادل العزم بين الأيونات و الذرات في المادة المستهدفة نتيجة حدوث التصادم [33].



الشكل (1-3): رسم تخطيطي لمبدأ الرش المهبطي [11].

تميز هذه الظاهرة بالمرود S الذي يمثل النسبة بين الذرات المقتلعة و الذرات الواردة $S = \frac{N_p}{N_i}$

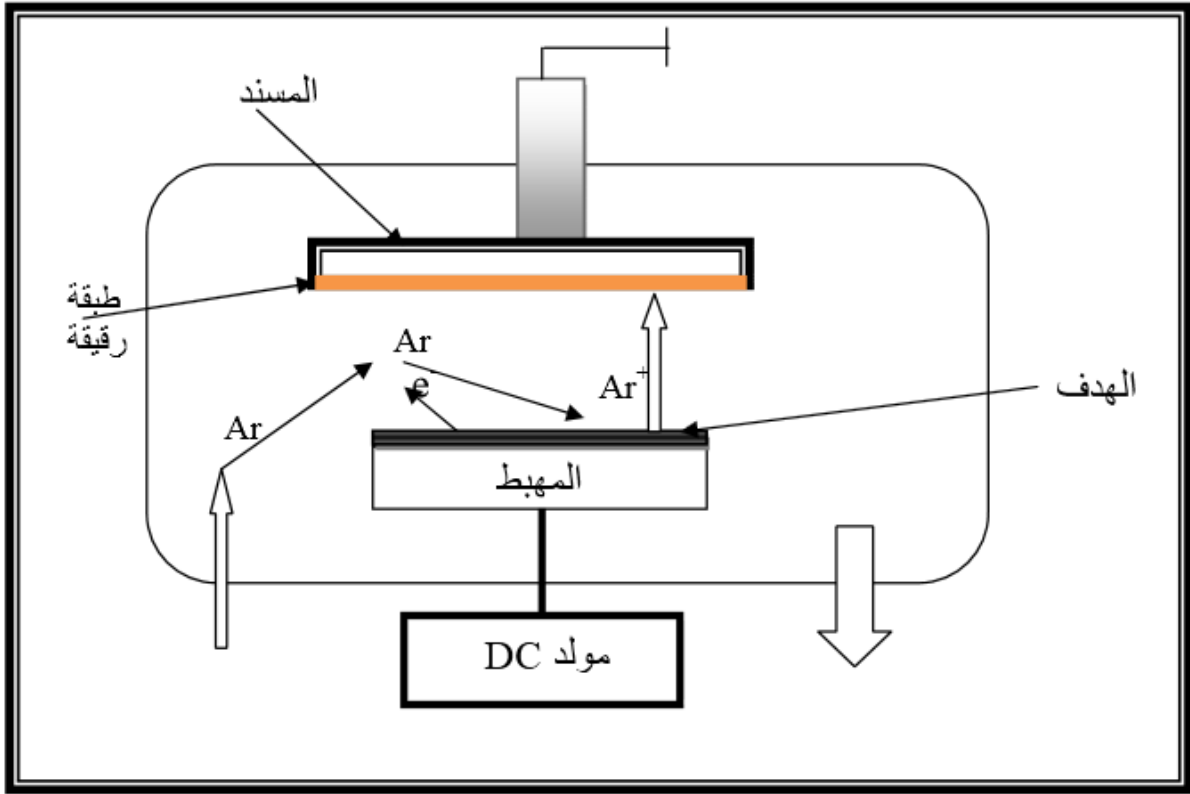
يتعلق هذا المرود بالمعاملات التالية :

- ✓ طبيعة الهدف (المادة وحالة السطح).
- ✓ طبيعة الأيونات الواردة (أيونات غاز نادر أو غاز فعال) .
- ✓ طاقة الأيونات الواردة .
- ✓ زاوية الورد .

1-2-2-5- أنواع الرش المهبطي

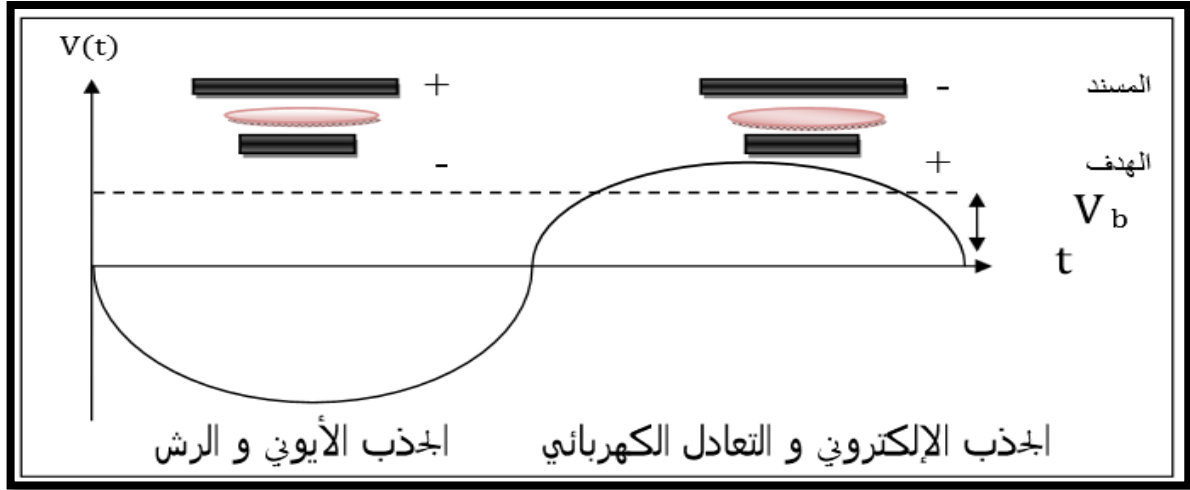
1- الرش المهبطي المستمر: الرش المهبطي يسمح فقط بتوضع المواد الناقلة أو نصف ناقلة ،حيث يتم تطبيق جهد سالب ومستمر على المهبط [34]، مما يولد تفريغا كهربائيا (تأين الغاز) وظهور أيونات طاقوية ذات طاقة حركية عالية ،تتجه نحو المهبط

اقتلاع ذراته وترسبها على المسند، مشكلة طبقة رقيقة [35].



الشكل (1-4): رسم تخطيطي للرش المهبطي المستمر DC [11].

2- الرش المهبطي المتناوب: إذا كانت مادة الهدف عازلة فإن الجهد المستمر المطبق لا يمكنه فصل الشحنات المحمولة مع الأيونات والتي تتراكم على سطح الهدف مشكلة مجالاً كهربائياً يعمل على إبعاد الأيونات [36]، إذا طبقنا جهداً متناوباً يزول فعل هذا المجال الكهربائي خلال الاهتزازة السالبة حيث يتم الجذب الأيوني نحو المهبط إلى أن تشحن بكمون موجب، في هذه المرحلة تحدث عملية الرش وتوضع الطبقات [11].



الشكل (1-5): مبدأ الرش المهبطي المتناوب [11].

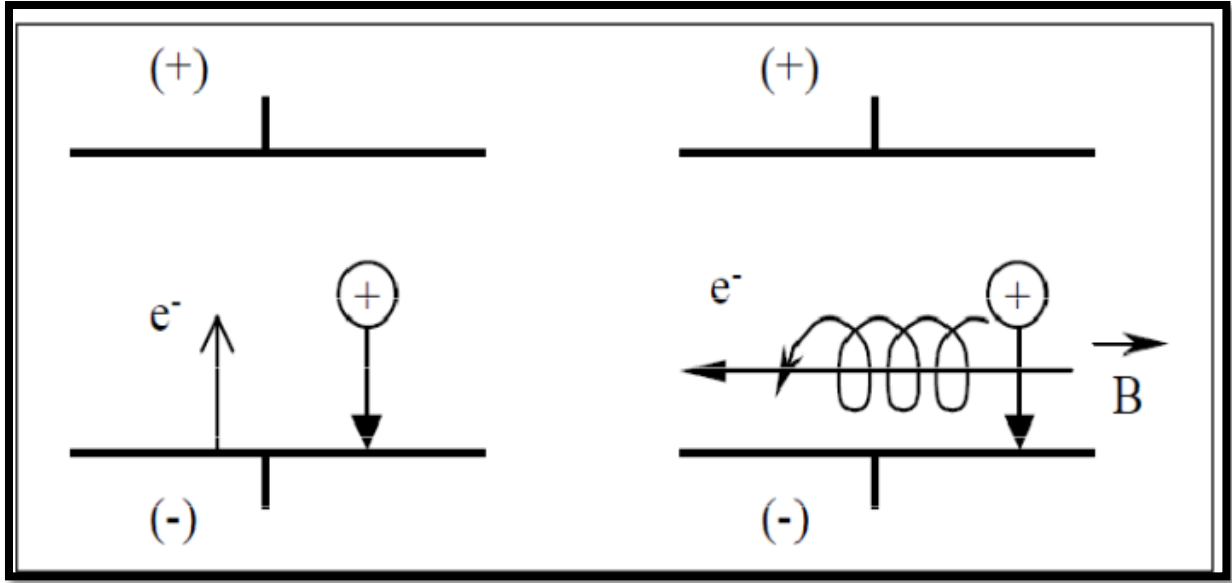
3- الرش المهبطي للصمام الثلاثي: لتسهيل عملية إنتاج إلكترونات إضافية في البلازما يمكن استعمال سلك ساخن يلعب دور مصعد ثان يطبق عليه استقطاب سالب بالنسبة للبلازما ويتم إخراج الإلكترونات الصادرة حرارياً للحفاظ على الضغط الضعيف بحصر سلك الرش بفرق جهد يتراوح (10 و50 فولت) [35].

1-5-2-3 - الرش المهبطي المغنطري

هو تطبيق مجال مغناطيسي موازي لسطح الهدف الذي يسمح بحصر مسارات الإلكترونات بجوار الهدف وبالتالي زيادة معدل تأين وسرعة التوضع [37].

1-5-2-3-1 - التأثير المغنطري

إن التراكب الحقل الكهربائي \vec{E} لغمد البلازما والحقل المغناطيسي \vec{B} المطبق يؤثر على الشحنات الكهربائية بقوة لورنتز حيث الحقل المغناطيسي المطبق \vec{B} يجسب الإلكترونات الواردة للهدف إذا كان تردد التصادم (إلكترون - أيون) أصغر من التردد السيليكوني للإلكترونات، ويغير مسارات دائرية حول خطوط الحقل المغناطيسي مما يزيد من كثافتها في هذه المنطقة بالقرب من الهدف، حيث تسمح بارتفاع نسبة تأين ذرات الغاز وبالتالي زيادة القذف الأيوني للهدف الذي ينتج عنه ارتفاع مردود الرش المهبطي وسرعة التوضع [37].



الشكل (1-6): تأثير الحقل المغناطيسي على مسار الالكترونات [11].

الرش المهبطي المنغطوني يسمح بالحصول على سرعة التوضع للطبقات الرقيقة أكثر منها في الرش المهبطي العادي

وتتعلق هذه السرعة بـ :

- ✓ المادة المتوضعة.
- ✓ غاز التفريغ المستعمل .
- ✓ المسافة بين المسند والهدف .
- ✓ الضغط :السرعة تناقص كلما زاد الضغط المطبق .
- ✓ كثافة الاستطاعة الإلكترونية المطبقة على الهدف.

الجدول (1-1) : المقارنة بين خصائص الرش المهبطي العادي والرش المهبطي المغنطروني [11].

نوع التفريغ	عادي (مستمر - متناوب)	مغنطروني
الضغط	1~100 Pa	0.1~10 Pa
متوسط المسار الحر	<1cm	>1 cm
التيار الأيوني على الهدف	1mA.cm ⁻²	>10mA.cm ⁻²
الجهد المطبق	1.5 ~3 KV	<1KV
سرعة التوضع	5 ~ 50 nm.min ⁻²	= μ m.min ⁻¹

1-5-2-3-2-أنواع المهابط المغنطرونية

تصنف المهابط المغنطرونية حسب اتجاه خطوط الحقل المغناطيسي إلى نوعين [11]:

المغنطروني المتوازن : تكون فيه جميع خطوط الحقل المغناطيسي مغلقة على سطح المهبط.

المغنطروني غير المتوازن : خطوط الحقل المغناطيسي في هذا النوع مغلقة ومفتوحة (بعضها متجه نحو السطح المهبط والبعض

الأخر متجه نحو الخارج).

النوع الأول : تكون الإلكترونات المنبعثة من المهبط منحرفة والتيار الأيوني الذي يسرى في اتجاه المصعد المرتبط بالكتلة

يكون كبيرا جدا بالنسبة للتيار الإلكتروني .

النوع الثاني : تتقارب الإلكترونات من الوسط المهبط وتقودها اتجاه المصعد في هذه الحالة يكون التيار الإلكتروني أكبر من

التيار الأيوني الذي يسرى في اتجاه المصعد المرتبط بالكتلة .

في كلا النوعين المهبط المغنطروني يأخذ إما الشكل المستوي (السطح - الدائري) أو الشكل الاسطواني .

الفصل الثاني

الأطياف الذرية

مقدمة

إن أول من استعمل كلمة طيف (Spectroscope) هو العالم نيوتن ليصف الطيف الشبكي الذي رآه بعد إمرار ضوء الشمس على الموشور الذي كان يستعمله، أما المعنى الفيزيائي الذي يستعمل اليوم فهو يشير إلى أن الحزمة الإشعاعية المشتتة نظمت حسب أطوالها الموجية أو الترددية.

