

جامعة قاصدي مرباح ورقلة  
كلية الرياضيات و علوم المادة  
قسم الفيزياء

رقم الترتيب : .....

الرقم التسلسلي : .....



مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

فرع : فيزياء

التخصص : فيزياء الإشعاعات، كاشف و بصريات إلكترونية

من إعداد الطالبة: مناصري شريفة

بعنوان :

حساب الكثافة الإلكترونية لغاز الأرغون خلال جهاز الرش  
تحت تردد 40 هرتز

نوقشت يوم 23 / 05 / 2016 .

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر ب	محمدي لزهر
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ مساعد أ	سوداني محمد البار
مشرفا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر ب	بن مبروك لزهر

الموسم الجامعي 2015 / 2016

إهداء

إلى

والديا العزيزين

إخوتي و أخواتي

الأهل والأحباب

الزملاء والزميلات

كل من علمني حرفا

أهدي هذا العمل



## تشكرات

أتقدم أولاً و آخراً بالشكر لله عز وجل الذي بنعمته تتم الصالحات، فله الحمد حتى يرضى  
وله الحمد إذا رضي وله الحمد بعد الرضا.

أتقدم بالامتنان إلى أستاذي " بن مبروك لزهري"، أستاذ محاضر بجامعة ورقلة، على منحه  
لي أفضل فرصة علمية بأن يكون مؤطرا لي، وتحمله من ذلك عبئا كبيرا ، وصبرا طويلا  
في مختلف مراحل إعداد هذه المذكرة.

أتقدم بالشكر الجزيل إلى الأستاذ " محمدي لزهري" على قبوله ترؤس لجنة المناقشة، و  
الأستاذ "سوداني محمد البار" على قبوله مناقشة هذه المذكرة، و إلى كل من ساهم في  
انجاز هذا العمل.

أقدم خالص شكري إلى كل من الأستاذ " خلفاوي فتحي " و الأستاذ " بن طوييلة عمر " على  
ما قدماه لي من نصائح وتوجيهات.

كما أشكر جميع أساتذتي الأفاضل بقسم الفيزياء وخاصة الأساتذة الذين درسوني في  
مرحلة التعليم الجامعي، ولا أنسى بالشكر جميع المسؤولين والباحثين في مخبر الإشعاع  
والبلازما وفيزياء السطوح بجامعة قاصدي مرباح ورقلة.

الصفحة	الفهرس
	اهداء
	تشكرات
	فهرس الأشكال
	فهرس الجداول
01	مقدمة عامة .....
<b>الفصل الأول : عموميات حول البلازما والأطيفاف</b>	
03	1-1-I-البلازما .....
04	1-1-I-لمحة تاريخية .....
04	1-2-I-تعاريف البلازما .....
05	1-3-I-البلازما الباردة .....
05	1-4-I-أهم خصائص البلازما .....
05	1-4-1-I-التوصيل الكهربائي .....
05	1-4-2-I-التعادل الكهربائي في البلازما .....
05	1-5-I-بعض معاملات البلازما .....
05	1-5-1-I-درجة التأين .....
06	1-5-2-I-درجة الحرارة الإلكترونية والأيونية .....
07	1-5-3-I-كثافة الجسيمات ودوال التوزيع .....
08	1-5-4-I-طول ديبي .....
08	1-5-5-I-كرة ديبي .....

09	.....I-1-5-6-تردد البلازما
09	.....I-1-5-7-طول لاندوا
10	.....I-1-5-8-معامل البلازما
10	.....I-1-6-القوانين الإحصائية للتوازن
10	.....I-1-6-1-توزيع ماكسويل - بولتزمان
11	.....I-1-6-2-توزيع بولتزمان
11	.....I-1-6-3-قانون ساها - أغريت
11	.....I-1-6-4-قانون بلانك - إشعاع الجسم الأسود
12	.....I-1-6-5-قانون دالتون
12	.....I-1-6-6-قانون الحياد الكهربائي
12	.....I-1-7-نماذج التوازن في البلازما
13	.....I-1-7-1-التوازن الحراري الكلي ETT
13	.....I-1-7-2-التوازن الحراري المحلي ETL
14	.....I-1-7-3-التوازن الحراري المحلي الجزئي ETLP
14	.....I-1-7-4-التوازن الإشعاعي
14	.....I-1-7-5-البلازما خارج التوازن
14	.....I-1-8-الإشعاع في البلازما
15	.....I-1-9-التأين ومعادلة ساها
16	.....I-2-الأطياف
16	.....I-2-1-تعريف الطيف
16	.....I-2-2-أنواع الأطياف

16	.....-1-2-2-I الطيف المستمر
16	.....-2-2-2-I طيف الإصدار
17	.....-3-2-2-I طيف الإمتصاص
17	.....-3-2-I التعريضات وأشكال الخطوط
17	.....-1-3-2-I دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية
18	.....-1-1-3-2-I التعريض الطبيعي
19	.....-2-1-3-2-I تعريض دوبلر
19	.....-3-1-3-2-I تعريض التصادمات
19	.....-1-3-1-3-2-I تعريض بالرنين
20	.....-2-3-1-3-2-I تعريض فاندرفالز
20	.....-3-3-1-3-2-I تعريض ستارك
20	.....-4-2-I شكل الخط
20	.....-1-4-2-I شكل غوص
20	.....-2-4-2-I شكل لورنتز
20	.....-3-4-2-I شكل فويت
21	.....-4-4-2-I الشكل المركب
21	.....-5-2-I الطرق المستعملة لتحليل الأطياف
21	.....-1-5-2-I شدة الخطوط الطيفية
21	.....-1-1-5-2-I شدة الخطوط الطيفية الذرية
22	.....-2-1-5-2-I شدة الخطوط الطيفية الجزئية
22	.....-2-5-2-I تحديد درجة حرارة الإلكترون

23	1-2-5-2-I-نسبة الشدة بين خطين .....
23	2-2-5-2-I-طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان .....
<b>الفصل الثاني: عموميات حول الرش المهبطي وبعض تطبيقات غاز الأرجون</b>	
24	1-II-الرش المهبطي .....
24	1-1-II-الطرق العامة لتوضع الطبقات الرقيقة .....
25	1-1-1-II-التوضع الكيميائي للطور البخاري (CVD) .....
25	2-1-1-II-التوضع الفيزيائي للطور البخاري (PVD) .....
25	1-2-1-1-II-التوضع بطريقة الرش المهبطي .....
26	2-2-1-1-II-المبدأ العام للرش المهبطي .....
27	3-2-1-1-II-أنواع الرش المهبطي .....
27	1-3-2-1-1-II-الرش المهبطي المستمر .....
28	2-3-2-1-1-II-الرش المهبطي المتناوب .....
28	3-3-2-1-1-II-الرش المهبطي للصمام الثلاثي .....
28	4-3-2-1-1-II-الرش المهبطي المغنطروني .....
29	2-II-بعض تطبيقات الأرجون .....
<b>الفصل الثالث: الحساب العددي، النتائج والمناقشة</b>	
30	1-III-وصف النموذج الرياضي .....
30	1-1-III-غرفة الرش .....
31	2-1-III-الطيف التجريبي .....
32	2-III-طريقة الحساب .....

33	..... III-2-1- حساب شكل الخط الطيفي
34	..... III-2-1-1- قاعدة المعطيات الذرية
36	..... III-2-1-2- رسم الأطياف الذرية النظرية
38	..... III-2-1-3- طرق التحليل الطيفي
38	..... III-2-1-3-1- المقارنة بين الأطياف النظرية والطيف التحريبي
38	..... III-2-1-3-2- حساب الكثافة الإلكترونية
42	..... III-2-1-3-3- مناقشة النتائج
43	..... خلاصة عامة
44	..... ملحق
60	..... قائمة المراجع
ملخص	



## قائمة الأشكال

### 3..... الفصل الأول :عموميات حول البلازما والأطيف

8..... الشكل ( 1-1 ) : رسم تخطيطي يوضح كرة ديباي

17..... الشكل ( 1-2-1 ) : طيف الإصدار (الإنبعث) .....

17..... الشكل ( 2-2-1 ) : طيف الإمتصاص .....

### 24..... الفصل الثاني :عموميات حول الرش المهبطي وبعض تطبيقات غاز الأرجون

24 ..... الشكل ( 1-1-II ) : مخطط تصنيف طرق توضع الطبقات الرقيقة .....

26..... الشكل (2-1-II):رسم تخطيطي لمبدأ الرش المهبطي .....

27..... الشكل (3-1-II):رسم تخطيطي للرش المهبطي المستمر DC .....

28..... الشكل (4-1-II):مبدأ الرش المهبطي المتناوب .....

### 30..... الفصل الثالث :الحساب العددي ، النتائج و المناقشة.....

الشكل (1-III): الطيف التجريبي لانبعاث بلازما الأرجون (Ar) الناتج عن غرف الرش المهبطي RF في المجال الطيفي

31..... 350 nm-380 nm عند ضغط (0.4 Torr) واستطاعة (125 W).....

32..... الشكل (2-III): الجهاز التجريبي .....

الشكل (III-3): مخطط توضيحي للبرنامج المتبع ..... 35

الشكل (III-4): الطيف النظري المحسوب لعنصر الArI ..... 36

الشكل (III-5): الطيف النظري المحسوب لعنصر الAr II ..... 37

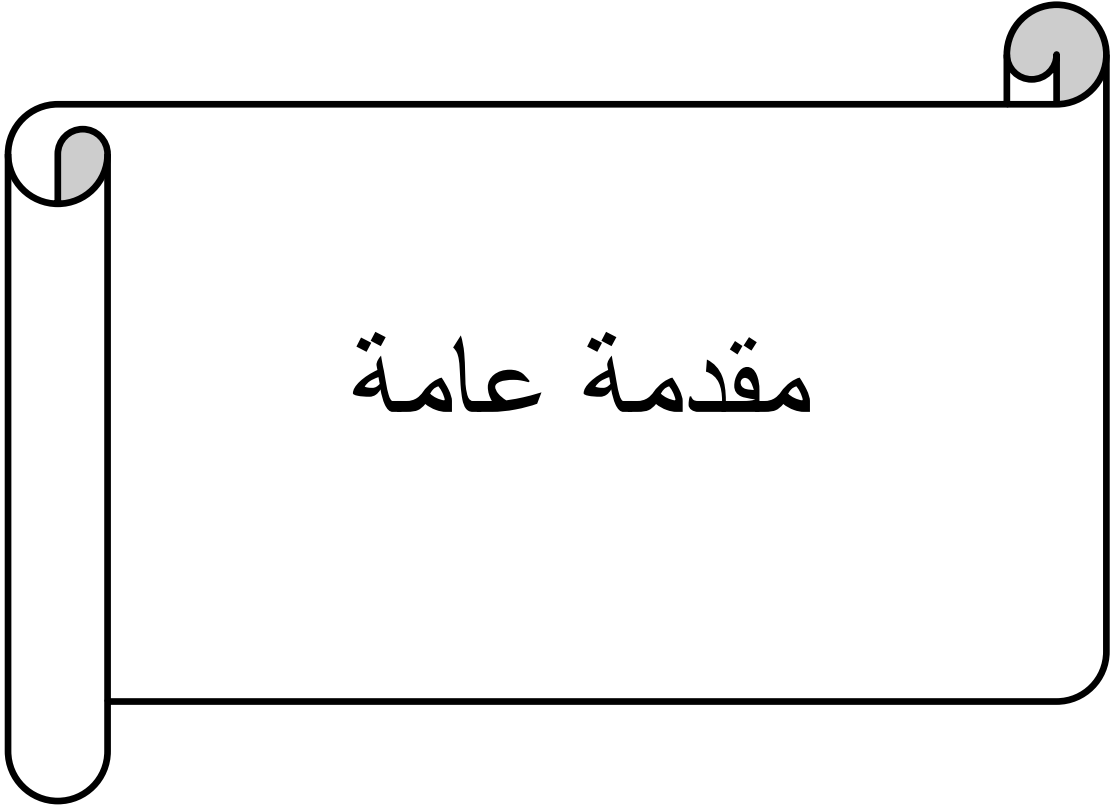
الشكل (III-6): الطيف النظري المحسوب لعنصر الAr III ..... 37

## قائمة الجداول

### الفصل الثالث : الحساب العددي ، النتائج و المناقشة

الجدول (III-1) : جدول يمثل المعطيات الفيزيائية الذرية للطيف المحصل عليه مع الشدات التجريبية لعنصر

الأرغون.....الأرغون.....41



## مقدمة عامة

نظرا للاستخدام الكبير للطبقات الرقيقة في المجال الصناعي، خاصة في مجال الإلكترونيات الدقيقة إذ تدخل في تركيب المركبات الإلكترونية. اهتمت البحوث العلمية بدراسة طرق تحضير هذه الطبقات والوسائط المستعملة فيها، واتضح أن لها عدة تقنيات نذكر منها [1]:

- التوضع الكيميائي للطور البخاري (CVD).
- التوضع الفيزيائي للطور البخاري (PVD).

تعتمد هاتان التقنيتان أساسا على عملية التفريغ المتوهج للغاز، وتمتازان عن غيرها من التقنيات بإمكانية توضع المواد العازلة،الناقلة و النصف الناقلة [2]. تنقسم هاتان التقنيتان لعدة طرق، تختلف باختلاف الوسائط المستعملة، و أكثرها شيوعا طريقة التوضع الكيميائي للطور البخاري باستعمال البلازما و طريقة الرش المهبطي .

علاوة عن المزايا سألقة الذكر لطرق التفريغ المتوهج استفردت طريقة الرش المهبطي بسرعة توضع ومردود رش كبيرين، بالإضافة لإمكانية تحسينها بتطبيق حقول مغناطيسية موازية لسطح المهبط [3]، أين يتم زيادة إمكانية تأين ذرات الغاز. تسمى هذه الطريقة بالرش المهبطي المغنطوني وتعتمد أساسا على وسائط البلازما. لتحسين خصائص الطبقات المتوضعة بطريقة الرش المهبطي ركز الباحثون أكثر على دراسة البلازما المستعملة كوسيط، وتحديد خصائصها الكهربائية وتأثير العوامل الماكروسكوبية على هذه الخصائص تجريبيا أو نظريا.

تتم دراسة البلازما تجريبيا باستخدام طرق التشخيص، كطريقة الإصدار الضوئي والتشخيص بمطياف الكتلة أو باستخدام التحليل الطيفي [4].

في عملنا هذا سنقوم بتحديد خاصية من الخصائص الكهربائية لغاز الأرجون المستخدمة لتوضع طبقات السيليسيوم بطريقة الرش المهبطي، والمتمثلة في الكثافة الإلكترونية.

حيث يغذى الجهاز (مهبط اسطواني ) بمصدر جهد متناوب لتردد مذياعي RF تواتره (40Hz).

سنقدم عملنا في ثلاث فصول كمايلي :

**الفصل الأول** سنتطرق فيه لدراسة موجزة عن البلازما بشكل عام. تعريفها وبعض خصائصها ومعاملاتها كدرجة التأين، درجة الحرارة الإلكترونية، كثافة الجسيمات المشحونة، طول ديبياي، طول لانداو .. ثم نتطرق إلى عموميات حول الأطياف نظرا لأهميتها، حيث سنبين أنواعها وكذا التعريضات التي تحويها وأشكال الخطوط، بالإضافة إلى نظرة شاملة حول الطرق الطيفية المستعملة في التحليل الطيفي .

**الفصل الثاني** نقدم فيه طرق توضع الطبقات الرقيقة، حيث سنتكلم بشكل مفصل عن طريقة الرش المهبطي. وسنتناول فيه كذلك بعضا من تطبيقات الأرجون المتعددة.

**أما الفصل الثالث** والأخير والذي يمثل الجزء العملي من الدراسة، فهو يتضمن وصف النموذج الذي اعتمدهنا في هذا البحث، حيث نقدم فيه المعالجة العددية، ونوضح فيه مخطط سير الحساب العددي لبرنامجنا، ونحدد فيه الطريقة المناسبة لحساب الكثافة الإلكترونية لغاز الأرجون، نعرض النتائج ونقوم بمناقشتها ومقارنتها مع نتائج باحثين آخرين.

وفي الأخير نقدم حوصلة لما قمنا به في خلاصة عامة مع آفاق الدراسة.

# الفصل الأول

عموميات حول البلازما

و الأطياف

## 1-1-البلازما :

إن معظم المواد التي تشكل الكون هي في حالة بلازما (ما يقارب 99%)، وتتشترك كل أنواع البلازما بأنها تخضع وتفسر بنفس الآليات، وتديرها نفس القوانين الفيزيائية، وذلك حتى باختلاف مقادير وسائطها. كما تعرف البلازما بالحالة الرابعة للمادة لكونها لاهي صلبة ولا سائلة ولا حتى غازية، فهي عبارة عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة وإلكترونات وأيونات موجبة متناسب معين يجعل الوسط إجمالاً متعادلاً كهربائياً [5].

و يعد موضوع البلازما من المواضيع الحديثة نسبياً، ذلك أنه لم يدخل علم الفيزياء إلا في الثلث الأول من القرن الميلادي العشرين.

وحيث أنه لا يمكن معالجة البلازما معالجة عينية (macroscopic)، ذلك أنها ظواهر تحدث على سلم صغير جداً من الأطوال، وتتناول عدداً ضخماً من الجسيمات، فإنه يتعين معالجتها إحصائياً (Statistically).

كثيراً ما تتم دراسة البلازما من خلال الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر عنها، إذ يحلل الطيف (Spectrum) الوارد منها كيفية لمعرفة العناصر التي تشكل هذه البلازما أو تلك، وكما لمعرفة تراكيزها ودرجات حرارتها. بصيغة أعم، يمكن القول أن دراسة الإشعاع الوارد عن البلازما مشخص مهم لمعرفة حالة البلازما [6].

سنتطرق في هذا الفصل إلى تقديم عموميات حول البلازما وذلك بالنظر إليها تاريخياً ومعرفة ماهيتها وأنواعها وكذلك خصائصها وإلى أهم المقادير في فيزياء البلازما. وستتناول فيه كذلك عموميات حول الأطياف ....



### 1-1-1-لمحة تاريخية:

في عام 1879م اعتبر الفيزيائي الانكليزي "Sir william Crookes" حالة مادية رابعة. أطلق عليها آنذاك إسم "المادة المشعة".

في عام 1897م اكتشف الفيزيائي البريطاني Joseph Thomson خصائص البلازما وطبيعتها، ويرجع الفضل في تسمية البلازما إلى الفيزيائي "Lingmuir" في عام 1928م، لاعتقاده أنها تشبه بلازما الدم على الأرجح. وقد كتب "Lingmuir": "فيما عدا جوار الأقطاب حيث توجد أعمدة بها إلكترونات قليلة، فإن الغاز المتأين يحوي أيونات وإلكترونات متساوية العدد تقريبا، مما يجعل الشحنة الفضائية الإجمالية ضئيلة جدا. سنستخدم اسم البلازما لوصف هذه المنطقة المحتوية على شحنات متوازنة من الأيونات والإلكترونات" [7].

### 1-1-2-تعريف البلازما :

كما ذكرنا آنفا تشكل البلازما نسبة 99% من المادة الكونية بين النجوم والمجرات من حيث الكتلة والحجم، كما أن بعض الكواكب تشكل البلازما أغلب مادتها [7].

فما هي البلازما ياترى؟

✓ يمكن القول أن البلازما غاز متأين يحوي عددا كبيرا وكافيا من جسيمات مشحونة. تحجب نفسها الكتروستاتيكية عند مسافة صغيرة [6].

✓ عند تسخين المادة من حالة صلبة إلى سائلة إلى غازية، ثم زيادة التسخين، تبدأ بالتأين، ذلك أن إلكتروناتنا أو أكثر سيتحرر من كل ذرة من الغاز [6].

يمكن وصف البلازما بأنها تجمع لجسيمات متأينة، تتفاعل جماعيا بالقوى الكهرومغناطيسية البعيدة المدى، والمرتبطة بشحناتها وحركاتها [6].

وبلازما أنواع : البلازما الباردة، البلازما الحارة والبلازما الحرارية.

### 1-1-3-البلازما الباردة :

تمثل البلازما الحالة الرابعة للمادة، وهي عبارة عن غاز مؤين، حيث تشير البلازما الباردة للغازات ضعيفة التأين، وتحتوي على شحنات سالبة (الكاتيونات وأيونات سالبة)، شحنات موجبة (أيونات موجبة) وجسيمات محايدة [8].

تتميز بعدة خصائص كهربائية تسمح لنا بتفسير الظواهر الفيزيائية على مستوى البلازما كدرجة التأين، درجة الحرارة الإلكترونية، الكثافة الإلكترونية، طول ديبي، ...

### 1-1-4-أهم خصائص البلازما:

**1-1-4-1-التوصيل الكهربائي:** لعل أهم خصائص البلازما الجديدة بالذكر، موصليتها الكهربائية العالية، حتى أن الحقول الكهربائية الخارجية تلغى في وسط البلازما بفعل التيارات المتحرضة [6].