كما أن الأطياف الذرية وطرق تحليلها أصبحت ذات مجال واسع وهي أساسية سواء كانت في مجال الفيزياء والكيمياء والطب والهندسة وكذلك العلوم الأخرى [38]، حيث تعتبر طرق التحليل من أهم وأشمل الطرق للتحليل الطيفي نظرا لسهولة ودقتها وحساسيتها العالية وتطبيقاتها المتعددة، حيث تعتمد على امتصاص وانبعث الطاقة الإشعاعية، إذا بتفسير هذه المعلومات يمكن الحصول على معلومات كمية ونوعية، فمن الناحية النوعية تستخدم مواقع الخطوط أو الحزم الامتصاصية أو الانبعاثية التي تحدد في الطيف الكهرو مغناطيسي 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 الكهرو مغناطيسي ويدعى بالطيف، ويقاس موقع الامتصاص أو الانبعاث بوحدات الطاقة أو الطول الموجي [39].

2-1- تعريف الأطياف

هي دراسة الفوتونات بالتحديد وهي فرع جديد من فروع الفيزياء الفلكية يعطي موضوع دراسة الأمواج الكهرو مغناطيسية

الواردة من الفضاء [40]، ويهدف علم الأطياف إلى دراسة البنية الذرية والجزيئية [41].

كما تعرف بأنها عبارة عن تصنيف لمكونات متميزة من جنس واحد كالفوتونات فهي عبارة عن جسيمات تحمل طاقة كهرو مغناطيسية جزء منها نعرفه وهو الضوء المرئي، حيث عندما تصلنا هذه الفوتونات من أي مصدر للمنباع الضوئية مثل المصابيح أو الشمس أو النجوم ويتم تصنيف الفوتونات الواردة وفق ألوانها نكون قد حصلنا على ما يسمى بالطيف [38].

2-1-1- أنواع الأطياف

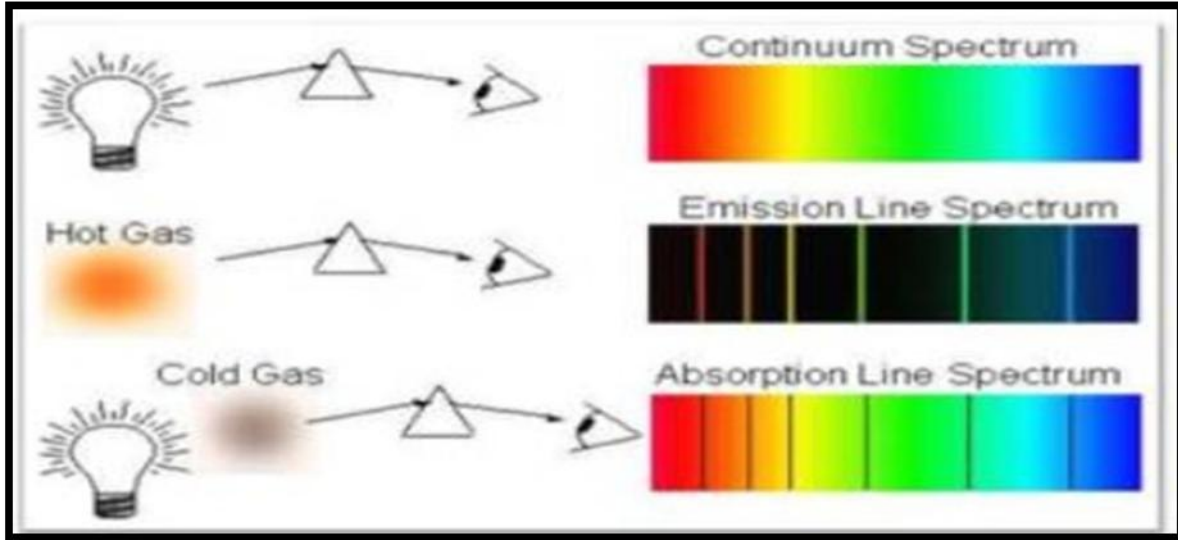
لدراسة المعلومات التي يحملها الفوتون يجب أن نميز بين أنواع الأطياف الممكنة :

1/ - **الطيف المستمر** : إذا مررنا ضوء منبع أساسي مثل المصباح عبر موشور فسند أن الألوان متجانسة و متسلسلة من الأحمر إلى الأزرق، هذا التسلسل يسمى بالطيف المستمر .

2/ - **طيف الإصدار** : إذا كانت المادة نفسها هي المنبع مثل لمبة النيون أو مصباح الصوديوم أو الزئبق مثلا ونبخره وندعه يتوهج بتزويده بطاقة كهربائية أو حرارية مما يؤدي إلى إصدار فوتونات، إذا صدرت الفوتونات من نفس الذرة معنى ذلك أنه يعطي طيف الإصدار خاص بهذه المادة، وكل مادة تعطي خطوط مختلفة عن خطوط الذرات الأخرى، وكلما كانت المادة نقية فإنها تعطي طيف محددًا تمامًا خاص بالمادة يسمى بهوية المادة ونستفيد منها بالتحليل لمعرفة مكونات المادة .

3/ - **طيف الامتصاص** : إذا كنا نريد معرفة طيف مادة ولا نستطيع جعلها تتوهج عن طريق التسخين، إما لأننا لا نستطيع تسخينها أو إنها تتخرب بالحرارة مثل المواد الزيتية عندها نضع منبعًا لطيف مستمر ونمرره عبر هذه المادة فتمتص المادة الفوتونات التي تتوافق معها كذرة بحسب بنيتها الداخلية، فتظهر أماكن الامتصاص بلون أسود وهذا ما يسمى طيف الامتصاص ويساعد هذا الطيف في معرفة نوع المادة .

ولا توجد غير هذه الطرق الطيفية الثلاثة لدراسة الأطياف و الفوتونات [38].



الشكل (2-1): يمثل أنواع الطيف

2-1-2- الطرق المستعملة لتحليل الأطياف

2-1-2-1- شدة الخطوط الطيفية

2-1-2-1- شدة الخطوط الطيفية الذرية

تتميز الخطوط الطيفية بشدة كثافة الخط الطيفي الموافق للانتقال من المستوى الأولي إلى المستوى النهائي وتعطى من قبل القانون

الكلاسيكي :

$$I_{if} = N_i A_{if} h \nu_{if} \quad (1-2)$$

حيث :

A_{if} : احتمال الانتقال (معامل اينشتاين).

ν_{if} : نبض هذا التحول .

N_i : عدد الذرات في المستوى الأول i في وحدة الحجم .

h : ثابت بلانك .

ووحدة I_{if} تكون W/m^2 .

2-1-2-1-2- شدة الخطوط الطيفية الجزئية

هي الانتقال من حالة تتميز بأعداد كمية (n', v', j') إلى حالة تتميز بأعداد كمية (n'', v'', j'') ، شدة الخط

الطيفي للإصدار خلال هذا التحول هي الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن 4π وتعطى بالعلاقة التالية :

$$I_{n'' v'' j''}^{n' v' j'} = h \nu_{n'' v'' j''}^{n' v' j'} A_{n'' v'' j''}^{n' v' j'} N(n', v', j') \quad (2-2)$$

حيث:

$N(n', v', j')$: الكثافة في حالة الإصدار وتعطى بـ cm^{-3} .

$A_{n'' v'' j''}^{n' v' j'}$: احتمال الانتقال (معامل اينشتاين) ويعطى بـ s^{-1} .

$\nu_{n'' v'' j''}^{n' v' j'}$: عدد موجة الانتقال من (n', v', j') إلى (n'', v'', j'') وتعطى بـ cm^{-3} .

h : ثابت بلانك .

$I_{n'' v'' j''}^{n' v' j'}$: وتعطى بوحدة W/m^3 .

لوحظ أن الخطوط الطيفية أثناء الامتصاص أو الانبعاث ليست رقيقة ولديها عرض وشكل معين، الذي يعطي توزيع الكثافة حول

التردد المركزي [42].

2-1-3-1-2- تحديد درجة حرارة الإلكترون

هناك عدة طرق لتحديد درجات حرارة البلازما، وتشمل نسبة الشدة بين الخطين، أو الرسم التخطيطي لبولتزمان:

2-1-3-1-2- نسبة الشدة بين خطين

نسبة الشدة بين الخطين هي طريقة تتم بين انتقالين إشعاعيين في شروط توازن مستويات الطاقة الحرارية المحلية (توازن حراري

محلي ETL) لدرجة حرارة معينة .

ووفقا للمعادلة يمكننا أن نستنتج درجة حرارة التي تنبعث من نوع الإشعاع المنبعث، نستخدم نسبة شدة بين الخطين (1) و(2) من نفس النوع [43].

$$\frac{I_{ij}}{I_{kl}} = \frac{g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}{g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}} \exp\left(\frac{E_k - E_i}{K_B T}\right) \quad (3-2)$$

وتكون عبارة درجة الحرارة الإلكترونية كالتالي :

$$T_e = T(ev) = \frac{(E_k - E_i)}{K_B \left(\ln \left(\frac{I_{ij} \cdot g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}}{I_{kl} \cdot g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}} \right) \right)} \quad (4-2)$$

2-3-1-2- طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان

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

$$I_{if} = \frac{hc}{\lambda} \frac{n g_i A_{if}}{U(T_{exc})} \exp\left(-\frac{E_i}{T_{exc}}\right) \quad (5-2)$$

حيث h : ثابت بلانك .

c : سرعة الضوء في الفراغ .

$U(T_{exc})$: دالة التوزيع .

λ : الطول الموجي الموافق للانتقال .

A_{if} : احتمال الانتقال [44].

ويمكننا تقديم المعادلة على النحو التالي :

$$\ln\left(\frac{I_{if}\lambda}{g_i A_{if}}\right) = 1,4388 \times \frac{E_i [cm^{-1}]}{T_{exc}[k]} + const \quad (6-2)$$

2-2- مختلف ظواهر التعريضات

شكل الخط هو نتيجة تراكم عدة تعريضات مقتبسة من التعريضات التالية:

2-2-1- التعريض الطبيعي

مستوى إصدار الإثارة لديه عمر محدد وفقا لعلاقة الارتياب Δt لهاينبرغ ، وهذا عمر إنتاجي محدد يؤدي إلى التعريض

لمستوى طاقة الإصدار ΔE من قبل :

$$\Delta E \Delta t = h/2\pi \quad (7-2)$$

ΔE و Δt : تمثل على التوالي الطاقة وعمر المستوي، وهذا يؤدي إلى تعريض هذه المستويات [45].

عادة ما يأخذ شكل لورنتز، والتعريض الطبيعي لعرض الخط للانتقال بين مستويات الطاقة يكون من $i \rightarrow j$ كمايلي [46]:

$$\Delta \lambda_n = \frac{\lambda^2 A_{ij}}{2\pi c} \quad (8-2)$$

λ : الطول الموجي .

A_{ij} : احتمال الانتقال (معامل انشتاين)

c : سرعة الضوء .

التعريض الطبيعي في كثير من الأحيان لا يكاد أن يذكر مقارنة مع عرض دوبلر بسبب التعريض وتعريض التصادم

2-2-2- تعريض دوبلر

هذا التعريض نتيجة لحركة الذرات التي تنبعث منها في البلازما، وذلك بإصدار ذرة ذات تردد الأخير ν ، وهذا بسرعة v

وتردد واضح تحت مبدأ دوبلر هو :

$$v = v_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad (9-2)$$

c: سرعة الضوء وتساوي $3 \cdot 10^8$ m/s.

وبالنظر إلى سرعة البلازما التي تتبع منها ذرات مختلفة تتبع توزيع ماكسويل بولتزمان، وتعريض دوبلر يكون وفق المعادلة التالية :

$$\Delta\lambda_D = 7,16 \times 10^{-7} \lambda_D \sqrt{\frac{T(k)}{m (u.ma)}} \quad (10-2)$$

حيث T بالكلفن و m بوحدة الكتلة الذرية ، وهذا التعريض يأخذ شكل غوص .

2-3-2 - تعريض ستارك

وهو التعريض الناتج عن اصطدام الجسيمات المشحونة (إلكترونات وأيونات) يؤدي إلى تعريض وتحويل الخطوط الطيفية، وهذا

التعريض يسمى بتعريض ستارك، حيث الإلكترونات تسمح بتباين عمر المستويات مع إعطاء انتشار مستويات الطاقة والتعريضات

الإلكترونية والأيونية، عموماً تسمح برفع جزئي لمستويات الطاقة [47].

$$\delta_s[A^0] = 2\omega \left(\frac{n_e}{10^{16}}\right) 3,5A \left(\frac{n_e}{10^{16}}\right)^{1/4} \left[1 - BN_D^{-1/3}\right] 2\omega \left(\frac{n_e}{10^{16}}\right) \quad (11-2)$$

إذا كان الوسط ذو ضغط منخفض نسبياً فإن الطيف يأخذ شكل لورنتز [48].

2-3-3 - شكل الخط

وليكن $g(x)$ شكل الخط المنبعث بوظيفة من الطول الموجي وتنعكس هذه الوظيفة من مختلف القيم والعمليات المميزة المصاحبة

للإصدار (الانبعاث) ، وهذه الوظيفة $g(x)$ يمكن أن تكون في شكل بسيط (شكل غوص ، شكل لورنتز ، شكل فويت) أو

شكل مركب ، والشكل المركب ناتج عن تكوين العديد من الظواهر .