**1-1-4-2-التعادل الكهربائي في البلازما:** إحدى الصفات المهمة للبلازما هي نزعتها لتبقى متعادلة كهربائياً، أي ميلها إلى توازن الشحنة الفراغية السالبة مع الشحنة الفراغية الموجبة في كل جزء من الحجم العيني، وإن أي اختلال بسيط في كثافات الشحنة الفراغية يسبب نشوء قوى كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التعادل، من جهة أخرى إذا تعرضت البلازما إلى حقل كهربائي خارجي، فإن كثافات الشحن الفراغية ستتنظم نفسها بحيث يحجب الجزء الأعظم من البلازما من تأثيرات هذا الحقل [6].

### 1-1-5-بعض المقادير المهمة في فيزياء البلازما:

**1-1-5-1-درجة التأين:** التأين هو ظاهرة تشكل شحن حرة داخل الغاز. ففي الحالة الطبيعية تكون الغازات بمثابة عوازل كهربائية (متعادلة كهربائياً)، وبتطبيق حقول كهربائية عالية التوتر تتحول إلى نواقل كهربائية، تسمى هذه الظاهرة بالتأين الكهربائي لغاز أو بالتفريغ الكهربائي الغازي (بلازما التفريغ) [5].

تمثل درجة التأين إحدى المعايير لتصنيف البلازما [9]. وتعرف بأنها النسبة بين كثافة الجسيمات المشحونة (إلكترونات، أيونات) والكثافة الكلية للبلازما. تصاغ رياضيا بالمعادلة الآتية [4]:

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

حيث:

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

$n_N$ : تمثل الكثافة العددية للجسيمات المحايدة.

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

$\alpha_0$ : تمثل القيمة الحرجة لدرجة التأين، بحيث تظهر أفعال البلازما.

### 1-5-2- درجة الحرارة الإلكترونية والأيونية: درجة الحرارة الإلكترونية $T_e$ تشير لدرجة حرارة الإلكترونات.

وتعتبر الأكثر أهمية مقارنة بدرجة حرارة الجسيمات الأخرى (أيونات، جسيمات محايدة) في تحديد الظواهر التي تحدث في البلازما

[10]، إذ أن الإلكترونات هي العامل الأكثر فعالية في تأين البلازما. في نظام متوازن ترموديناميكيا درجة حرارة الإلكترونات تحقق

المعادلة التالية :

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

حيث:

$E_C$ : الطاقة الحركية.

$m_e$ : كتلة الإلكترون.

$V$ : سرعة الإلكترون.

$T_e$ : درجة حرارة الإلكترونات بالكلفن.

$K_B$ : ثابت بولتزمان.

وتعبر هذه المعادلة عن تساوي الطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات مع طاقة التحريض الحراري.

### 1-1-3- كثافة الجسيمات ودوال التوزيع: كثافة البلازما $N$ تمثل عدد الجسيمات في وحدة الحجم لكل صنف

(أيونات، إلكترونات، جسيمات حيادية)، ويخضع توزيعها لعبارات إحصائية تدعى دوال التوزيع التي تصف عدد الجسيمات في

اللحظة  $t$  والموضع بين  $r$  و  $r+dr$ ، حيث:

$$F = f(t, r, v) \dots\dots\dots (3-1-1)$$

$F$ : دالة في الزمن والموضع والسرعة .

نميز ثلاث دوال لتوزيع الجسيمات في الفيزياء الإحصائية.

- توزيع فيرمي ديراك
- توزيع بوز-إنشتاين
- توزيع ماكسويل بولتزمان

إذا كان الغاز في حالة توازن ترموديناميكي، وطاقة التفاعل بين الجسيمات مهملة أمام الطاقة الحركية فان الجسيمات تخضع لتوزيع

ماكسويل بولتزمان، والذي يعبر عن التصادمات أثناء الحركة العشوائية، وتكتب دالة توزيع السرعات في هذه الحالة كالتالي [11]:

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

حيث:

$m$ ،  $T$ ،  $K_B$  تمثل على الترتيب ثابت بولتزمان، درجة الحرارة وكتلة الجسيم.

**1-1-5-4-طول ديبياي:** يعرف طول ديبياي على أنه المسافة التي يتم عندها الحجب الكولوني لأي شحنة كهربائية في

البلازما [12]، وترجع تسميته إلى العالم الهولندي بيتر ديبياي [7].

يرمز لطول ديبياي بـ  $\lambda_D$  ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{K_B}{4\pi e^2 N_e}} \cdot T_e = \lambda_D \text{ (cm)} = 6.9 \sqrt{\frac{T_e \text{ (k)}}{N_e \text{ (cm}^{-3})}} \dots\dots\dots (1-1-5)$$

حيث :

$N_e$ : الكثافة الإلكترونية.

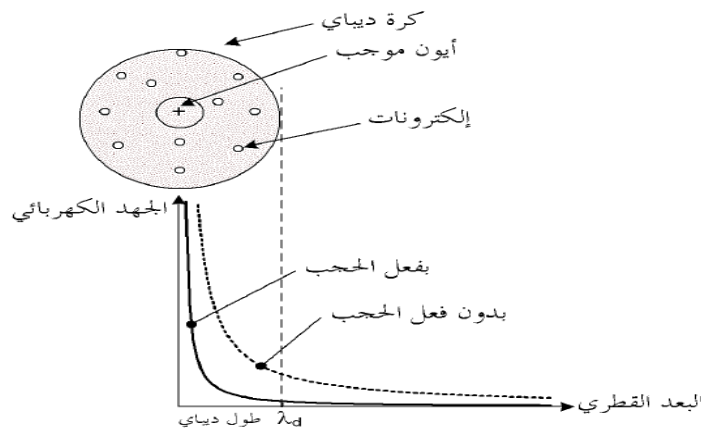
$K_B$ : ثابت بولتزمان.

$e$ : الشحنة الإلكترونية.

$T_e$ : درجة الحرارة.

**1-1-5-5-كرة ديبياي:** تعرف على أنها كرة من الشحنات نصف قطرها هو طول ديبياي، تكون الشحنات داخل هذه الكرة

ذات تأثير متبادل قوي فيما بينها، على عكس الشحنات التي توجد على حواف هذه الكرة فهي تقريبا محجوبة [7].



الشكل (1-1): كرة ديبياي

1-1-5-6- تردد البلازما: يمثل المعيار الأساسي للأزمة في فيزياء البلازما [7].

ولكل صنف من البلازما تردد خاص، فبالنسبة للأيونات :

$$\omega_{pi} = \sqrt{\frac{4\pi(Z_e)^2 n_i}{m_i}} \dots\dots\dots ( 6-1-1 )$$

حيث:

$Z_e$ : شحنة الأيون،  $n_i$ : الكثافة الأيونية،  $m_i$ : كتلة الأيون .

أما بالنسبة للإلكترونات :

$$\omega_{pe} = \sqrt{\frac{4\pi(e)^2 n_e}{m_e}} \dots\dots\dots ( 7-1-1 )$$

حيث:

$e$  شحنة الإلكترون،  $n_e$  الكثافة الإلكترونية،  $m_e$  كتلة الإلكترون .

1-1-5-7- طول لانداو: وهو الطول الحرج للتفاعل الشائبي،  $r_0$ ، ويستخدم هذا الطول في تحليل ظواهر التصادمات،

وارتباطات الموضوع في البلازما [6]. ويحدد بـ :

$$K_B T = \frac{e^2}{4\pi r_0 \epsilon_0} \implies r_0 = \frac{e^2}{T K_B 4\pi \epsilon_0} \dots\dots\dots ( 8-1-1 )$$

حيث:

$K$  ثابت بولتزمان،  $e$  الشحنة الإلكترونية و  $T$  درجة الحرارة المطلقة .

1-1-5-8-معامل البلازما ( $\eta$ ): يؤخذ معامل البلازما بعين الاعتبار إذا كانت الطاقة الكامنة المتوسطة للجسيمات

المشحونة أصغر من طاقتها الحركية و عندها تسلك الجسيمات المشحونة سلوك جسيمات حرة وتنتقل في مسارات على شكل خط مستقيم وهذا الشرط يحدد بالمعامل  $\eta$  وتعطى عبارة معامل البلازما بالشكل التالي :

$$\eta = \frac{r_{av}^2}{3\lambda_D^2} \ll 1 \quad \dots\dots\dots ( 9-1-1 )$$

حيث:

$r_{av}$ : المسافة المتوسطة بين الايونات [5].

### 1-1-6-القوانين الإحصائية للتوازن :

من أجل وضع مختلف القوانين الرئيسية في التوازن الحراري، نفترض أن البلازما المدروسة منتجة انطلاقا من غاز محايد محتوي في علبة معزولة عن الخارج، في درجة حرارة الغرفة 300 K ، وفي غياب مصدر كهربائي و متوسط الطاقة الحركية للجزيئات غير كافي لإنتاج أزواج إلكترون- أيون بالتصادم [13] .

### 1-1-6-1- توزيع ماكسويل-بولتزمان (توزيع ماكسويل للسرعات): قانون ماكسويل يسمح بإعطاء

توزيع ماكسويل - بولتزمان لسرعات الجزيئات. وعبارته كالتالي :

$$F(v)d(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{m_e}{2\pi T}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{m_e v^2}{2K_B T}\right) \quad \dots\dots\dots ( 10-1-1 )$$

حيث:  $K_B$  - ثابت بولتزمان.

$m_e$  - كتلة الإلكترون.

$T$  - درجة الحرارة [14].

**1-1-6-2- قانون بولتزمان:** يعطي نسبة كثافة الإسكان بين مستويين طاقيين أو أكثر لنفس الأيون (الحالات المثارة

بالنسبة للحالة الأساسية)، ويعطى حسب العلاقة التالية :

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{g_i}{g_0} \exp \left[ -\frac{E_i - E_0}{K_B T} \right] \dots \dots \dots ( 11-1-1 )$$

حيث:  $g_0$  و  $g_i$ : درجة التوالد .

$N_0$ : كثافة الذرة في الحالة الأساسية ذات طاقة  $E_0$  .

$N_i$ : كثافة الذرة في الحالة المثارة ذات طاقة  $E_i$  [15].

**1-1-6-3- قانون ساها - أغريت (Saha - Eggert):** يسمح بإعطاء درجة تأين الوسط خلال التوالد

من خلال نسبة الإسكان بدلالة درجة الحرارة للوسط. ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\frac{N_e N_i}{N_0} = \frac{g_e g_i}{g_0} \left( \frac{2\pi m_e K_B T}{h^2} \right) \exp \left( -\frac{E_i}{K_B T} \right) \dots \dots \dots ( 12-1-1 )$$

أين:  $m_e$ : كتلة الإلكترون.

$K_B$ : ثابت بولتزمان .

$h$ : ثابت بلانك .