2-3-1- شكل غوص : شكل غوص يكون من الشكل :

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi\beta}} \exp\left(-\frac{x^2}{\beta^2}\right) \quad (12-2)$$

$$\beta = \Delta v_D \quad , \quad x = \Delta v = v - v_0$$

2-3-2- شكل لورنتز : شكل لورنتز هو كالتالي:

$$L(X) = \frac{1}{\pi} \frac{\delta}{x^2 + \delta^2} \quad (13-2)$$

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

2-3-3- شكل فويت : وظيفة فويت هي مركبة من شكل غوص وشكل لورنتز ويقترَب من وظيفة بسيطة .

$$\Phi(v) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\Delta v_0} \exp\left(-\left[\frac{v-v_0}{\Delta v_0}\right]^2\right) \quad (14-2)$$

حيث العرض Δv_0 :

$$\Delta v_0^2 = \Delta v_L^2 + \Delta v_G^2 \quad (15-2)$$

Δv_L : العرض لشكل لورنتز .

Δv_G : العرض لشكل غوص .

2-3-4- الشكل المركب

ينتج الشكل المركب من أسباب متعددة تعمل في وقت واحد لتعريض الخط ، فمن الضروري العثور على وظيفتين تتميز بتوزيع شكل مركب ، وليكن $f(x)$ و $g(x)$ الكثافة في حالتين تعريفين للتعريضات .

ينتج من وظيفتين : $f(x)$ و $g(x)$ الشكل المركب

$$F(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-y)g(y)dy = \int_{-\infty}^{+\infty} f(y)g(x-y)dy \quad (16-2)$$

إذا $f(x)$ و $g(x)$ وظيفتي لورنتز من خصائص γ_1 و γ_2 ، و $F(X)$ وظيفة لورنتز من خاصية γ حيث :

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (17-2)$$

إذا $f(x)$ و $g(x)$ وظيفتي غوص من خصائص β_1 و β_2 ، و $F(X)$ وظيفة لورنتز من خاصية β حيث :

$$\beta = \beta_1^2 + \beta_2^2 \quad (18-2)$$

و $f(x)$ لغوص و $g(x)$ لورنتز من خاصية γ و β حيث الشكل النهائي هو شكل فويت [22].

الفصل الثالث

تحليل أطياف الأرغون

3-1-1- لمحة عن الأرجون

اكتشف الأرجون من طرف لورد رايلي والسير وليام رامزي عام 1894 وذلك من خلال تجربة قاما خلالها بإزالة كل الأكسجين والنيوتروجين من عينة من الهواء .

حيث الأرجون (Argon) هو عنصر كيميائي في الجدول الدوري له الرمز Ar والعدد الذري (Z=18) وهو غاز أحادي الذرة وعدم اللون والرائحة ،حامل كيميائيا حيث ينتمي إلى فصيلة الغازات النبيلة وهو أكثرها توفرا على سطح الأرض. يتواجد الأرجون بنسبة (99,68%) لـ Ar^{40} وبنسبة (0,34%) لـ Ar^{36} وبنسبة (0,06%) لـ Ar^{38} ، وهو مستقر جدا ، ويستعمل في معظم الحالات وهو أقل تكلفة.

نختار الأرجون لهذه الدراسة نظرا لأهميته في العديد من التطبيقات بالإضافة للرش المهبطي .

ومن بين تطبيقاته:

- ✓ يستخدم في عمليات اللحام وذلك كغاز عازل لمنطقة اللحام عن الجو المحيط.
- ✓ ويستخدم كغاز ملىء في مصابيح الإنارة خاصة أنه لا يتفاعل مع السلك المعدني المتوهج حتى في درجات حرارة عالية

[49][50].

3-1-1- ذرة الأرجون

الأرجون في الحالة الأساسية (ArI): لديه التوزيع الإلكتروني $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ [51].

الأرجون في الحالة المثارة الأولى (ArII): لديه توزيع إلكتروني $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 4s$ يحتوي على أربعة مستويات .

الأرجون في الحالة المثارة الثانية (ArIII): لديه توزيع إلكتروني $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5 5p$ (مختصر 5p) التي تحتوي على عشر

مستويات .

3-1-2 طرق التشخيص

من المفترض أن تكون البلازما في حالة توازن حراري محلي، وأن الجسيمات مختلفة ومستقلة وهناك مجموعات تحدد فقط درجة الحرارة (قانون ماكسويل بولتزمان، بولتزمان، ساها)، وفي هذه الحالة يمكننا تطبيق التشخيص الطيفي لاستنتاج درجة الحرارة الإلكترونية .

3-1-2-1-1 التشخيص الطيفي

هناك العديد من الطرق الطيفية لتحديد درجة الحرارة من بينها سوف نهتم بدراسة النسبة بين شدة الخطوط الطيفية (طريقة بولتزمان) حيث تعطى شدة الخطوط الطيفية بالعلاقة [44] :

$$I_{if} = \frac{hc}{\lambda} \frac{ng_i A_{if}}{U(T_{exc})} \exp\left(-\frac{E_i}{T_{exc}}\right) \quad (1-3)$$

ويمكن كتابتها على النحو التالي :

$$\ln\left(\frac{I_{if}\lambda}{g_i A_{if}}\right) = 1,4388 \times \frac{E_i [cm^{-1}]}{T_{exc} [k]} + const \quad (2-3)$$

والمطلوب في هذا العمل استنتاج درجة الحرارة المنبعثة من الوسط الذي من خلاله تتم تسجيل الأطياف، لذلك نستخدم نسبة الشدة بين الخطين (1) و(2) من نفس النوع [43] .

$$\frac{I_{ij}}{I_{kl}} = \frac{g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}{g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}} \exp\left(\frac{E_k - E_i}{K_B T}\right) \quad (3-3)$$

وتكون عبارة الحرارة كالتالي :

$$T(ev) = \frac{(E_k - E_i)}{K_B \left(\ln\left(\frac{I_{ij} \cdot g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}}{I_{kl} \cdot g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}\right) \right)} \quad (4-3)$$

ولتحديد درجة الحرارة T يجب أن تكون الطاقة بين المستويين متباعدة ولا وجود لتداخل إصدارات الشوائب مع إصدارات الأطياف المختارة للتشخيص.

كما تم تشخيص البلازما كذلك عن طريق مطياف الانبعاث الضوئي لدراسة الأطياف الذرية من خلال وصف الجهاز التجريبي .

3-1-2-2-وصف الجهاز التجريبي

سوف نقدم وصف الأجزاء المكونة للجهاز [23] :

1- / غرفة الرش المهبطي : وهي غرفة تتكون من قطبين، قطب موجب (مصعد) وقطب سالب (مهبط) ويفصل بينهما مسافة

5 cm وتوضع مادة الهدف (الأرغون) ويتم توصيلها بمولد الطاقة اللاسلكية وهو بمثابة الناقل الهدف، يتم تبريده عن طريق

دائرة مغلقة من الماء عند $08c^0$ مئوية، في حين يتم توصيل القطب الموجب وهو حامل العينة .

2- / وحدة الضخ : وتتكون من مضخة ابتدائية ومضخة ثانوية بداخلها زيت، وهي تحقق فراغ في الغرفة قبل إدخال الغاز وإحلاء

غرفة الترسيب من 6 - 10 torr.

3- / قوة الترددات اللاسلكية RF : الطاقة اللاسلكية والتي يعطيها مولد بتردد ثابت (13.6 MHZ) و بطاقة قد تصل

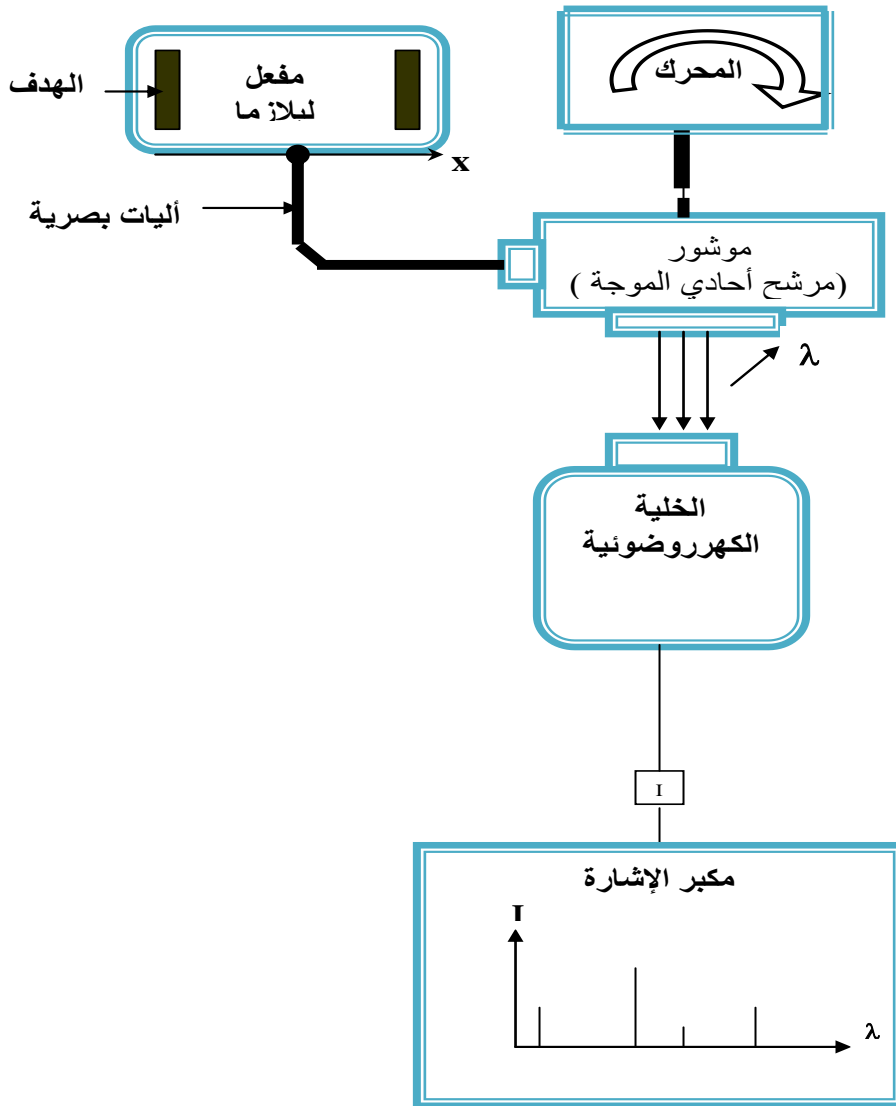
إلى 400W.

4- / مدخل الغاز : و من خلاله يتم إدخال غاز الأرغون بضغط جزئي قابل للتغيير .

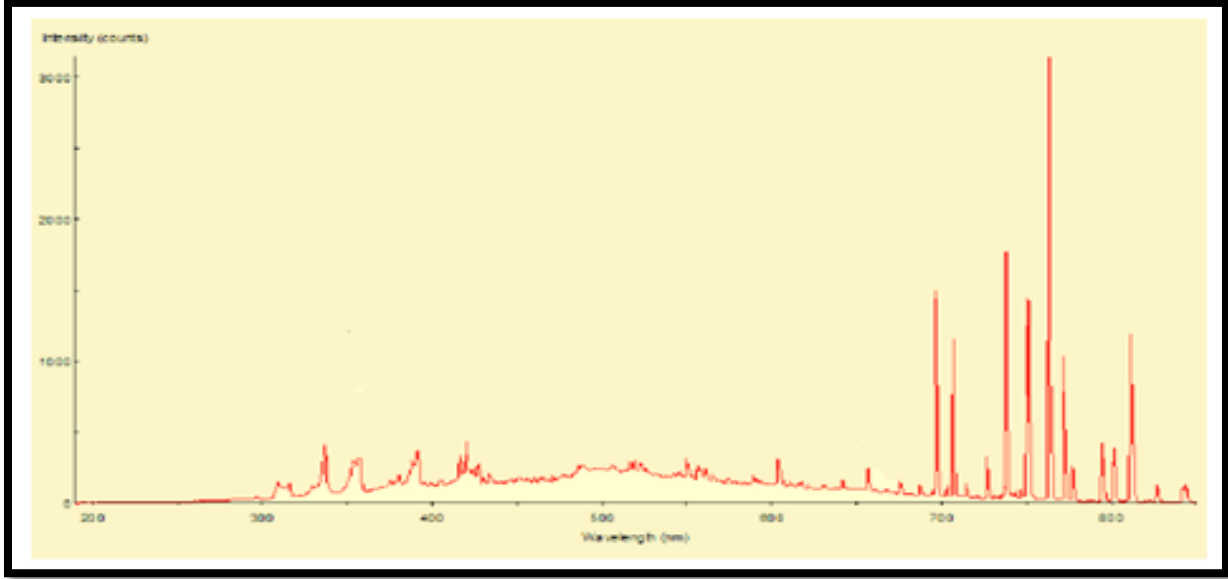
ونحن مهتمون في هذا العمل بدراسة الأطياف المنبعثة من غرفة الوضع عند إدخال غاز الأرغون .

5- / مطياف الانبعاث الضوئي : وهو الذي يستخدم غالبا في تشخيص لبلازما تفرغ الكهربيائي، حيث أن دراسة الضوء المنبعث

من الغرف يمكننا من جمع بعض المعلومات عن الوسط كدرجة الحرارة الإلكترونية.



الشكل (1-3): يمثل مخطط لجهاز القياس البصرية المستخدمة للكشف عن انبعاثات البلازما في المدى المرئي (350-850).



الشكل (3-2): يمثل الأطياف التجريبية الناتج عن انبعاثات لبلازما لعنصر الأرجون تحت استطاعة 400 واط [52].