$g_0, g_i, g_e$ : الوزن الإحصائي للإلكترون والأيون و الذرة المحايدة ،  $g_0, g_i$  تعتمد على نوع الذرة المعتبرة و لكن دائما  $= 2$

$g_e$  ( حالتين سبين ) [9].

**1-1-6-4- قانون بلانك-إشعاع الجسم الأسود-:** ينطبق هذا القانون على اشعاع الجسم الأسود، ويعبر عن

كمية الطاقة، لوصف الإشعاع الطيفي للجسم الأسود عند درجة حرارة  $T$  نستخدم قانون بلانك لتحديد المتغير المتعلق بالجسم

الأسود [15].



$$I_\nu = \frac{8h\nu^3}{c^2} \left( \exp\left(\frac{h\nu}{k_B T} - 1\right) \right)^{-1} \dots\dots\dots (13-1-1)$$

1-1-6-5- قانون دالتون: الضغط الكلي P للبلازما يتعلق بدرجة حرارة  $T_i$  للجزيئات المتوسطة من خلال كثافة الجسيمات حسب العلاقة [14]:

$$P = \sum_i k_B T_i n_i \dots\dots\dots (14-1-1)$$

1-1-6-6- قانون الحياد الكهربائي : البلازما محايد كهربائي :

$$n_e q_e + n_p q_p + n_n q_n = 0 \dots\dots\dots (15-1-1)$$

حيث " $n_e$ " : تمثل كثافة الإلكترونات .

" $q_e$ " : تمثل شحنة الإلكترونات .

" $n_p$ " : تمثل كثافة الأيون الموجب .

" $q_p$ " : تمثل شحنة الأيون الموجب .

" $n_n$ " : تمثل كثافة الأيون السالب .

" $q_n$ " : تمثل شحنة الأيون السالب [14] .

1-1-7- نماذج التوازن في البلازما:

- التوازن الحراري الكلي ETT.

- التوازن الحراري المحلي ETL.

- التوازن الحراري المحلي الجزئي ETLP.

- التوازن الإشعاعي.

- البلازما الغير متوازنة.

**1-7-1-1- التوازن الحراري الكلي ETT**: تتميز البلازما ذات التوازن الحراري الكلي بنفس درجة الحرارة T لجميع

الأنواع المشكلة لهاته البلازما.

في وسط ذو توازن حراري كلي تكون الظواهر التصادمية والإشعاعية مجهرية عكسية، كل عملية يقابلها توازن عكسي - بعملية

معاكسة لها-، فيما يتميز الوسط بدرجة حرارة وحيدة.

تكون الجسيمات موزعة حسب توزيع سرعات ماكسويل، ونتيجة لهاته المميزات يمكن تحقيق مجموعة من القوانين، تسمح هذه القوانين

بإعطاء كل تفاصيل الكثافات ولا تتعلق إلا بطاقة كل عنصر معتبر.

في هذه الظروف، تكون قوانين التوازن صالحة في كل نقطة، سواء:

- قانون ماكسويل.

- قانون بولتزمان.

- قانون ساها - أغريت.

- قانون بلانك [14].

**1-7-1-2- التوازن الحراري المحلي ETL**: في كل البلازما، في بعض الظروف تعرف بحالة توازن حراري محلي،

نفترض درجة حرارة محلية في هذه النقطة من البلازما، كل القوانين تكون صالحة في هذه الحالة ما عدا قانون بلانك [14].

### 1-1-7-3-التوازن الحراري المحلي الجزئي ETLP : لما تكون الكثافة جد منخفضة (خاصة الكثافة

الإلكترونية)، عدد الإصطدامات في وحدة الزمن غير كافي لتحقيق توازن مجهري عكسي لكلا المستويين. توازن بولتزمان لا يتحقق إلا في الحالات الأكثر إثارة (القريبة من التأين)، مستويات الطاقة المجاورة للمستوى الأساسي لديها عمر إشعاعي من شدة قصره يكون مقارنا بتصادمين بين إلكترون - محايد. وبالعكس تماما المستويات العليا التي تقع تحت المستوى الأول للذرة لأنها تتبع عدد أكبر من التصادمات لما تكون الحالات في توازن تصادمي مع الإلكترونات، وقانون بولتزمان الذي نضع فيه  $T_{exc}=T_e$ ، يسمح بتحديد كثافة الإسكان. بالتوازي، درجة حرارة الغاز (أساسا تلك المتعلقة بالذرات في الحالة الأساسية لأنها الأكثر عددا)، نضع  $T_g$  حيث  $T_g \ll T_e$  [14].

### 1-1-7-4-التوازن الإشعاعي : يتميز التوازن الحراري الكلي بالعكسية المجهرية في كل عمليات التصادم والإشعاع في

البلازما مهما كانت الأنواع الكيميائية المعتبرة. كل درجات الحرارة تكون متساوية :

$$T_{cinétique}=T_{excitation}=T_{ionisation}=T_{dissociation}=T_{rayonnement}$$

إذن تكون الأطوال المميزة لمختلف عمليات التصادم الإشعاعي للبلازما أقل بكثير من الأبعاد المميزة للبلازما، هذه الحالة المثالية لا تكون صالحة بالبلازما المدروسة على مستوى المخبر، لأن الإشعاع لا يكون أبدا في حالة توازن [14].

### 1-1-7-5-البلازما خارج التوازن : يعرف بأنه وسط لا يحقق أي قانون من قوانين التوازن الحراري [14].

### 1-1-8-الإشعاع في البلازما :

إن الكشف عن البلازما ودراستها يتم بملاحظة إشعاعها الكهرومغناطيسي المنبعث عنها، ضوء، أشعة سينية، موجات راديوية،... إن هذا الإشعاع ليس مرتبطا فقط بخصائص مشع معزول، بل أيضا بخصائص البلازما المحيطة به.

تعد الخطوط الطيفية للامتصاص والإنبعاث مفيدة لتشخيص الكثافة ودرجة الحرارة في البلازما [6].

1-1-9-التأين ومعادلة ساها saha :

إن أكثر حالات البلازما شيوعا هي دراسة الغازات المتأينة، حيث يمكن لأي ذرة أو أخرى متعادلة كهربائيا أن يتحول إلى أيون موجب مع الكتلونات سالبة، ويحدث ذلك إذا أعطيت الذرة كمية كافية من الفوتونات عالية التردد والتي يتجاوز ترددها تردد العتبة للذرات. حيث نسمي الطاقة اللازمة لتحويل ذرة واحدة إلى أيون بطاقة التأين، وهي مساوية لطاقة ارتباط إلكترون في المدار الأخير في الذرة، وتتراوح نسبة التأين بين الصفر والواحد، وتعتمد هذه النسبة على الطاقة الحركية التي تمتلكها جزيئات الغاز أو بمعنى آخر تعتمد على درجة حرارة الغاز .

لقد وضع العالم ساها علاقات لحساب درجة التأين بناء على حسابات معقدة قام بها وأشهر هذه العلاقات في حالة توازن حراري [5] :

$$\frac{n_i}{n_n} \approx 2,4 \cdot 10^5 \frac{T^{3/2}}{n_i} e^{-\frac{eu_i}{kT}} \dots\dots\dots (16-1-1)$$

$$\frac{n_i}{n_n} \approx \left( \frac{4,9 \cdot 10^7 T^{3/2}}{\sqrt{n_n}} \right) e^{-\frac{eu_i}{2kT}} \dots\dots\dots (17-1-1)$$

حيث:  $n_i$ : تركيز الايونات .

$n_n$ : تركيز الذرات المعتدلة .

T: درجة الحرارة المطلقة (بالكلفن).

$u_i$ : طاقة التأين.

K: ثابت بولتزمان.

e: الحد النيبيري .

## 1-2- الأطياف :

إن الطيف المنبعث من الذرة له أهمية كبيرة في التعرف على العناصر المختلفة، حيث أنه لكل عنصر موجود في الطبيعة طيف كهرومغناطيسي خاص به ولا يوجد عنصرين لهما نفس الطيف، حيث تدرس هذه الأطياف باستخدام المطيافية.

الأطياف هي دراسة الفوتونات بالتحديد، ويعتبر علم الأطياف فرع جديد من فروع الفيزياء الفلكية [17]، ويهدف إلى دراسة البنية الذرية و الجزيئية [9]. إذ أن الأطياف الذرية وطرق تحليلها أصبحت ذات مجال واسع وهي أساسية سواء كانت في مجال الفيزياء، الكيمياء، الطب، الهندسة، أو في علوم أخرى [18].

## 1-2-1- تعريف الطيف:

الطيف ناتج عن تشتت (تحلل) شعاع ذو طاقة إلى عدة أطوال موجية (شريط مكون من لون واحد أو عدة ألوان)، حيث نسمي الإشعاع الصادر عن الذرات بالطيف الذري، إذ استطاع بوهر سنة 1913 وضع نظرية لذرة الهيدروجين والتي بموجبها فسر الطيف المنبعث من الذرة، ويختلف الطيف باختلاف المصدر و الوسط الذي ينتشر فيه الشعاع [19].

## 1-2-2- أنواع الأطياف:

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

**1-2-2-1- الطيف المستمر :** إذا مررنا ضوء منبع أساسي مثل المصباح عبر الموشور فسنجد أن الألوان متجانسة ومتسلسلة من الأحمر إلى الأزرق، هذا التسلسل يسمى بالطيف المستمر، ومستمر لأنه يتكون من حزمة غير متقطعة من ألوان و أطوال جميع الموجات المرئية [17].

**1-2-2-2- طيف الإصدار:** يتم الحصول عليه 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 فتتحرر الطاقة الممتصة على شكل ضوء (طيف إصدار الصوديوم ...). ويمكن أن تعود الإلكترونات إلى الوضع الأرضي عبر حالة مثارة أدنى [17].



شكل (I-2-1) : طيف الإصدار (الإنبعث)

**1-2-2-3-طيف الامتصاص** : إذا كنا نريد معرفة طيف مادة ولا نستطيع جعلها تتوهج عن طريق التسخين، إما لأننا

لا نستطيع تسخينها أو لأنها تتخرب بالحرارة مثل المواد الزيتية عندها نضع منبعاً 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 الإمتصاص، ويساعد هذا الطيف في معرفة نوع المادة [17].



شكل (I-2-2) : طيف الإمتصاص .

**1-2-3-التعريضات و أشكال الخطوط :**

تم تطوير واستعمال عدة تقنيات بنجاح من اجل تحديد عوامل مختلف الأوساط (غاز، بلازما...)، إن الطرق النظرية هي التقنيات الأكثر استعمالاً عموماً، ومن بين هذه الطرق نجد طريقة مطيافية الإصدار والإمتصاص.

عند إصدار أو امتصاص الإشعاعات، تكون الأشعة الطيفية ليست رقيقة جداً، لكنها تمثل بعض العرض وبعض المقاطع، ومطيافية الإصدار الذري هي طريقة توافق جداً تشخيص الغازات والبلازما [20].

**1-2-3-1- دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية :**

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

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

### 1-2-3-1-1- التعريض الطبيعي :

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

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

$$\Delta E \Delta t = h/2\pi \dots \dots \dots (1-2-1)$$

$\Delta E$  و  $\Delta t$ : تمثل على التوالي الطاقة وعمر المستوي، وهذا يؤدي إلى تعريض هذه المستويات .

عادة ما يأخذ هذا التعريض شكل لورنتز، و التعريض الطبيعي لعرض الخط للانتقال بين مستويات الطاقة يكون من  $j \rightarrow i$

كما يلي :

$$\Delta \lambda_n = \frac{\lambda^2 A_{ij}}{2\pi c} \dots \dots \dots (2-2-1)$$

حيث :

$\lambda$ : الطول الموجي.

$A_{ij}$ : احتمال الانتقال (معامل أنشتاين) للإنبعاث التلقائي.

$c$ : تمثل سرعة الضوء .

في أغلب الأحيان يكاد يكون التعريض الطبيعي مهمل مقارنة مع تعرض دوبلر بسبب تعريض التصادم [21].

**1-2-3-1-2-تعريض دوبلر:**

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

وهو أول وصف دقيق قدمه رايلي 1889، و تردد واضح تحت مبدأ دوبلر هو :

$$\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right) \dots\dots\dots ( 3-2-1 )$$

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

وبالنظر إلى سرعة البلازما التي تنبعث منها ذرات مختلفة تتبع توزيع ماكسويل بولتزمان، تعريض دوبلر يكون وفق المعادلة التالية [21]:

$$\Delta\lambda_D = 7,16 \times 10^{-7} \lambda_0 \sqrt{\frac{T(k)}{m (u.ma)}} \dots\dots\dots ( 4-2-1 )$$

-تعريض دوبلر يأخذ شكل غوص.

**1-3-1-3-2-تعريض التصادمات :**

إن السبب الأساسي لتعريض خطوط الطيف في البلازما هو الاصطدام الناجم عن الذرات و ذلك بمختلف جزيئاتها المشحونة

و الغير مشحونة، و في هذه الحالة يحدث التعريض بواسطة التصادم .

و يمكن تقسيمه إلى ثلاث فئات :

**1-3-1-3-2-1-تعريض بالرنين:** ويكون ذلك بواسطة اضطراب الجزيئات الغير مشحونة (تفاعل ثنائي الأقطاب

- ثنائي الأقطاب ) .





$$\Delta v_0^2 = \Delta v_L^2 + \Delta v_G^2 ; \Delta v_0 \text{ حيث العرض}$$

$\Delta v_L$ : عرض شكل لورنتز.

$\Delta v_G$ : عرض شكل غوص.

**1-2-4-4-الشكل المركب**: ينتج الشكل المركب من أسباب متعددة تعمل في وقت واحد لتعريض الخط، فمن

الضروري العثور على شكل مركب،  $f(x)$  و  $g(x)$  دوال تتميز بتوزيع الكثافة في حالتين تعريفين للتعريضات، ليكن الشكل المركب  $f(x)$  و  $g(x)$  ينتج من وظيفتين :

$$F(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-y)g(y)dy = \int_{-\infty}^{+\infty} f(y)g(x-y) dy \dots\dots ( 8-2-1 )$$

إذا  $f(x)$  و  $g(x)$  وظيفتي لورنتز من خصائص  $\gamma_1$  و  $\gamma_2$ ، و  $F(x)$  وظيفة لورنتز من خاصية  $\gamma$  حيث  $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$   
 إذا  $f(x)$  و  $g(x)$  وظيفتي غوص من خصائص  $\beta_1$  و  $\beta_2$ ،  $F(x)$  وظيفة لورنتز من خاصية  $\beta$  حيث :

$$\beta = \beta_1^2 + \beta_2^2$$

و  $f(x)$  لغوص و  $g(x)$  لورنتز من خاصية  $\gamma$  و  $\beta$  حيث الشكل النهائي هو شكل فويت [20].

**1-2-5-الطرق المستعملة لتحليل الأطياف :**

**1-5-2-1-شدة الخطوط الطيفية :**

**1-1-5-2-1-شدة الخطوط الطيفية الذرية**: تتميز الخطوط الطيفية بشدة كثافة الخط الطيفي الموافق للانتقال

من المستوي الأولي إلى المستوي النهائي و تعطى من قبل القانون الكلاسيكي :

$$I_{if} = N_i A_{if} h \nu_{if} \dots\dots\dots ( 9-2-1 )$$

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

$A_{if}$ : احتمال الانتقال (معامل انشتاين) .



1-2-5-2-1- نسبة الشدة بين خطين :

نسبة الشدة بين الخطين : طريقة تتم بين انتقالين إشعاعيين في شروط توازن مستويات الطاقة الحرارية المحلية (توازن حراري محلي) لدرجة حرارة معينة .

ووفقا للمعادلة يمكننا أن نستنتج درجة الحرارة التي تنبعث من نوع الإشعاع المنبعث، نستخدم نسبة الشدة بين الخطين (1) و(2) من نفس النوع.

$$\frac{I_{ij}}{I_{kl}} = \frac{g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}{g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}} \exp\left(\frac{E_k - E_i}{KT}\right) \dots\dots\dots (11-2-1)$$

$$KT(ev) = \frac{(E_k - E_i)}{\left(\ln\left(\frac{I_{ij} \cdot g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}}{I_{kl} \cdot g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}\right)\right)} \dots\dots\dots (12-2-1)$$

1-2-5-2-2- طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان :

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

$$I_{if} = \frac{hc}{\lambda} \frac{ng_i A_{if}}{U(T_{exc})} \exp\left(-\frac{E_i}{T_{exc}}\right) \dots\dots\dots (13-2-1)$$

حيث:

$h$  : ثابت بلانك .

$c$ : سرعة الضوء في الفراغ .

$U(T_{exc})$ : دالة التوزيع .

$\lambda$ : الطول الموجي الموافق للانتقال .

$A_{if}$ : احتمال الانتقال [23].

## الفصل الثاني

عموميات حول الرش  
المهبطي وبعض تطبيقات  
غاز الأرخون



## II-1-1-1-التوضيح الكيميائي للطور البخاري CVD:

هذه الطريقة مستعملة بكثرة لإعداد الطبقات الرقيقة، وهي تعتمد على التفاعل الكيميائي بين مكونات الغاز لتوضيح على المسند مشكلة طبقة رقيقة [27]، حيث تتدخل في هذه الطريقة عدة وسائط كالضغط، ودرجة الحرارة، والبلازما... الخ، وهذا ما يميز تصنيفها إلى عدة أصناف:

- تأثير الضغط يعطي LPCVD في حالة الضغوط المنخفضة و HPCVD إذا كان الضغط مرتفعاً.
- إذا كان الوسيط المستعمل بلازما تتحول CVD إلى PECVD للحصول على التوضيح، وذلك في درجات الحرارة المنخفضة.

## II-1-1-2-التوضيح الفيزيائي للطور البخاري PVD:

تعتمد تقنية التوضيح الفيزيائي للطور البخاري على عملية التبخر الحراري للمواد تحت الضغوط المنخفضة، ولها عدة مميزات مقارنة بطريقة CVD، فهي غير ملوثة كما أن الطبقات المتوضحة تكون كثيفة وسهلة المراقبة. ومن بين طرق التوضيح الفيزيائي للطور البخاري الأكثر استعمالاً نجد طريقة الرش المهبطي، وهي الطريقة المعتمدة في عملنا هذا، والتي سنتكلم عنها بشكل موسع في الفقرات الموالية.

## II-1-2-1-التوضيح بطريقة الرش المهبطي:

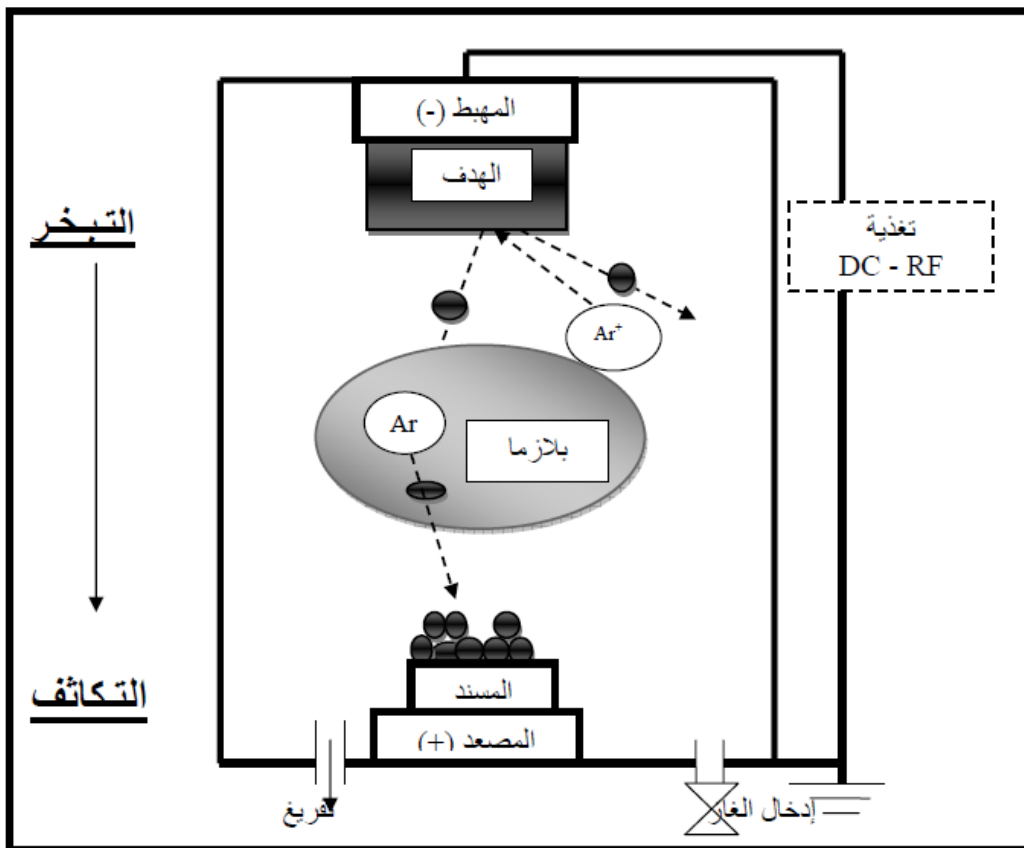
ظهرت هذه الطريقة منذ 1852 من طرف Grove ثم Pluker [28]، الذي أثبتها باستخدام التفريغ الكهربائي بين إلكترودين ناقلين (مصعد ومهبط)، يفصل بينهما فراغ يحتوي على غاز حامل في ضغط منخفض، حيث ظهرت على المصعد شرائح رقيقة. استغرقت هذه الظاهرة وقتاً طويلاً وذلك لتأثير عدة عوامل منها مدة حياة الذرات، ومع مرور الزمن تمت دراستها وتطويرها لإنتاج أسرع للطبقات الرقيقة.