3-2-1-3-دراسة الأطياف التجريبية للأرغون

من أجل دراسة دقيقة وواضحة للأطياف التجريبية الناتجة عن الأرغون نقوم بإعادة رسمها نظريا انطلاقا من قاعدة معطيات الفيزياء الذرية، وباستخدام برنامج عددي تم إعداده وتنفيذه بلغة الفورتران .

3-2-1-4-البرنامج الرقمي

البرنامج الرقمي تم إعداده بلغة الفورتران ومبني على المعادلات التالية :

- ✓ توزيع ماكسويل بولتزمان .
- ✓ توزيع بولتزمان .
- ✓ قانون ساها .
- ✓ التعريض الطبيعي .
- ✓ تعريض دوبلر .
- ✓ تعريض ستارك .
- ✓ التعريض التجريبي شكل غوص .
- ✓ التعريض التجريبي شكل لورنتز .
- ✓ الشكل المركب .



الشكل (3-3): يمثل مخطط للبرنامج المستخدم

3-1-2-5- تحضير قاعدة المعطيات الفيزياء الذرية لعنصر الأرجون

- ❖ نحضر قاعدة المعطيات الفيزياء الذرية في المجال المرئي للطيف .
- ❖ نقوم بإدخال البيانات اللازمة من أجل تنفيذ البرنامج والمتمثلة في الطول الموجي و درجة الحرارة و التعريض التجريبي .

3-1-2-6- رسم الأطياف الذرية النظرية

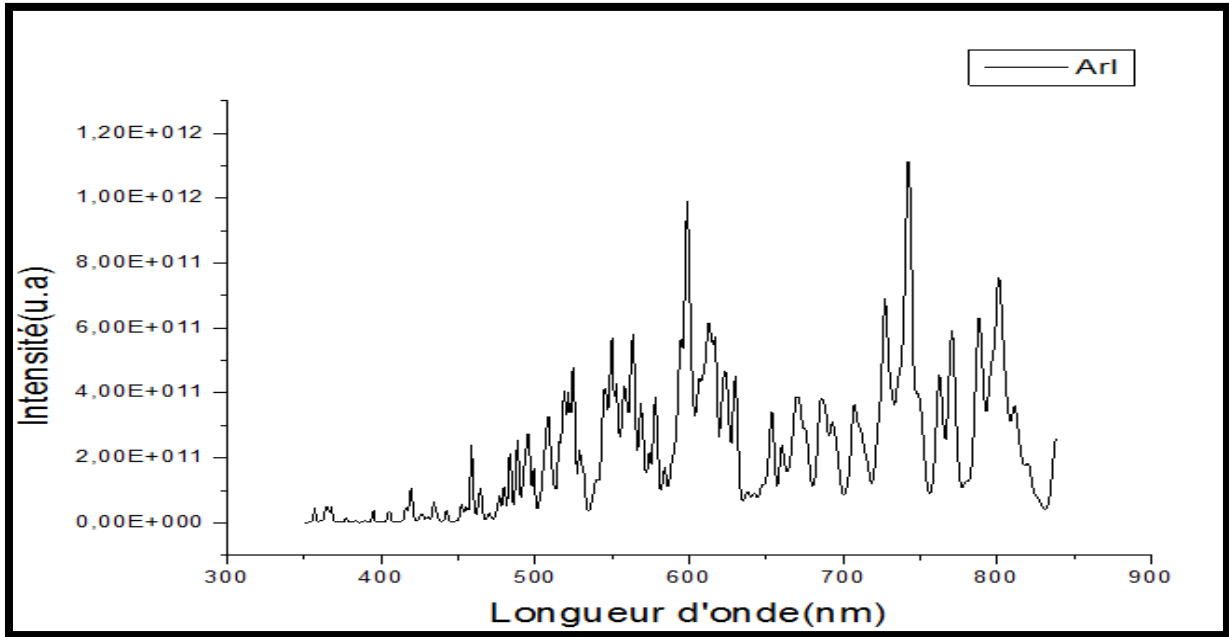
نقوم برسم الأطياف الذرية الخاصة بعنصر الأرجون وبعض الشوائب الموجودة في المجال المطلوب (350-850nm)، وذلك باستخدام قاعدة المعطيات الدولية المعترف بها والتابعة لـ (النيست) [53] وذلك للحصول على معلومات حول بعض العناصر (الأرجون، الأكسجين، الكربون، والهيدروجين) ولكل واحد منهم لديه حالة التأين الخاصة به، وتتمثل هذه المعلومات المستخرجة

في الطول الموجي λ_{ik} ، الطاقة بين المستويات E_i و E_k ، ودرجة التوالد g_k و g_i ، واحتمال الانتقال A_{ki} .

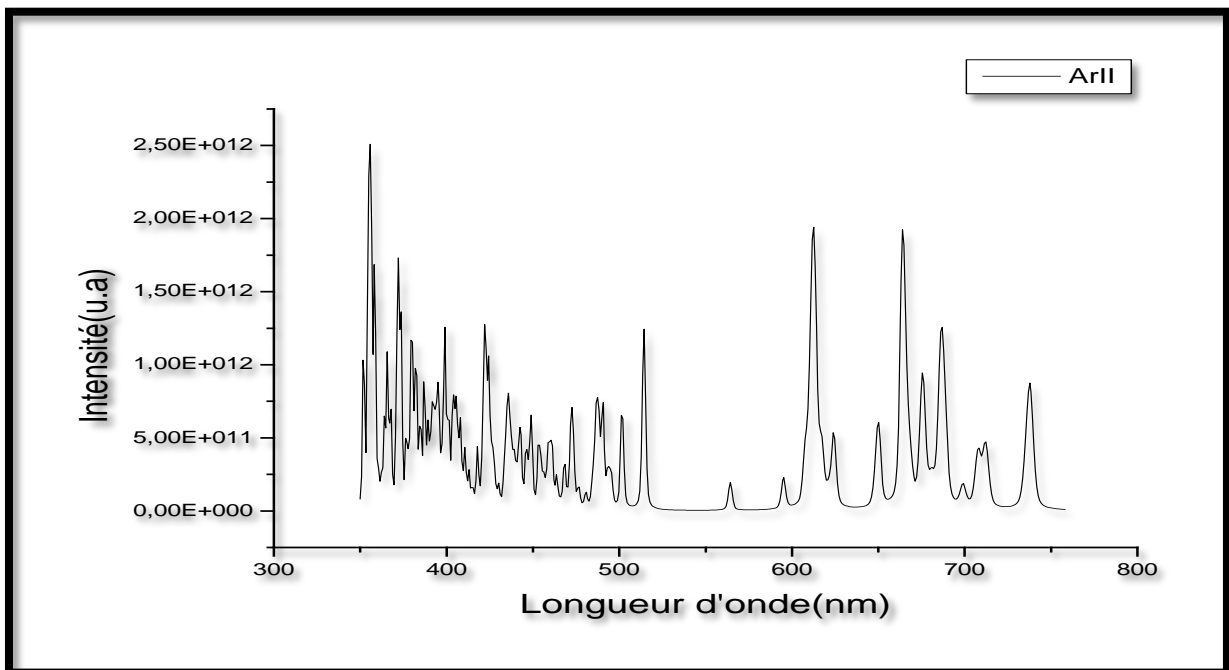
حيث أعطت لنا قيم بشكل غير مرتب، ولي ضبط هذه القيم المستخرجة تم إعداد برنامج بلغة الفورتران الذي من خلاله أعطانا قاعدة معطيات مرتبة بشكل دقيق وذلك حسب ما يحتاجه برنامج حساب الأطياف الذرية (الجدول المبينة في الملحق).

وبعد إدخال هذه المعطيات ببرنامج حساب الأطياف يعطينا نتائج والتي بدورها تربطها بأحد برامج رسم البيانات لتعطي في النهاية الطيف النظري المطلوب.

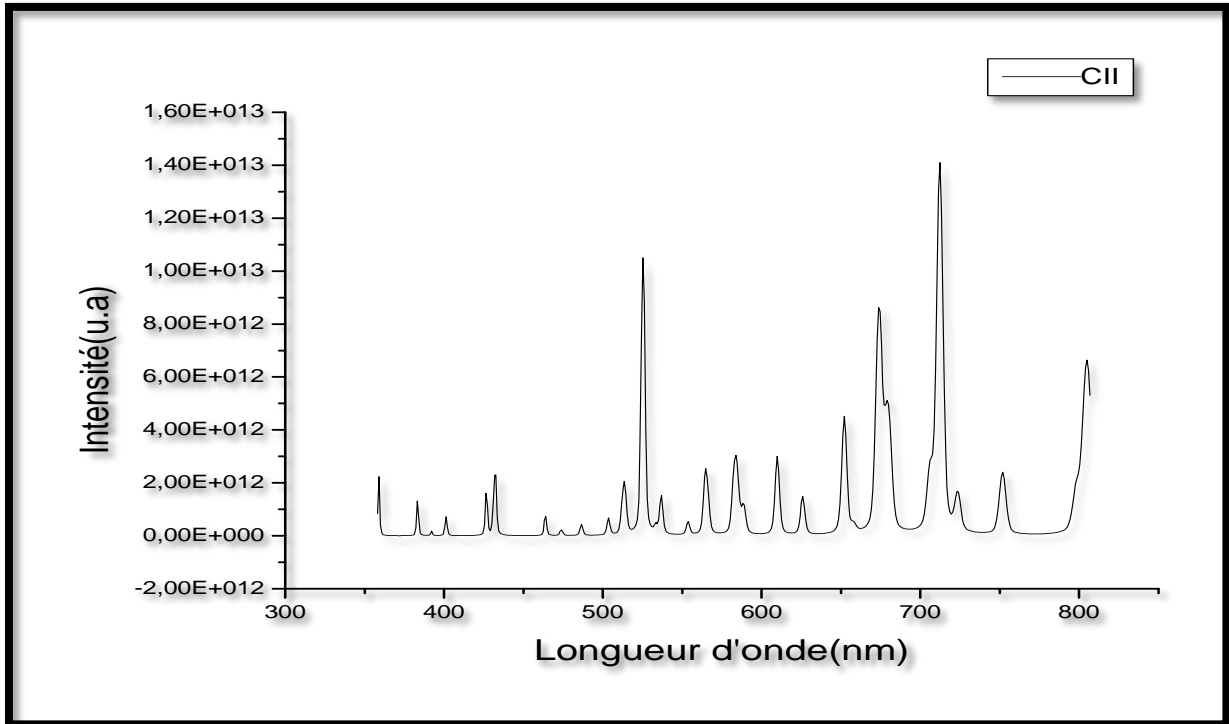
والهدف من هذه الأطياف النظرية هو مقارنتها مع الأطياف التجريبية من أجل ضبط مواقع الخطوط الطيفية ثم نختار البعض منها من أجل استنتاج درجة الحرارة الإلكترونية للوسط .



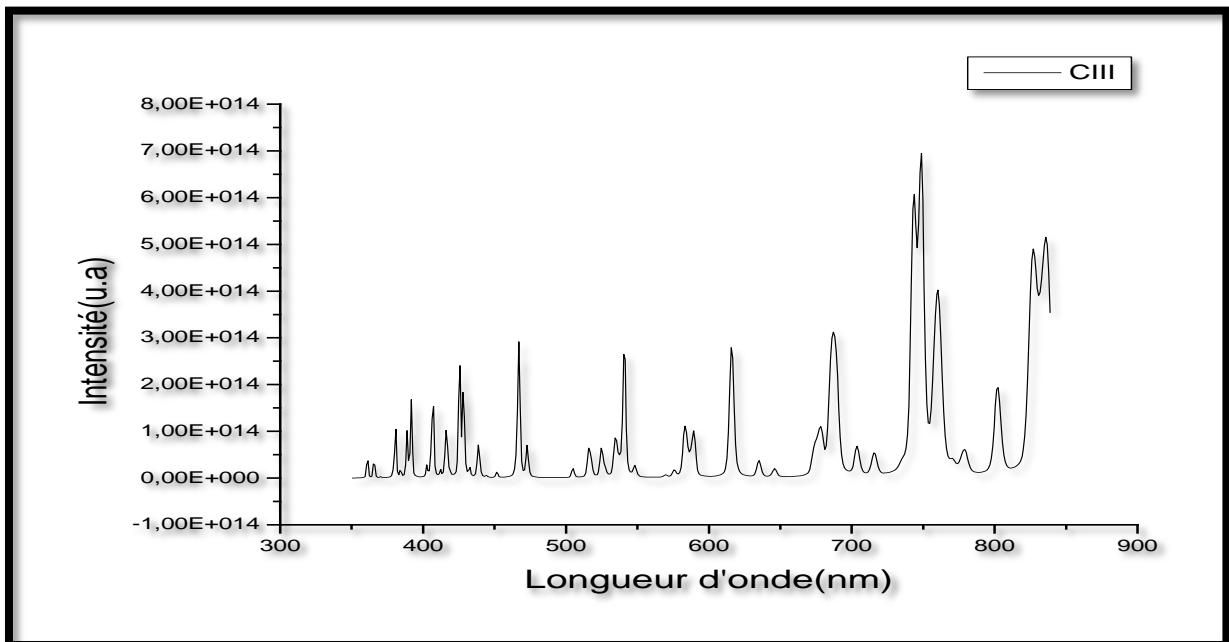
الشكل (3-4): طيف الأرجون عند طول الموجة [670-840nm]