II-1-1-2-2-1-2-المبدأ العام للرش المهبطي :

يمثل الشكل (I-2) الرسم التخطيطي لمبدأ الرش المهبطي، والذي يتمثل في إقتلاع ذرات مادة الهدف بواسطة قذفها بأيونات طاغوية ناتجة عن التفريغ الكهربائي للغاز (الغاز المستخدم عموما يكون غازا خاملا كغاز الأرجون) [3].

تثبت مادة الهدف على المهبط الذي يحمل جهدا سالبا (3 إلى 5 KV) بالنسبة للمصعد وموازيا 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، متجهة نحو المهبط فتتصادم مع مادة الهدف ويتبادلان كمية الحركة فيما بينهما، ينتج عن ذلك إقتلاع ذرات محايدة كهربائيا، تتوضع على صفيحة مستوية متصلة بالمصعد تسمى المسند، مشكلة شريحة مجهرية تمثل الطبقة

الرقيقة [29].



الشكل (II-1-2): رسم تخطيطي لمبدأ الرش المهبطي.



تتميز هذه الظاهرة بالمرود  $S$  والذي يمثل النسبة بين الذرات المقتلعة والذرات الواردة.  $S = \frac{N_p}{N_i}$

يتعلق هذا المرود بالمعاملات التالية:

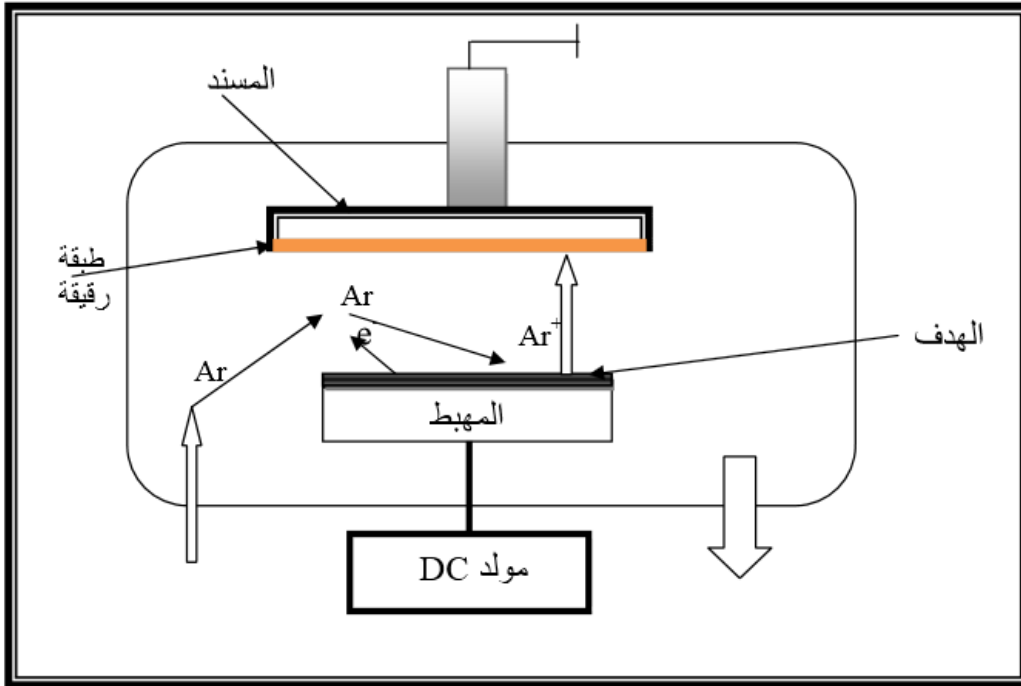
- طبيعة الهدف (المادة وحالة السطح)
- طبيعة الأيونات الواردة (أيونات غاز نادر أو غاز فعال)
- طاقة الأيونات الواردة
- زاوية الورود

### II-1-1-3-2-1- أنواع الرش المهبطي:

#### II-1-1-3-2-1- الرش المهبطي المستمر: الرش المهبطي المستمر يسمح فقط بتوضع المواد الناقلة أو النصف

ناقلة، حيث يتم تطبيق جهد سالب ومستمر على المهبط، مما يولد تفريغا كهربائيا (تأين الغاز) وظهور أيونات طاغوية ذات طاقة

حركية عالية، تتجه نحو المهبط لاقتلاع ذراته وترسبها على المسند، مشكلة طبقة رقيقة [30].



الشكل (II-1-3): رسم تخطيطي للرش المهبطي المستمر DC.

## II-1-1-2-3-2-الرش المهبطي المتناوب: ذكرنا في الفقرة السابقة أن الرش المهبطي المستمر يسمح فقط

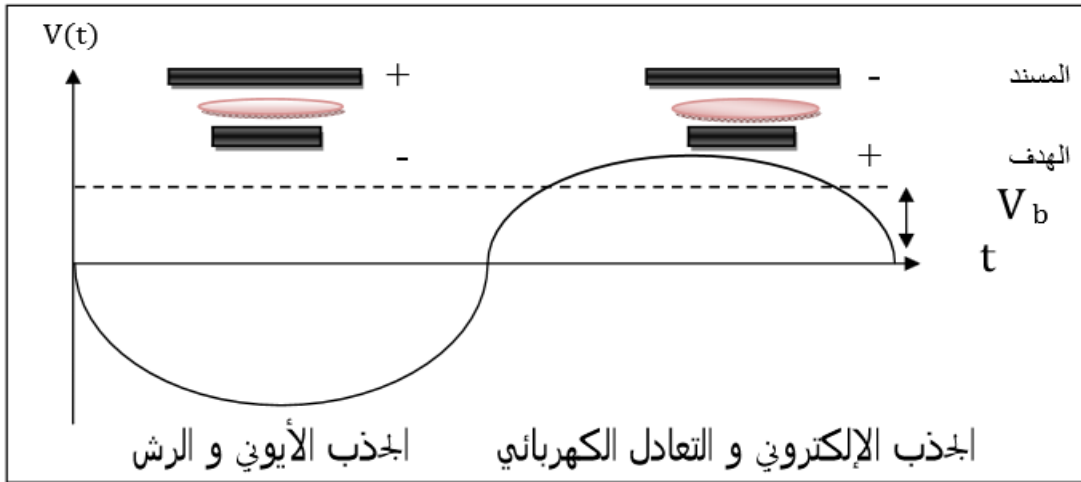
بتوضع المواد الناقلة أو النصف ناقلة، أما إذا كانت مادة الهدف، عازلة فإن الجهد المستمر المطبق لا يمكنه فصل الشحنات المحمولة مع

الأيونات، والتي تتراكم على سطح الهدف، مشكلة مجالا كهربائيا يعمل على إبعاد الأيونات [31].

إذا طبقنا جهدا متناوبا يزول فعل هذا المجال الكهربائي خلال الإهتزازة السالبة منها حيث يتم الجذب الأيوني نحو المهبط إلى أن

يشحن بكمون موجب. في هذه المرحلة تحدث عملية الرش، وتوضع الطبقات، أما خلال الإهتزازة الموجبة من هذا الإستقطاب

تتسارع الإلكترونات نحو المهبط ويحدث التعادل الكهربائي بين الشحنات الموجبة والإلكترونات.



الشكل (II-1-4): مبدأ الرش المهبطي المتناوب .

## II-1-1-2-3-3-الرش المهبطي للصمام الثلاثي: لتسهيل عملية إنتاج إلكترونات إضافية لتأين الغاز يمكن

استعمال سلك ساخن يلعب دور مصعد ثان يطبق عليه استقطاب سالب بالنسبة للبلازما، ويتم إخراج الإلكترونات الصادرة حراريا

للحفاظ على هذا الإستقطاب والتقليل من إمكانية إعاقاة عملية التوضع، تدعى هذه الطريقة بطريقة الرش المهبطي للصمام

الثلاثي (PCT)، وتكون سرعة التوضع فيها مرتفعة، وسمك الطبقات المتوضعة كبيرا نوعا ما.

## II-1-1-2-3-4-الرش المهبطي المغنطروني: الضغط المطبق من أجل الرش المهبطي العادي يتراوح عموما

بين ( 100Pa ~ 1 )، في هذا المجال من الضغوط متوسط المسار الحر للإلكترونات يكون صغيرا بالنسبة لطول غمد البلازما،

مما يؤدي لزيادة احتمالية تصادم الأيونات وتبادلها للطاقة الحركية قبل وصولها لسطح الهدف، فيكون هناك انخفاض في مردود الرش المهبطي وسرعة توضع الطبقات.

لمعالجة هذا الإشكال كانت المهابط المغنطرونية، وهذا لجذب الإلكترونات المجاورة للمهبط وزيادة كثافتها حوله، وبالتالي زيادة نسبة التأين وسرعة التوضع وانخفاض الجهد المطبق .

## II-2- بعض تطبيقات غاز الأرجون :

يعتبر غاز الأرجون من الغازات الخاملة، اكتشف من طرف العالم الإنجليزي "ويليم رامساي"، وله تطبيقات عديدة نذكر بعضها منها:

غاز الأرجون من أكثر مقومات البلازما شيوعا في الكثير من التطبيقات، حيث يستعمل في دراسات البلازما الأساسية.

غاز الأرجون جد مستقر وحامل كيميائيا تحت معظم الشروط [32] .

غاز الأرجون يمكن أن يستعمل في التحليل الطيفي للبلازما (تقدم تشخيصات مفيدة مثل معلومات حول الحرارة الإلكترونية أو

الكثافة الإلكترونية ) [33] .

غاز الأرجون مستعمل بكثرة في توضع الطبقات الرقيقة ومعالجة السطوح بالبلازما.

نظرا لهاته الخصائص ولكلفته المنخفضة، غاز الأرجون مستعمل بشكل كبير في التطبيقات العلمية و الصناعية [32].

## الفصل الثالث

الحساب العددي ، النتائج  
والمقارنة

مقدمة:

تطرقنا في الفصل السابق إلى عموميات حول تقنية الرش المهبطي وبعض تطبيقات غاز الأرجون المستعمل فيها، وسنتناول في هذا الفصل الطريقة المناسبة من أجل حساب الكثافة الإلكترونية لغاز الأرجون خلال جهاز الرش .