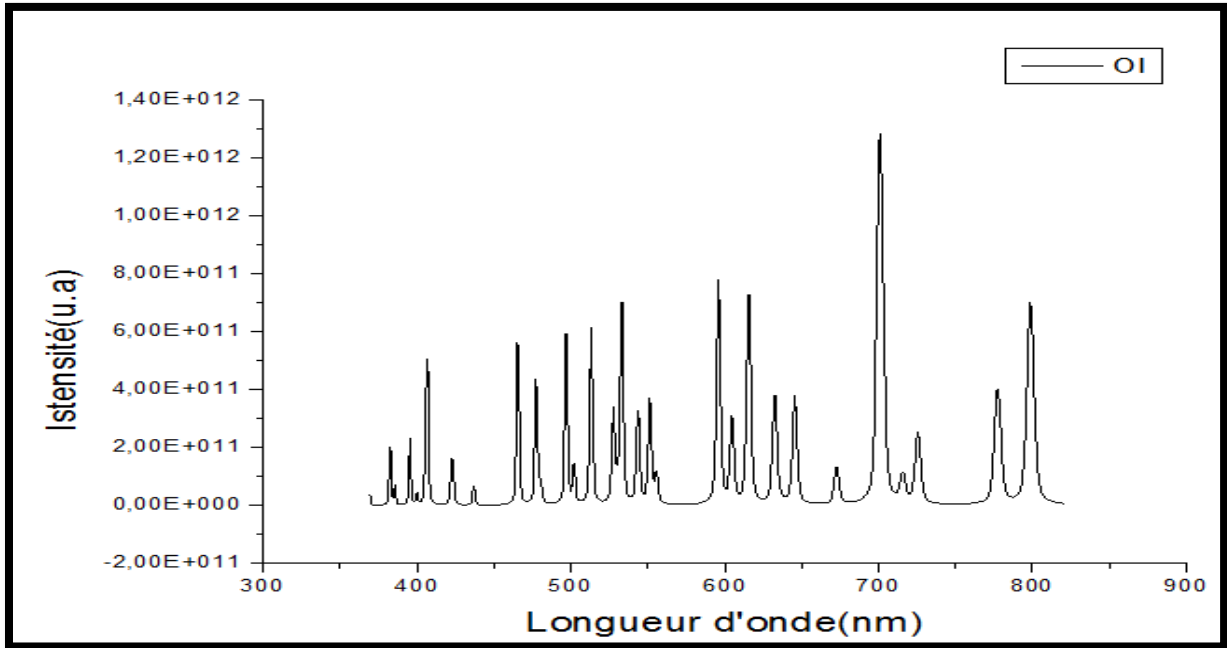
الشكل (3-5): طيف الأرجون عند طول الموجة [650 -740nm]



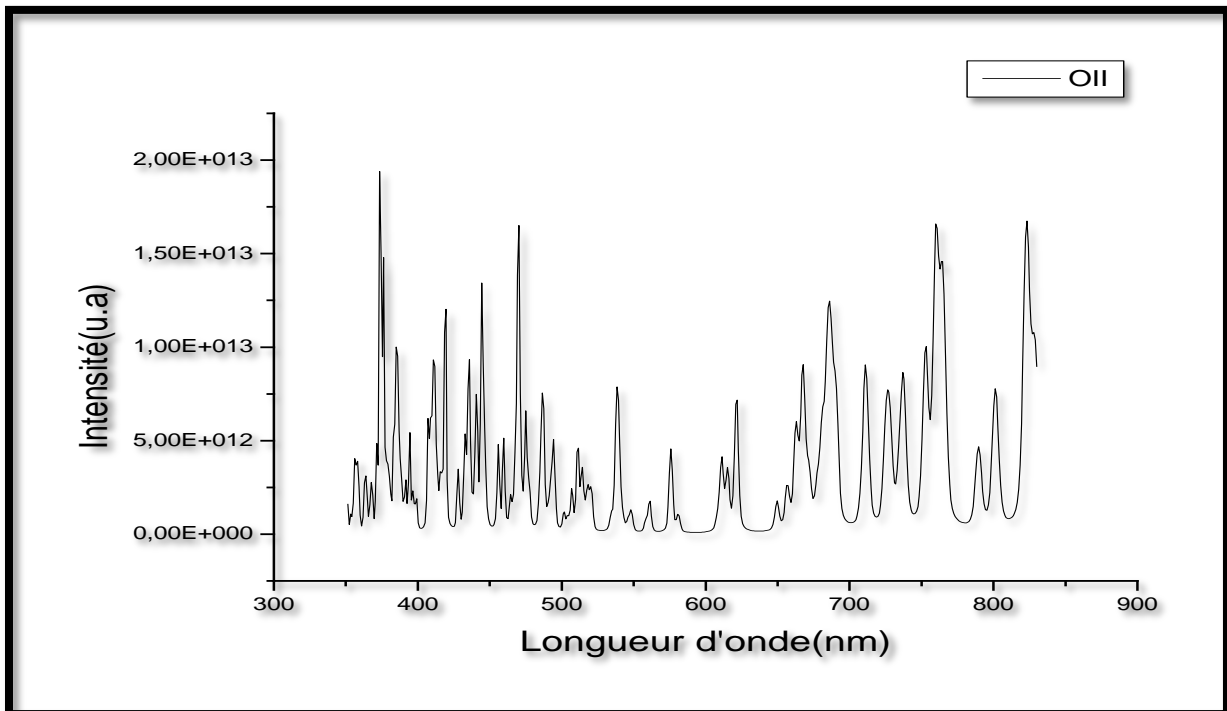
الشكل (3-6): طيف الكربون عند طول الموجة [675-805nm]



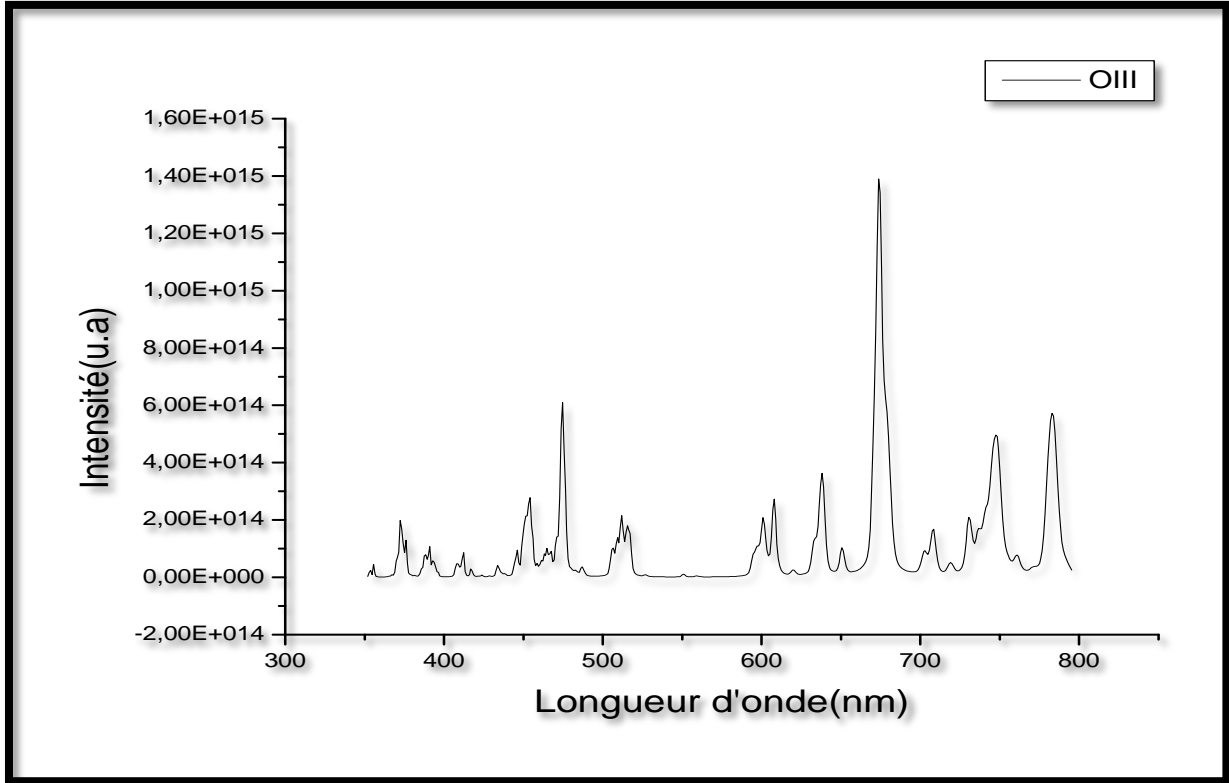
الشكل (3-7): طيف الكربون عند طول الموجة [675-830nm]



الشكل (3-8): طيف الأكسجين عند طول الموجة [670-800nm]



الشكل (3-9) : طيف الأكسجين عند طول الموجة [665-825nm]



الشكل (3 -10): طيف الأكسجين عند طول الموجة [650-785nm]

3-1-2-7- طريقة التحليل الطيفي

بالمطابقة بين الأطياف التجريبية والأطياف النظرية تمكنا من تحديد الانتقالات التالية :

بالنسبة لعنصر الأرجون **ArI** :

الجدول (3-1) : يمثل معطيات الفيزياء الذرية من أجل الانتقالات الموجودة في الطيف التجريبي لعنصر الأرجون ArI.

رقم الطيف	$\lambda(nm)$	$E_k(ev)$	g_k	$A_{ki}(S^{-1})$	$I_{exp}(u, a)$	$Conf_k$
الطيف الأول	760	13,171778	5	0,24E+08	6,8	$4p^2[3/2]^\circ$
الطيف الثاني	815	14,848369	3	0,33E+05	2,6	$6s^2[3/2]^\circ$

قائمة المراجع

بالنسبة لعنصر الأرجون **ArII** :

الجدول (3 - 2) : يمثل معطيات الفيزياء الذرية من أجل الانتقالات الموجودة في الطيف التجريبي لعنصر الأرجون ArII

رقم الطيف	$\lambda(nm)$	$E_K(ev)$	g_k	$A_{ki}(S^{-1})$	$I_{exp}(u, a)$	$Conf_k$
الطيف الأول	695	19,549011	6	0,10E+06	3,3	$4p(4D^{\circ})5/2$
الطيف الثاني	740	19,972538	2	0,56E+07	3,8	$4p(4s)3/2$

بالنسبة للأكسجين **OI** :

الجدول (3 - 3) : يمثل معطيات الفيزياء الذرية من أجل الانتقالات الموجودة في الطيف التجريبي لعنصر الأكسجين OI.

رقم الطيف	$\lambda(nm)$	$E_k(ev)$	g_k	$A_{ki}(S^{-1})$	$I_{exp}(u, a)$	$Conf_k$
الطيف الأول	770	12,516932	7	0,37E+08	2,2	$3p(5p)2$
الطيف الثاني	800	12,539192	7	0,56E+05	0,8	$3s(3D^{\circ})3$

تم اختيار هذه الانتقالات من بين الانتقالات الأخرى لأن هذه الأطياف المختارة معزولة ومستقلة وخالية من الشوائب (في مجال

لا توجد فيه إصدارات الشوائب) بالإضافة إلى تحقيق شرط أن تكون مستويات الطاقة متباعدة للحصول على نتائج دقيقة .

3-1-2-8- حساب درجة الحرارة

من خلال تطبيق المعادلة (3-4) واستنادا بالجدول السابقة نتحصل على النتائج التالية :

الجدول(3-4):يمثل النتائج المتحصل عليها من خلال حساب درجة الحرارة

العنصر	ArI	ArII	OI
درجة الحرارة T	1ev	1,0075ev	1,2957ev

3-1-2-9- مناقشة وتحليل النتائج

من خلال النتائج المتحصل عليها نلاحظ أن درجة الحرارة الإلكترونية للوسط متقاربة سواء بـ ArI و ArII و OI وهذا ما يبين صحة ودقة الطريقة المستعملة، ومن جهة أخرى إن درجة الحرارة المحسوبة مقبولة لأنها ضمن مجال درجة حرارة لبلازما المخبرية الباردة وهي غالبا محصورة ما بين (1-5 ev) وذلك حسب الظروف التجريبية .

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

في هذا العمل تمكنا من تحديد درجة حرارة تأين الأرجون انطلاقا من دراسة الأطياف الصادرة عن البلازما أثناء عملية إنتاج الشرائح الرقيقة، حيث قمنا من خلال ذلك بالتعرف على جهاز الرش المهبطي وكيفية توضع هذه الطبقات بالإضافة إلى أنواعه، كما تم التعرف على البلازما و التي تعرف بالحالة الرابعة للمادة وبعض معاملاتها، بالإضافة إلى قوانين التوازن الإحصائية التي بدورها لها تأثير على شكل الأطياف الذرية ومعرفة نماذج التوازن للبلازما، كما تم تعريف الأطياف الذرية و التعريفات الممكنة والتعرف على أشكال الخط، وتم أيضا التعرف على مطيافية الانبعاث الضوئي للذرات والتي اعتمدنا عليها في عملنا هذا وتم شرح وتوضيح التركيب التجريبي الذي من خلاله تحصلنا على الأطياف التجريبية المتعلقة بالأرجون وتم التطرق كذلك للطريقة والنموذج المتبع من أجل تحديد درجة حرارة تأين الأرجون والذي أعطى نتائج دقيقة، اعتمادا على دراسة الأطياف الناتجة عن البلازما الأرجون للوسط تمكنا من تعيين بعض الأطياف النظرية (OI.ArII.ArI) ومطابقتها مع الأطياف التجريبية.