يستخدم غاز الأرجون في عملية التفريغ الكهربائي لتوضع الطبقات الرقيقة بتقنية الرش المهبطي ويكون في ضغط (0.4Torr) حيث

$1 \text{ Torr} = 133 \text{ Pa}$ ، غاز الأرجون عبارة عن غاز خامل ضروري لرش هدف صلب ، وهو يتميز بخاصيتين مهمتين ، فهو غير

فعال ويتميز بدرجة تأين مرتفعة ، مما يجعله مستخدما بكثرة في توضع الطبقات الرقيقة ومعالجة السطوح بالبلازما .

درجة حرارة النظام ( غاز - مهبط - مصعد ) ثابتة وتساوي 300 k ، والمسافة بين المصعد والمهبط تتراوح بين

( 2cm~5cm ) .

III-1-1- وصف النموذج الرياضي :

اعتمدنا في هذا العمل على طريقة الرش المهبطي المغذى بمصدر جهد متناوب ذي تردد مذباعي RF تردده 40 هرتز لتوضع رقائق

السيليسيوم ، وذلك باستخدام بلازما الأرجون (Ar)، من أجل تحديد إحدى الخصائص الكهربائية لهذه الأخيرة والمتمثلة في الكثافة

الإلكترونية ، حيث نهتم بدراسة التحليل الطيفي الذري والجزيئي للإشعاع المنبعث من البلازما خلال ترسيب طبقات رقيقة بالرش

المهبطي .

III-1-1-1- غرفة الرش :

غرفة الرش مكونة من هدف من النايلون وبلازما الأرجون. وطيف الإنبعاث الضوئي جاء من ترسيب طبقة رقيقة بالرش المهبطي

RF. ويتم في مجال طول موجي يتراوح من 350 nm إلى 850 nm .

بعد أن تم رش الهدف بالرش المهبطي RF في استطاعة ثابتة ( 125W ) وتردد ( 40Hz ) باستعمال غاز الأرجون .

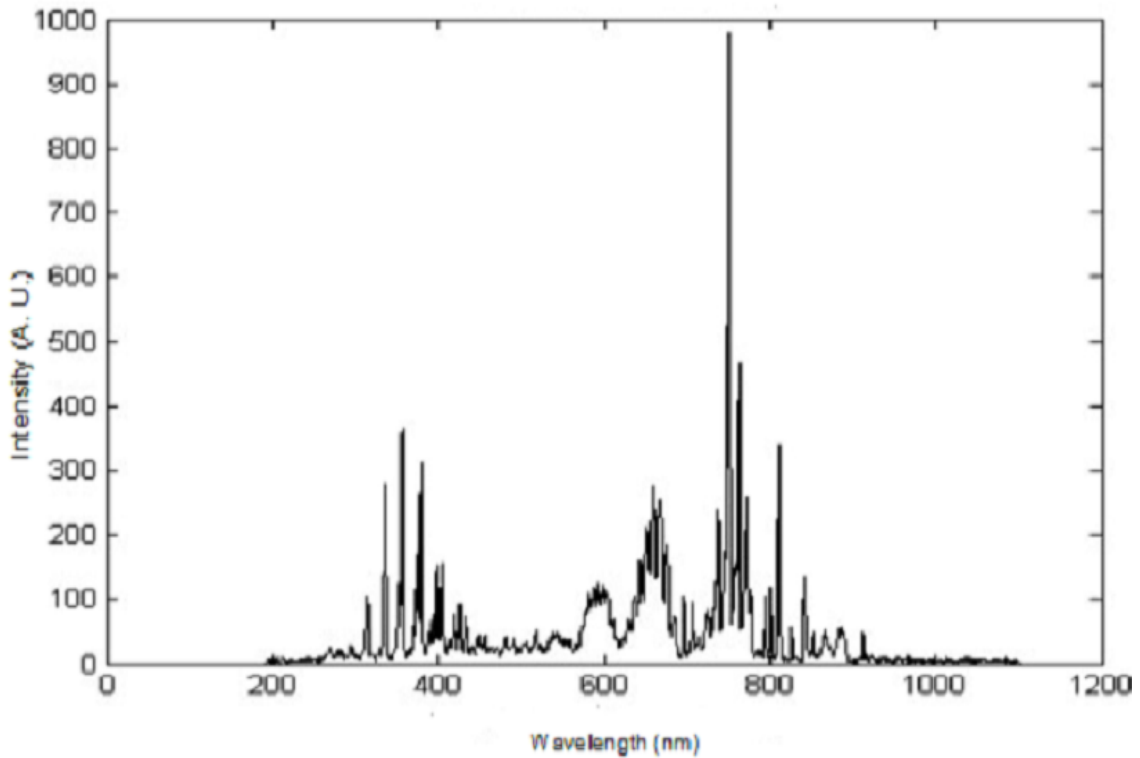
الضغط الكلي محفوظ :  $0,4 \text{ torr} = 53,2 \text{ pa} = 5,32 \cdot 10^{-4} \text{ atm}$  ، ويستخدم هذا الجهاز في مجال الفراغ .

- من أجل تحديد الكثافة الإلكترونية (Ne) لبلازما الأرجون نقوم بتطبيق قانون Saha في شروط التوازن الحراري المحلي (ETL) ولتحقيق هذا الهدف نقدم برنامج عددي. نقوم بوصفه لاحقا .

### III-1-2- الطيف التجريبي :

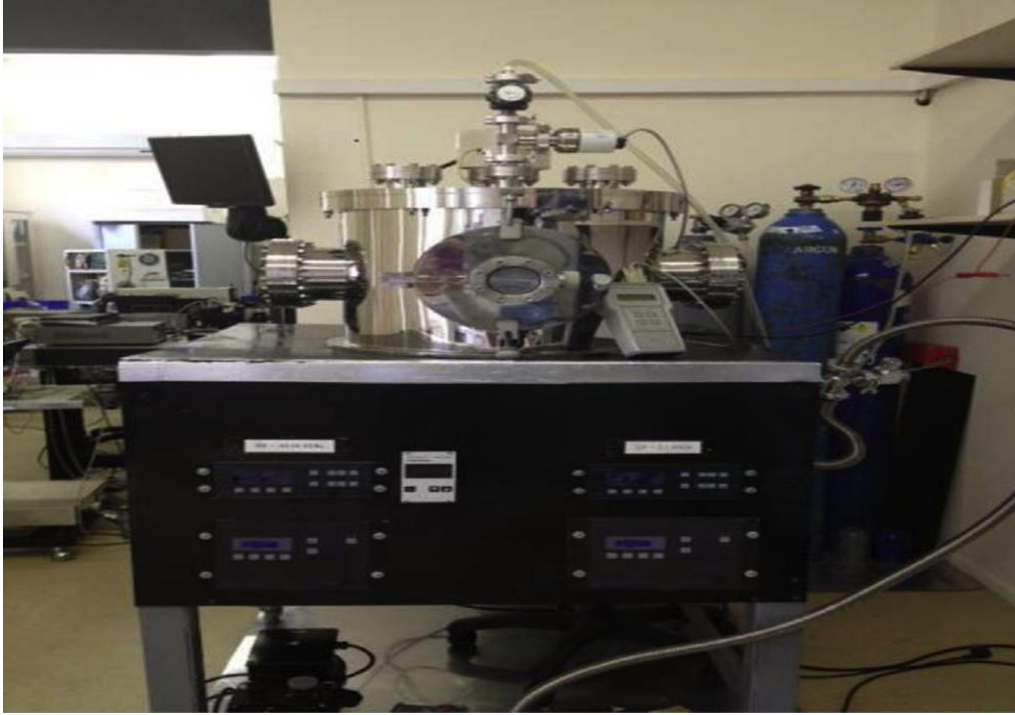
الطيف التجريبي التالي هو طيف الانبعاث الضوئي ، تم الحصول عليه خلال ترسيب طبقة رقيقة في جهاز الرش المهبطي RF من أجل بلازما الأرجون مع هدف من النايلون ، إعدادات التفريغ :  $P=125\text{ w}$  و  $p=0,4\text{ torr}$ . و الطيف التجريبي المسجل ناتج عن عمل قام به كل من S.Cakirb ، A.A.Azooza و D.A.Bleejc [34] .

وهو موضح في الشكل التالي :



الشكل (III-1): الطيف التجريبي لانبعاث بلازما الأرجون (Ar) الناتج عن رش المهبطي RF في المجال الطيفي 350nm-850nm عند ضغط ( 0.4 Torr ) واستطاعة (125 W)[34].

والجهاز التجريبي المستخدم لتسجيل الطيف التجريبي موضح في الشكل التالي :



الشكل (III-2): الجهاز التجريبي [34].

الجهاز التجريبي المستعمل في هذا العمل والموضح في الشكل أعلاه له قطر يتراوح بين 400-500 مم، وفولاذ مرتفع مقاوم للصدأ، وله مفاعل اسطواني، هذا المفاعل يحتوي على حلقتين قطريهما 200 nm ، قطبين كهربائيين من الألمنيوم مصقولين جيدا، القطبين الكهربائيين من التفلون معزول عن الحواف بحيث الجوانب ليست مواجهة، فالتفريغ في نظام يمنع أي مساعدة للتفريغات مع جدار الغرفة.

### III-2- طريقة الحساب:

- من أجل دراسة دقيقة للأطياف التجريبية نقوم بإعادة رسمها نظريا ، إنطلاقا من قاعدة معطيات الفيزياء الذرية وباستخدام برنامج عددي تم إعداده وتنفيذه بلغة الفورترن .

### III-2-1- حساب شكل الخط الطيفي :

اتبعا الخطوات التالية :

1/- استخراج قواعد المعطيات الذرية ، و المعطيات الذرية اللازمة هي: أعداد الكم ، مستويات الطاقة ، الإنتقالات الإشعاعية ،

واحتتمالات الإنتقال ، اخترنا المعطيات من NIST (المكتب الأمريكي للمعايرة الموقع :

<http://physics.nist.gov/asd3>).

2/- اعداد برنامج مكتوب بلغة الفورتران . ويتكون البرنامج من ثلاثة أجزاء ، الأولى هي تحضير قواعد المعطيات الذرية ، الثانية تحويل

هذه المعطيات إلى ملف txt. لتصبح قابلة للقراءة من قبل برنامج الحساب ، الثالثة حساب مختلف أنواع التعريضات ، حساب شكل

الخط لكل انتقال اشعاعي وحساب الشكل النهائي (التعريض التجريبي voigt)، ثم نستعمل برنامج لرسم الأطياف النظرية

(origine06) ، حيث افترضنا أن :

● القوانين التالية محققة :

- قانون الحياد الكهربائي .

- قانون ماكسويل بولتزمان .

- قانون الغاز المثالي .