تمكنا من حساب درجة الحرارة الإلكترونية لكل طيف من خلال تطبيق طريقة بولتزمان حيث تحصلنا على:

$$(T_{ArI}=1\text{ev}) \text{ و } (T_{ArII}=1,0075\text{ev}) \text{ و } (T_{OI}=1,2957\text{ev}) \text{ وهي بدورها مقبولة لأنها ضمن مجال}$$

درجات الحرارة الإلكترونية للبلازما المخبرية الباردة (1-5ev).

قائمة المراجع

قائمة المراجع

[1] R.Gheriani ; « influence de proportion de phases dans le domaine de température(400–1000°)sur des film de Ti et de Cr ,dé poses sur des substrat» Thèse de Doctorat ;Université d' Ouargla ;juin 2005.

[2] K. Zine Ali, Thèse de magister, Université Houari Boumediene Alger, cité par A. Kabir, Thèse de magister Université de Skikda (2003).

[3] A. Moustaghfir ; «Élaboration et caractérisation de couches minces d'oxyde de zinc.Application à la photoprotection du polycarbonate» ; Thèse de doctorat, Université de Blaise Pascal (2004).

[4] ز. بلة ، "الدراسة التشخيصية بالمحاكاة العددية لمسبار كهربائي ساكن في رش مهبطي "ماجستير ،جامعة قاصدي مرياح ورقلة (2007).

[5] P. Scheubert ; «Modeling and Diagnostics of Low Pressure Plasma Discharges»; Thèse de doctorat, Université de Munchen (2002).

[6] برناردهيلد (فيزياء البلازما الباردة) دار علاء الدين للنشر والطباعة والتوزيع .

[7] و. الصهيويني (مقدمة في فيزياء البلازما) أستاذ في فيزياء البلازما النظرية . يونيو سلطنة عمان 2006.

[8] D. R. Nicholson; «introduction to plasma theory»; University of Iowa; John Wiley & Sons (1983).

[9] J. L. Delcroix, A. Bers, «physique des plasmas», Ed. Cnrs ; Paris (1994).

[10] س. قريشة ،"استخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال توزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الأيوني الموضوعي في البلازما" ، أطروحة دكتوراه علوم في الفيزياء، جامعة قاصدي مرياح ورقلة، 2013.

[11] س. عبيد ،"دراسة في ثلاث أبعاد للمقادير الكهربائية في جهاز الرش المهبطي المغنطوني باستعمال طريقة الحجم المنتهية ،مذكرة ماجستير ،جامعة قاصدي مرياح ورقلة 2012.

[12] R. O. Dendy; «Plasma Dynamics»; Oxford Academic; Pres (1990).

[13] A. Marie ; J. Perrin.et J. Jolly ; «Plasmas froids de décharge» ; Technique de l'ingénieur, D 2830, pp (4, 6–8).

[14] إ. شحيحي، حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي و مشتقاتها داخل البلازما باستخدام المحاكاة العددية موني كارلو تطبيق على طيف الهيليوم، رسالة دكتوراه دولة، جامعة منتوري قسنطينة 2005.

[15] ي. عبد الحميد الحاج علي _رحمن رستم عبد الله، أساسيات النظرية الكهرو مغناطيسية ،جامعة الموصل العراق 1959.

[16] B. Held ; « Physique des plasmas froids », Masson, Paris, 1994.

- [17] M. Moisan et J. Pelletier ; « Physique des plasmas collisionnels » ; Edp sciences, France, 2006.
- [18] J. L. Delcroix et A. Bers ; « Physique des plasmas »; Volume 1. InterEditions, Paris 1994.
- [19] Arslane Boudghene stambouli ; «Calcul du rayonnement total émis par un plasma non homogène» ; Mémoire de magister ; Université Aboubakr Belkaid de Tlemcen ; 2006.
- [20] M.Michel et Jacques Pelletier (2006), Université de Montréal.
- [21] A. Deneuve, J. C. Bruyère, A. Mini, H. Hamdi et H. Kahil ; « Cellules solaires: quelques aspects des structures «Schottky» à base de silicium amorphe hydrogéné », Revue de Physique Appliquée, Vol. 15, no 2, pp. 233–240, 1980.
- [22] F. Khelfaoui ; « Cour de Magister Physique du rayonnement », 2010–2009.
- [23] L. Ben mebrouk ; « Etude des Spectres d'émission D'ions de deposition sur couches minces» ; Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de Magister.Universite Kasdi Merbah – Ouargla. (2013).
- [24] M.Azzaoui ; «Etude de spectroscopie atomique et moléculaire dans un pulvérisateur cathodique magnétron» ; Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de Magister.Universite Kasdi Merbah Ouargla. (2013).
- [25] K.Chenini ; «Cour physique Atomic» ;(2013).
- [26] A. Marty et S. Andrieu ; « Croissance et structure des couches minces » ; Le Journal de Physique IV, Vol. 6, no C7, p. 7–7, 1996.
- [27] M .Atallah ; « Elaboration et caractérisation des couches mince d'oxyde de silieum ,obtenues par voie .sol-gel » mémoire de magister ,université Mentouri constantine2010.
- [28] Y. Jiang; «Pulvérisation cathodique assistée par ordinateur»; Thèse de doctorat, Université Pris xi Orsay (1992).
- [39] P.M.Bellan . «Fundamentals of plasma physic» ;pas adena ;california 2004.
- [30] B. Gharbi + et A. Boukraa''Utilisation de l'hydrogène dans la préparation des couches Minces par pulvérisation cathodique» Laboratoire Lenreza et

Département de Physique, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie .

[31] N.Guech ; «Elaboration et caractérisation structurale ,electrique et magnétique de couches mince de Fexni100-x déposées sur si (100) » ; Mémoire de Magister , université Ferhat Abbas de sétif –2010.

[32] F. O. Hassani ; «couches minces d’oxydes spinelles et nano composites spinelles-CuO A propriétés semi-conductrice destinées A la réalisation de capteurs de gaz» ; Thèse de doctorat, Université de Toulouse (2009).

[33] R. Behrisch (ed.) (1981). *Sputtering by Particle bombardment*:. Springer, Berlin.

[34].M.Khechba ; «caractérisation de la action interfaciale entre une couche mince de tungsteme et un substrat d’acier» ;Mémoire de Magister ,université Mentouri constantine.2008.

[35]Y. Benzahi ; «simulation numérique par la dynamique moléculaire de l’interaction de plasma-surface lors de déposition sur couches minces» ; Mémoire de magister Université de Ouargla (2003).

[36] J.J. Bessot ; «dépôt par pulvérisation cathodique» ; Technique de l’ingénieur ; M1657.

[37] C. Manasterski ; « la pulvérisation cathodique industrielle» ; Presses Polytechniques et universitaires romandos (2005).

[38] ج. سلمان البدري ،.نورى خليفة فياض المشهداني ، سمير عبد الرحيم سعيد ، زهير عبد الأمير

خماس ،”التحليل الكيمياوي الطيفي الذري” ،الجزء الأول ،وزارة التعليم العالي والبحث العلمي _جامعة بغداد .

[39] س. بضياف ،”دراسة التركيب الجزئي لرمال كثبان منطقة ورقلة، باستخدام مطيافية الامتصاص تحت الحمراء و حيود الأشعة السينية ” – 2014.

[40] ف. سيوف ،”الأطياف في الفلك ”أستاذ المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته _جامعة دمشق _جمعية هواة الفلك السورية .

[41] م . رطل ،”الفيزياء الذرية و الجزئية”مديرية المكتبة والمطبوعات الجامعية لطلاب السنة الثالثة 1410هـ 1989م _قسم الفيزياء ،منشورات جامعة حلب كلية العلوم .

[42] S. Lemkeddem et F. Khelfaoui ; « spectre de raies d’emission d’une torche a plasma en utilisant la technique de l’inversion d’abel » , Séminaire International sur

la Physique des Plasmas (SIPP2011), Ouargla, 2011.

[43] A. Aubreton ; Thèse doctorat; université Paul Sabatier ; Toulouse (2002).

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

[45] M. Azzaoui ; « Etude de spectroscopie atomique et moléculaire dans un pulvérisateur cathodique magnétron » ; Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de Magister; Université Kasdi Merbah Ouargla. (2013).

[46] M. Chham ; « Calcul de profils de raies spectrales dans des plasmas produits par laser en utilisant le code PPP » ; Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique ; Université Kasdi Merbah Ouargla. (2011) .

[47] M. Benmansour ; « contrôle et modélisation d'un procédé de projection de poudres de silicium par plasma RF – application aux couches minces photovoltaïques », Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 2003.

[48] F. Khelifaoui ; « Cour de Master Physique du rayonnement », 2012 – 2013.

[49] John H. Hollway ; Nucleon chemistry ; Methuen, 1968, p.6.

[50] F. Aitken¹, N. Bonifaci, A. Denat and F. Volino ; A New Equation of State Formulation for Argon Covering the Fluid Region for Temperatures From the Melting Line to 2300 K at Pressures up to 50000 MPa ; Univ. Grenoble Alpes, G2Elab, F-38000 Grenoble, France cnrs, G2Elab, F-38000 Grenoble, France.

[51] J. B. Boffard, R. O. Jung, C. C. Lin et A. E. Wendt ; « Optical emission measurements of electron energy distributions in low-pressure argon inductively coupled plasmas », Plasma Sources Science and Technology, Vol. **19**, p. 065001, 2010.

[52] F. Bourquard ; « Ablation Laser Femtoseconde Assistée d'une mise en forme temporelle pour le dépôt de couches minces et la synthèse de nanoparticules » ; Thèse présentée pour obtenir le grade de : Docteur en Optique, Photonique, Hyperfréquence, Université Jean Monnet de saint-étienne ; 2013 .

[53] NIST Atomic Spectra Database Levels Form.

المُلْحَق

مثال على قواعد معطيات الفيزياء الذرية لعنصر ArI

3554.30518	5-	5	0.51E-03	0.27E+06	11.548354 -	15.035640
3563.28613	1-	3	0.69E-03	0.12E+06	11.723161 -	15.201657
3567.65601	5-	7	0.29E-03	0.11E+06	11.548354 -	15.022591
3572.29492	3-	1	0.33E-03	0.51E+06	11.828071 -	15.297795
3606.52197	3-	1	0.49E-03	0.76E+06	11.623592 -	15.060390
3632.68311	3-	5	0.22E-03	0.66E+05	11.623592 -	15.035640
3634.46021	3-	3	0.26E-03	0.13E+06	11.623592 -	15.033972
3643.11621	3-	5	0.80E-04	0.24E+05	11.623592 -	15.025868
3649.83179	3-	1	0.53E-03	0.80E+06	11.828071 -	15.224088
3659.52905	3-	3	0.88E-04	0.44E+05	11.623592 -	15.010610
3670.66992	3-	5	0.10E-03	0.31E+05	11.828071 -	15.204808
3675.23486	3-	3	0.99E-04	0.49E+05	11.828071 -	15.200615
3770.36890	1-	3	0.45E-03	0.70E+05	11.723161 -	15.010610
3834.67798	3-	1	0.55E-03	0.75E+06	11.828071 -	15.060390
3894.66016	3-	3	0.13E-03	0.57E+05	11.828071 -	15.010610
3947.50488	5-	5	0.13E-03	0.56E+05	11.548354 -	14.688291
3948.97900	5-	3	0.64E-03	0.46E+06	11.548354 -	14.687119
4044.41797	3-	5	0.14E-02	0.33E+06	11.623592 -	14.688291
4045.96484	3-	3	0.10E-03	0.41E+05	11.623592 -	14.687119
4054.52612	3-	3	0.67E-04	0.27E+05	11.623592 -	14.680650
4158.59082	5-	5	0.36E-02	0.14E+07	11.548354 -	14.528913
4164.18018	5-	3	0.45E-03	0.29E+06	11.548354 -	14.524913

4181.88379	1-	3	0.44E-02	0.56E+06	11.723161 -	14.687119
4190.71289	5-	5	0.74E-03	0.28E+06	11.548354 -	14.506067
4191.02930	1-	3	0.43E-02	0.54E+06	11.723161 -	14.680650
4198.31689	3-	1	0.23E-02	0.26E+07	11.623592 -	14.575949
4200.67480	5-	7	0.36E-02	0.97E+06	11.548354 -	14.499054
4251.18506	5-	3	0.18E-03	0.11E+06	11.548354 -	14.463996
4259.36182	3-	1	0.36E-02	0.40E+07	11.828071 -	14.738115
4266.28711	3-	5	0.14E-02	0.31E+06	11.623592 -	14.528913
4272.16895	3-	3	0.22E-02	0.80E+06	11.623592 -	14.524913
4300.10107	3-	5	0.17E-02	0.38E+06	11.623592 -	14.506067
4333.56104	3-	5	0.27E-02	0.57E+06	11.828071 -	14.688291
4335.33789	3-	3	0.11E-02	0.39E+06	11.828071 -	14.687119
4345.16797	3-	3	0.84E-03	0.30E+06	11.828071 -	14.680650
4363.79492	3-	3	0.34E-04	0.12E+05	11.623592 -	14.463996
4423.99414	1-	3	0.64E-04	0.73E+04	11.723161 -	14.524913
4510.73291	3-	1	0.12E-02	0.12E+07	11.828071 -	14.575949
4522.32324	1-	3	0.83E-03	0.90E+05	11.723161 -	14.463996
4544.74609	3-	3	0.26E-03	0.83E+05	12.907015 -	15.634328
4554.32422	3-	5	0.20E-03	0.38E+05	12.907015 -	15.628592
4584.95605	3-	5	0.84E-03	0.16E+06	12.907015 -	15.610410
4586.61084	3-	3	0.73E-03	0.23E+06	12.907015 -	15.609434
4587.20898	3-	1	0.52E-03	0.49E+06	12.907015 -	15.609082
4589.28906	3-	5	0.33E-04	0.62E+04	11.828071 -	14.528913

4596.09717	3-	3	0.30E-03	0.95E+05	11.828071	-	14.524913
4628.44092	3-	5	0.21E-03	0.38E+05	11.828071	-	14.506067
4642.13721	3-	5	0.52E-03	0.96E+05	12.907015	-	15.577110
4647.48926	3-	3	0.39E-03	0.12E+06	12.907015	-	15.574036
4702.31592	3-	3	0.36E-03	0.11E+06	11.828071	-	14.463996
4746.82080	3-	1	0.41E-03	0.36E+06	12.907015	-	15.518227
4752.93896	3-	3	0.15E-02	0.45E+06	12.907015	-	15.514866
4768.67285	3-	5	0.49E-02	0.86E+06	12.907015	-	15.506261
4798.74219	7-	9	0.39E-03	0.88E+05	13.075716	-	15.658675
4835.96973	7-	9	0.42E-03	0.93E+05	13.075716	-	15.638791
4836.69727	3-	5	0.60E-03	0.10E+06	12.907015	-	15.469705
4876.26074	3-	5	0.46E-02	0.78E+06	12.907015	-	15.448914
4886.29004	7-	9	0.55E-03	0.12E+06	13.075716	-	15.612396
4887.94727	3-	3	0.47E-02	0.13E+07	12.907015	-	15.442836
4894.69092	3-	1	0.22E-02	0.18E+07	12.907015	-	15.439342
4921.03418	5-	7	0.30E-03	0.59E+05	13.094872	-	15.613644
4937.72021	7-	5	0.94E-04	0.36E+05	13.075716	-	15.585975
4956.75000	7-	9	0.85E-03	0.18E+06	13.075716	-	15.576338
4989.94287	5-	7	0.58E-03	0.11E+06	13.094872	-	15.578861
5032.02393	7-	5	0.22E-03	0.82E+05	13.075716	-	15.538932
5048.81104	3-	5	0.29E-02	0.46E+06	12.907015	-	15.362041
5054.17578	3-	3	0.17E-02	0.45E+06	12.907015	-	15.359435
5056.52881	3-	1	0.73E-03	0.57E+06	12.907015	-	15.358294

5060.07910	7-	9	0.18E-02	0.37E+06	13.075716	-	15.525275
5070.97705	5-	3	0.60E-03	0.26E+06	13.094872	-	15.539168
5073.07568	3-	5	0.38E-03	0.59E+05	12.907015	-	15.350299
5078.03320	7-	7	0.18E-03	0.47E+05	13.075716	-	15.516615
5087.08398	5-	7	0.87E-03	0.16E+06	13.094872	-	15.531428
5104.72900	3-	5	0.57E-03	0.87E+05	13.153144	-	15.581278
5118.20215	5-	7	0.15E-02	0.27E+06	13.094872	-	15.516615
5127.80078	5-	5	0.13E-03	0.33E+05	13.094872	-	15.512081
5151.39111	3-	1	0.32E-02	0.24E+07	12.907015	-	15.313155
5152.30273	3-	5	0.73E-03	0.11E+06	12.907015	-	15.312729
5162.28516	3-	3	0.76E-02	0.19E+07	12.907015	-	15.308078
5177.53613	7-	5	0.69E-03	0.24E+06	13.075716	-	15.469705
5187.74609	3-	5	0.93E-02	0.14E+07	12.907015	-	15.296293
5192.73340	7-	7	0.49E-04	0.12E+05	13.075716	-	15.462699
5194.05225	3-	1	0.11E-02	0.78E+06	13.153144	-	15.539521
5210.48584	7-	7	0.45E-03	0.11E+06	13.075716	-	15.454566
5214.77441	5-	3	0.51E-03	0.21E+06	13.094872	-	15.471767
5216.29980	5-	3	0.32E-03	0.13E+06	13.094872	-	15.471072
5221.27002	7-	9	0.46E-02	0.88E+06	13.075716	-	15.449653
5241.09326	5-	5	0.54E-03	0.13E+06	13.094872	-	15.459831
5246.19824	5-	7	0.69E-03	0.12E+06	13.171778	-	15.534435
5249.16504	5-	5	0.33E-03	0.79E+05	13.171778	-	15.533100
5252.78711	5-	7	0.31E-02	0.54E+06	13.094872	-	15.454566

5254.47070	3-	5	0.25E-02	0.36E+06	13.153144 -	15.512081
5286.06885	5-	7	0.56E-03	0.96E+05	13.171778 -	15.516615
5290.01514	5-	3	0.23E-03	0.90E+05	13.171778 -	15.514866
5309.51270	5-	5	0.51E-03	0.12E+06	13.171778 -	15.506261
5317.71484	5-	7	0.15E-02	0.26E+06	13.302227 -	15.633110
5373.49414	3-	5	0.19E-02	0.27E+06	13.153144 -	15.459831
5393.97900	5-	5	0.42E-03	0.96E+05	13.171778 -	15.469705
5410.47461	5-	7	0.12E-02	0.20E+06	13.171778 -	15.462699
5421.35059	7-	5	0.19E-02	0.60E+06	13.075716 -	15.362041
5439.98926	3-	3	0.84E-03	0.19E+06	12.907015 -	15.185508
5442.24609	7-	7	0.41E-03	0.93E+05	13.075716 -	15.353263
5451.65234	3-	5	0.35E-02	0.47E+06	12.907015 -	15.180634
5457.41602	5-	3	0.96E-03	0.36E+06	13.094872 -	15.366090
5459.65088	7-	7	0.17E-03	0.38E+05	13.075716 -	15.346003
5467.16016	5-	5	0.34E-03	0.76E+05	13.094872 -	15.362041
5473.45117	5-	3	0.54E-03	0.20E+06	13.094872 -	15.359435
5490.12012	5-	5	0.38E-03	0.85E+05	13.094872 -	15.352560
5492.08008	3-	1	0.84E-03	0.56E+06	13.282639 -	15.539521
5495.87305	7-	9	0.98E-02	0.17E+07	13.075716 -	15.331039
5506.11230	5-	7	0.23E-02	0.36E+06	13.094872 -	15.346003
5524.95703	7-	7	0.78E-03	0.17E+06	13.075716 -	15.319168
5528.96094	1-	3	0.17E-02	0.12E+06	13.273038 -	15.514866
5534.47852	5-	3	0.74E-03	0.27E+06	13.302227 -	15.541820

5540.85986	7-	5	0.13E-03	0.41E+05	13.075716	-	15.312729
5552.74121	3-	3	0.37E-03	0.79E+05	13.282639	-	15.514866
5558.70166	3-	5	0.11E-01	0.14E+07	12.907015	-	15.136848
5559.67578	3-	5	0.17E-02	0.22E+06	13.282639	-	15.512081
5572.54102	5-	7	0.43E-02	0.66E+06	13.094872	-	15.319168
5574.22803	3-	5	0.36E-03	0.46E+05	13.282639	-	15.506261
5581.87061	7-	5	0.19E-03	0.56E+05	13.075716	-	15.296293
5588.72021	5-	5	0.70E-03	0.15E+06	13.094872	-	15.312729
5597.47607	5-	7	0.28E-02	0.42E+06	13.302227	-	15.516615
5606.73291	3-	3	0.10E-01	0.22E+07	12.907015	-	15.117746
5618.01367	3-	3	0.99E-03	0.21E+06	13.153144	-	15.359435
5620.92090	3-	1	0.57E-03	0.36E+06	13.153144	-	15.358294
5623.77002	5-	5	0.66E-03	0.14E+06	13.302227	-	15.506261
5635.57617	3-	5	0.76E-03	0.96E+05	13.153144	-	15.352560
5637.33984	1-	3	0.13E-02	0.91E+05	13.273038	-	15.471767
5639.12012	1-	3	0.30E-02	0.21E+06	13.273038	-	15.471072
5641.37598	3-	5	0.69E-03	0.87E+05	13.153144	-	15.350299
5648.68701	5-	3	0.34E-03	0.12E+06	13.171778	-	15.366090
5650.70361	3-	1	0.51E-02	0.32E+07	12.907015	-	15.100544
5659.12695	5-	5	0.12E-02	0.26E+06	13.171778	-	15.362041
5681.89893	5-	7	0.14E-02	0.20E+06	13.171778	-	15.353263
5683.72998	5-	5	0.97E-03	0.20E+06	13.171778	-	15.352560
5700.87207	5-	7	0.40E-02	0.59E+06	13.171778	-	15.346003

5712.50439	1-	3	0.13E-02	0.87E+05	13.273038 -	15.442836
5739.51904	3-	5	0.72E-02	0.87E+06	13.153144 -	15.312729
5772.11426	5-	7	0.14E-02	0.20E+06	13.171778 -	15.319168
5774.00830	5-	5	0.55E-03	0.11E+06	13.302227 -	15.448914
5783.53564	3-	5	0.68E-03	0.81E+05	13.153144 -	15.296293
5789.47363	5-	5	0.23E-03	0.46E+05	13.171778 -	15.312729
5790.40088	5-	3	0.10E-03	0.34E+05	13.302227 -	15.442836
5802.08008	5-	3	0.13E-02	0.42E+06	13.171778 -	15.308078
5834.26367	5-	5	0.27E-02	0.52E+06	13.171778 -	15.296293
5843.77930	3-	5	0.28E-03	0.33E+05	13.327857 -	15.448914
5860.31006	3-	3	0.15E-02	0.28E+06	12.907015 -	15.022088
5882.62402	3-	1	0.21E-02	0.12E+07	12.907015 -	15.014066
5888.58398	7-	5	0.48E-02	0.13E+07	13.075716 -	15.180634
5912.08496	3-	3	0.55E-02	0.10E+07	12.907015 -	15.003566
5916.59766	5-	3	0.19E-03	0.59E+05	13.094872 -	15.189824
5927.12500	7-	7	0.19E-03	0.37E+05	13.075716 -	15.166946
5928.81250	5-	3	0.35E-02	0.11E+07	13.094872 -	15.185508
5940.85498	1-	3	0.19E-02	0.12E+06	13.273038 -	15.359435
5942.66797	5-	5	0.95E-03	0.18E+06	13.094872 -	15.180634
5943.88770	7-	5	0.14E-03	0.36E+05	13.075716 -	15.161049
5949.25879	3-	3	0.80E-03	0.15E+06	13.282639 -	15.366090
5964.47998	1-	3	0.12E-02	0.77E+05	13.273038 -	15.351173
5968.31982	3-	3	0.96E-03	0.18E+06	13.282639 -	15.359435

5971.60107	3-	1	0.20E-02	0.11E+07	13.282639	-	15.358294
5981.92334	5-	7	0.90E-04	0.12E+05	13.094872	-	15.166946
5987.30078	7-	7	0.65E-03	0.12E+06	13.075716	-	15.145928
5988.14404	3-	5	0.55E-03	0.61E+05	13.282639	-	15.352560
5994.69189	3-	5	0.23E-03	0.26E+05	13.282639	-	15.350299
5998.99805	5-	5	0.76E-03	0.14E+06	13.094872	-	15.161049
6005.72510	5-	3	0.45E-03	0.14E+06	13.302227	-	15.366090
6013.67676	7-	5	0.54E-03	0.14E+06	13.075716	-	15.136848
6025.15039	5-	3	0.29E-02	0.90E+06	13.302227	-	15.359435
6032.12695	7-	9	0.17E-01	0.25E+07	13.075716	-	15.130545
6043.22314	5-	7	0.11E-01	0.15E+07	13.094872	-	15.145928

ArI

6052.72266	3-	5	0.17E-02	0.19E+06	12.907015	-	14.954852
6059.37207	3-	5	0.39E-02	0.42E+06	12.907015	-	14.952604
6064.75000	5-	7	0.45E-03	0.58E+05	13.302227	-	15.346003
6081.24414	3-	3	0.42E-03	0.75E+05	13.327857	-	15.366090
6085.87891	3-	3	0.50E-04	0.90E+04	13.153144	-	15.189824
6090.78516	1-	3	0.50E-02	0.30E+06	13.273038	-	15.308078
6098.80322	3-	3	0.29E-02	0.52E+06	13.153144	-	15.185508
6101.16113	3-	3	0.18E-02	0.33E+06	13.327857	-	15.359435
6104.58984	3-	1	0.63E-03	0.34E+06	13.327857	-	15.358294
6105.63477	3-	5	0.11E-01	0.12E+07	13.282639	-	15.312729
6113.46631	3-	5	0.44E-03	0.47E+05	13.153144	-	15.180634

6119.65576	3-	3	0.29E-03	0.51E+05	13.282639 -	15.308078
6121.87939	3-	5	0.12E-03	0.13E+05	13.327857 -	15.352560
6127.41602	5-	3	0.37E-03	0.11E+06	13.094872 -	15.117746
6128.72363	3-	5	0.81E-03	0.86E+05	13.327857 -	15.350299
6145.44141	5-	7	0.60E-02	0.76E+06	13.302227 -	15.319168
6155.23828	5-	3	0.17E-02	0.51E+06	13.171778 -	15.185508
6165.12305	5-	5	0.56E-03	0.99E+05	13.302227 -	15.312729
6170.17383	5-	5	0.29E-02	0.50E+06	13.171778 -	15.180634
6173.09570	3-	5	0.64E-02	0.67E+06	13.153144 -	15.161049
6179.41895	5-	3	0.23E-03	0.66E+05	13.302227 -	15.308078
6212.50293	5-	7	0.32E-02	0.39E+06	13.171778 -	15.166946
6215.93848	5-	5	0.33E-02	0.57E+06	13.302227 -	15.296293
6230.92090	5-	5	0.70E-04	0.12E+05	13.171778 -	15.161049
6243.38965	3-	1	0.25E-03	0.13E+06	13.327857 -	15.313155
6244.73047	3-	5	0.19E-03	0.20E+05	13.327857 -	15.312729
6248.40576	3-	5	0.66E-03	0.68E+05	13.153144 -	15.136848
6278.64502	5-	7	0.17E-03	0.20E+05	13.171778 -	15.145928
6296.87305	3-	5	0.89E-02	0.90E+06	13.327857 -	15.296293
6307.65674	5-	5	0.36E-02	0.60E+06	13.171778 -	15.136848
6309.16016	3-	3	0.45E-03	0.76E+05	13.153144 -	15.117746
6364.89355	3-	1	0.11E-02	0.56E+06	13.153144 -	15.100544
6369.57520	5-	3	0.15E-02	0.42E+06	13.171778 -	15.117746
6384.71680	3-	3	0.26E-02	0.42E+06	12.907015 -	14.848369

6416.30664	3-	5	0.12E-01	0.12E+07	12.907015	-	14.838811
6431.55518	5-	3	0.19E-03	0.51E+05	13.094872	-	15.022088
6466.55225	1-	3	0.28E-02	0.15E+06	13.273038	-	15.189824
6481.14502	1-	3	0.18E-02	0.94E+05	13.273038	-	15.185508
6493.96924	5-	3	0.12E-03	0.31E+05	13.094872	-	15.003566
6513.84570	3-	3	0.34E-03	0.54E+05	13.282639	-	15.185508
6538.11230	7-	7	0.71E-03	0.11E+06	13.075716	-	14.971522
6596.11328	7-	5	0.11E-03	0.23E+05	13.075716	-	14.954852
6598.67773	5-	5	0.24E-03	0.36E+05	13.302227	-	15.180634
6604.01123	7-	5	0.13E-02	0.28E+06	13.075716	-	14.952604
6604.85303	5-	7	0.12E-03	0.13E+05	13.094872	-	14.971522
6632.08398	3-	3	0.35E-03	0.53E+05	13.153144	-	15.022088
6656.93799	3-	3	0.21E-03	0.31E+05	13.327857	-	15.189824
6660.67676	3-	1	0.17E-02	0.78E+06	13.153144	-	15.014066
6664.05078	5-	5	0.10E-02	0.15E+06	13.094872	-	14.954852
6677.28076	3-	1	0.53E-03	0.24E+06	11.623592	-	13.479887
6684.78809	3-	5	0.44E-03	0.39E+05	13.282639	-	15.136848
6698.47119	3-	3	0.17E-03	0.25E+05	13.153144	-	15.003566
6698.87402	5-	3	0.65E-03	0.16E+06	13.171778	-	15.022088
6719.21875	1-	3	0.49E-02	0.24E+06	13.273038	-	15.117746
6722.89014	5-	7	0.30E-03	0.32E+05	13.302227	-	15.145928
6752.83398	3-	5	0.22E-01	0.19E+07	12.907015	-	14.742540
6754.37207	3-	3	0.14E-02	0.21E+06	13.282639	-	15.117746

6756.16260	5-	5	0.25E-02	0.36E+06	13.302227	-	15.136848
6766.61084	5-	3	0.16E-02	0.40E+06	13.171778	-	15.003566
6779.92627	1-	3	0.25E-02	0.12E+06	13.479887	-	15.308078
6818.28906	3-	1	0.46E-03	0.20E+06	13.282639	-	15.100544
6827.24902	5-	3	0.10E-02	0.24E+06	13.302227	-	15.117746
6851.88428	3-	5	0.79E-03	0.67E+05	13.327857	-	15.136848
6871.28906	3-	3	0.20E-01	0.28E+07	12.907015	-	14.710898
6879.58301	3-	5	0.21E-02	0.18E+06	13.153144	-	14.954852
6887.08789	5-	7	0.13E-02	0.13E+06	13.171778	-	14.971522
6888.17383	3-	5	0.30E-02	0.25E+06	13.153144	-	14.952604
6925.00928	3-	3	0.86E-03	0.12E+06	13.327857	-	15.117746
6937.66406	3-	1	0.74E-02	0.31E+07	12.907015	-	14.693640
6951.47705	5-	5	0.16E-02	0.22E+06	13.171778	-	14.954852
6960.25000	5-	5	0.17E-02	0.24E+06	13.171778	-	14.952604
6965.43018	5-	3	0.28E-01	0.64E+07	11.548354	-	13.327857
6992.21191	3-	1	0.18E-02	0.75E+06	13.327857	-	15.100544
7030.25098	7-	5	0.14E-01	0.27E+07	13.075716	-	14.838811
7067.21680	5-	5	0.29E-01	0.38E+07	11.548354	-	13.302227
7068.73486	5-	3	0.90E-02	0.20E+07	13.094872	-	14.848369
7086.70459	1-	3	0.34E-02	0.15E+06	13.273038	-	15.022088
7107.47656	5-	5	0.34E-02	0.45E+06	13.094872	-	14.838811
7125.81982	3-	3	0.46E-02	0.60E+06	13.282639	-	15.022088
7147.04102	5-	3	0.29E-02	0.62E+06	11.548354	-	13.282639

7158.83887	3-	1	0.54E-02	0.21E+07	13.282639 -	15.014066
7162.55664	1-	3	0.13E-02	0.58E+05	13.273038 -	15.003566
7206.97998	5-	3	0.12E-01	0.25E+07	13.302227 -	15.022088
7229.94043	5-	5	0.52E-03	0.66E+05	13.094872 -	14.809271
7265.17041	3-	3	0.13E-02	0.17E+06	13.153144 -	14.859230
7270.66992	7-	7	0.87E-03	0.11E+06	13.075716 -	14.780512
7272.93506	3-	3	0.14E-01	0.18E+07	11.623592 -	13.327857
7285.44336	5-	3	0.57E-03	0.12E+06	13.302227 -	15.003566
7311.71582	3-	3	0.14E-01	0.17E+07	13.153144 -	14.848369
7316.00537	3-	3	0.77E-02	0.96E+06	13.327857 -	15.022088
7350.81445	3-	1	0.32E-02	0.12E+07	13.327857 -	15.014066
7353.17480	3-	5	0.28E-02	0.21E+06	13.153144 -	14.838811
7353.30029	5-	7	0.11E-01	0.96E+06	13.094872 -	14.780512
7372.11670	7-	9	0.20E-01	0.19E+07	13.075716 -	14.757051
7383.97998	3-	5	0.12E+00	0.85E+07	11.623592 -	13.302227
7392.97949	5-	3	0.35E-02	0.72E+06	13.171778 -	14.848369
7412.33691	3-	5	0.54E-02	0.39E+06	13.282639 -	14.954852
7422.31201	3-	5	0.91E-03	0.66E+05	13.282639 -	14.952604
7425.29395	5-	7	0.36E-02	0.31E+06	13.302227 -	14.971522
7435.36816	5-	5	0.75E-02	0.90E+06	13.171778 -	14.838811
7436.29688	7-	5	0.16E-02	0.27E+06	13.075716 -	14.742540
7471.16406	3-	3	0.18E-03	0.22E+05	11.623592 -	13.282639
7484.33008	3-	5	0.48E-02	0.34E+06	13.153144 -	14.809271

7503.86768	3-	1	0.12E+00	0.44E+08	11.828071	-	13.479887
7510.40771	5-	5	0.38E-02	0.45E+06	13.302227	-	14.952604
7514.65088	3-	1	0.11E+00	0.40E+08	11.623592	-	13.273038
7618.34424	3-	5	0.42E-02	0.29E+06	13.327857	-	14.954852
7628.88184	3-	5	0.42E-02	0.29E+06	13.327857	-	14.952604
7635.10498	5-	5	0.21E+00	0.24E+08	11.548354	-	13.171778
7670.05664	5-	3	0.15E-02	0.28E+06	13.094872	-	14.710898
7704.81982	5-	7	0.79E-03	0.63E+05	13.171778	-	14.780512
7723.75977	5-	3	0.28E-01	0.52E+07	11.548354	-	13.153144
7724.20703	1-	3	0.31E+00	0.12E+08	11.723161	-	13.327857
7798.56055	3-	5	0.13E-02	0.87E+05	13.153144	-	14.742540
7868.19385	1-	3	0.98E-02	0.35E+06	13.273038	-	14.848369
7891.07471	5-	5	0.89E-02	0.95E+06	13.171778	-	14.742540
7916.44238	3-	3	0.11E-02	0.12E+06	13.282639	-	14.848369
7948.17627	1-	3	0.53E+00	0.19E+08	11.723161	-	13.282639
7965.06445	3-	5	0.54E-03	0.34E+05	13.282639	-	14.838811
8006.15625	3-	5	0.79E-01	0.49E+07	11.623592	-	13.171778
8014.78516	5-	5	0.89E-01	0.93E+07	11.548354	-	13.094872
8016.73828	5-	3	0.24E-04	0.42E+04	13.302227	-	14.848369
8037.21924	1-	3	0.10E-01	0.36E+06	13.479887	-	15.022088
8046.11816	3-	1	0.36E-02	0.11E+07	13.153144	-	14.693640
8053.30811	5-	3	0.50E-02	0.86E+06	13.171778	-	14.710898
8066.60400	5-	5	0.14E-02	0.14E+06	13.302227	-	14.838811

8103.69189	3-	3	0.25E+00	0.25E+08	11.623592 -	13.153144
8115.31152	5-	7	0.46E+00	0.33E+08	11.548354 -	13.075716
8151.86816	3-	3	0.33E-03	0.33E+05	13.327857 -	14.848369
8203.43555	3-	5	0.27E-02	0.16E+06	13.327857 -	14.838811
8264.52051	3-	3	0.16E+00	0.15E+08	11.828071 -	13.327857
8384.73047	5-	7	0.35E-02	0.24E+06	13.302227 -	14.780512
8408.20898	3-	5	0.39E+00	0.22E+08	11.828071 -	13.302227
8424.64746	3-	5	0.38E+00	0.22E+08	11.623592 -	13.094872
8490.30664	3-	5	0.17E-02	0.96E+05	13.282639 -	14.742540

الملخص

يعتبر غاز الأرجون ذو أهمية كبيرة نظرا لتطبيقاته العديدة خصوصا في أجهزة الرش المهبطي المستخدمة في إنشاء الطبقات الرقيقة، و مساهمتنا في دراسة بلازما الأرجون تتمثل في قيامنا خلال هذه الدراسة بحساب درجة حرارة تأين الوسط انطلاقا من الطيف التجريبي باستخدام أحد الطرق الطيفية و المتمثلة في طريقة بولتزمان وذلك بافتراضنا أن البلازما في حالة توازن حراري محلي، وأن جسيمات الوسط مستقلة، ومن أجل نتائج أدق استعنا ببرنامج لرسم الأطياف الذرية و الذي يعتمد على معطيات الفيزياء الذرية حيث قمنا بإعداد برنامج عددي بلغة الفورتران من أجل ضبط المعطيات بشكل دقيق. والنتائج المتحصل عليها أثبتت أن البلازما في توازن حراري محلي، ودرجة الحرارة الإلكترونية مقبولة لأنها ضمن مجال حرارة لبلازما المخبرية الباردة (1- 5 ev).

الكلمات المفتاحية: البلازما، بولتزمان، الأرجون، تشخيص، الأطياف الذرية.

Résumé

Le gaz Argon a une grande importance en raison de ses nombreuses applications, notamment dans les dispositifs de pulvérisation cathodique utilisés pour créer des couches minces. Notre contribution à l'étude de plasma d'argon. Nous avons au cours de cette étude, la température de l'ionisation du centre du spectre expérimentale en utilisant un spectroscopique et de la façon dont le Boltzmann et ainsi nous proposons le plasma dans le cas d'un équilibre thermique local, et que le centre-particules indépendantes, afin de plus de précision, nous avons utilisé le programme pour tracer les spectres atomiques, qui repose sur les données de la physique atomique, où nous avons préparé un programme de langue numérique le fortran afin d'ajuster les données, et les résultats obtenus ont montré que le plasma à l'équilibre thermique local, et la température électronique est acceptable car il est à la portée de la température du laboratoire par plasma froid (1-5 ev).

Mots clés: plasma, Boltzmann, l'argon, le diagnostic, les spectres atomiques

Abstract

The argon is considered of great importance because of its several applications, especially in the sputtering devices used to create thin layers, and our contribution to the study of the argon plasma is that we have calculated the temperature of the ionization of the milieu by empirical spectrum using one of the spectrum ways which is the Boltzmann's way and this by hypothesizing that plasma is in local temperature balance and that the corpuscles of the milieu are independent. And for more accurate results we have used a software for drawing molecular spectrum. This software relies on nucleonic physical data through making a numeric software by the fortran language for controlling the data in an accurate way. The results obtained proved that the plasma is in local temperature balance and that the electronic temperature is acceptable because it is within the area of cold laboratory temperature of plasma (1-5ev).

Key words : plasma ; Boltzmann ; Argon ;diagnosis ;Molecular spectrum.