● التعابير التالية محققة :

- عبارات مختلف التعريضات .

- عبارات شكل لورنتز ، غوص وفويت .

- تعبير الشدة للخط الاشعاعي .

● قانون بولتزمان لحساب نسبة الإسكان لمستويات الطاقة .

● قانون ساها-اغريت للتأين .



### III-2-1-1- قاعدة المعطيات الذرية : العمل التمهيدي الذي ينبغي القيام به هو تحضير قاعدة المعطيات الذرية

بتنسيق قابل للقراءة من قبل برنامج الحساب .

وفي عملنا قمنا بتحضير قاعدة معطيات الفيزياء الذرية لعنصر الأرغون الموجود في المجال المرئي للطفيف .

حيث أدخلنا البيانات اللازمة من أجل تنفيذ البرنامج ، والمتمثلة في : الطول الموجي و درجة الحرارة والتعريض التجريبي ... وفيمايلي

شرح لخطوات العمل :

#### أولا :ضبط البيانات المدخلة :

- تحديد المصدر ( المرسل ) { كتلة ، شحنة كهربائية ... } .

- شروط البلازما ( الضغط ، درجة حرارة الإثارة، التأين ودرجة حرارة الغاز ) .

- الأطوال الموجية الابتدائية والنهائية لنافذة القياس .

- طاقة التأين .

- لكل انتقال : الطول الموجي للإنتقال  $\lambda_{ij}$  ، احتمالية الإنتقال  $A_{ij}$  ، طاقة المستوى الأعلى والأدنى ودرجة توالد كل

مستوى طاقي .

وفيمايلي وصف للبرنامج العددي المعتمد في الحساب :

البرنامج العددي تم اعداده بلغة الفورتران، وهو مفصل لحساب الأطياف النظرية. وقائم على قاعدة المعطيات الذرية لأي عنصر، وفق

التصادمات (فاندر والس) وحسب مختلف أنواع التعريض لشكل الخط ( الطبيعي ، دوبلر ، ستارك ، والتجريبي ) .

برنامجنا يسمح بالعرض النظري لخطوط الأطياف . ويعتمد على المعادلات التالية :

توزيع ماكسويل بولتزمان ، قانون بولتزمان ، قانون ساها ، قانون دالتون ، قانون الحيايد الكهربائي ، قانون انخفاض المادة . البرنامج يأخذ

بعين الاعتبار تعريضات الخطوط : الطبيعي ، دوبلر ، ستارك ، فاندر والس (التصادمات ) ، تعريض ذو دور فعال ( تجريبي )

من شكل غوص ، تعريض ذو دور فعال ( تجريبي ) من شكل لورنتز وشكل فويت . البرنامج يستعمل طرق التحليل الطيفي . التفريغ الكهربائي يمكن أن يتضمن ( يحتوي ) غاز نقي أو غاز به شوائب .

والبيانات المطلوبة تتمثل في : الطول الموجي الأصغر، الطول الموجي الأعظمي، رقم يمثل الطيف، ضغط الغاز، ثابت فاندروالس، التعريض التجريبي : شكل غوص، التعريض التجريبي : شكل لورنتز، التعريض المركب : شكل فويت، الكتلة الذرية، ملفات المدخلات من قاعدة المعطيات الذرية لأي عنصر. والشكل التالي يوضح مخطط البرنامج :



الشكل (III-2): مخطط توضيحي للبرنامج.

ثانيا : حساب التعريضات و أشكال الخطوط :

حساب مختلف أنواع التعريضات يسمح بحساب شكل الإنتقال المعطى .

هذا الشكل (X) g يمكن أن يكون غوص، لورنتز أو فويت .

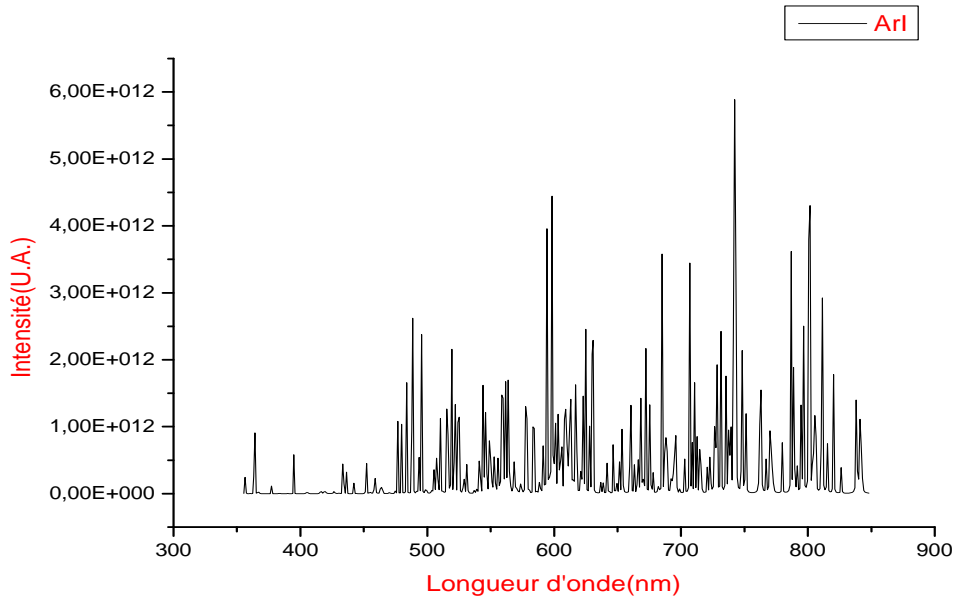
- الطيف النهائي المحصل عليه بواسطة جمع شدات الخطوط لكل الأطوال الموجية في مجال الدراسة :

$$I_{total}(\lambda) = \sum I_{i,j}(\lambda) \dots \dots \dots (1 - 2 - III)$$

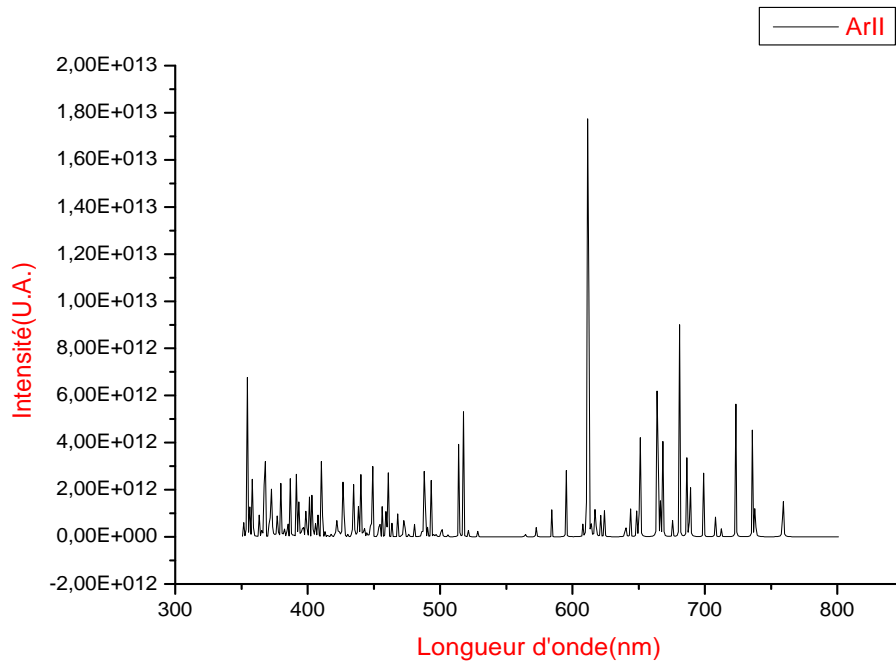
III-2-1-2- رسم الأطياف الذرية النظرية :

نقوم برسم الأطياف الذرية الخاصة بعنصر الأرغون وفق مجال الطول الموجي وبتعريض تجريبي وبالاعتماد على قاعدة المعطيات الدولية للفيزياء الذرية .

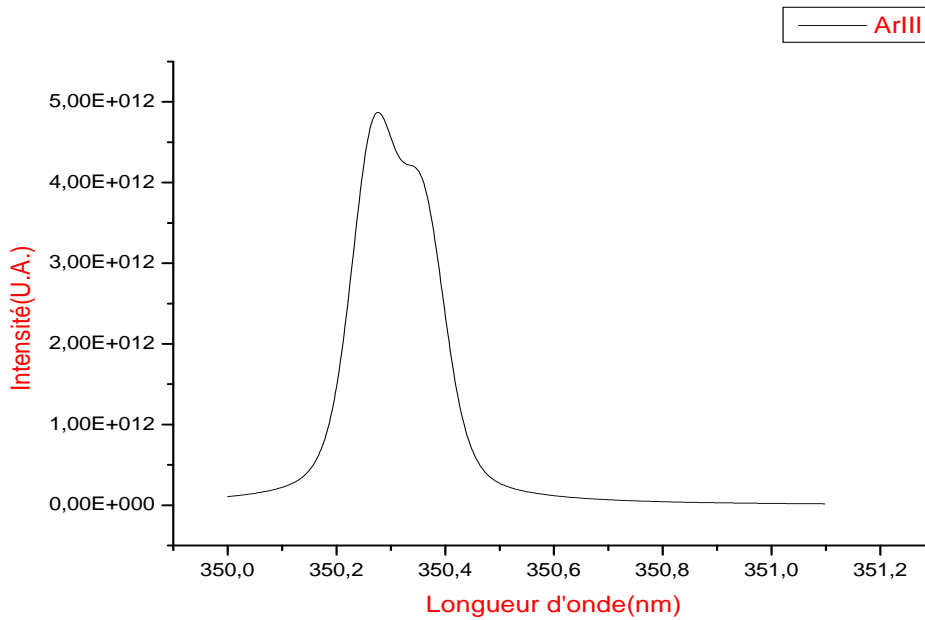
و الأطياف النظرية المحسوبة بالبرنامج العددي موضحة في الأشكال التالية :



الشكل(III-3): الطيف النظري المحسوب لعنصر الArI



الشكل(III-4): الطيف النظري المحسوب لعنصر ArII



الشكل(III-5): الطيف النظري المحسوب لعنصر ال ArIII

### III-2-1-3- طرق التحليل الطيفي :

يوجد صنفان لطرق التحليل الطيفي التي تستعمل لتحديد الكثافة الإلكترونية :

طرق قائمة على دراسة شكل الخطوط ( التعريض والتغير ) .

وطرق قائمة على دراسة الطيف المستمر باستعمال النسبة بين شدات الخطوط الطيفية. استعملنا الطريقة الثانية للتحليل .

أولا : نفترض أن مختلف الجزئيات مستقلة، وأن التوازن الترموديناميكي محلي عند كل نقطة من البلازما ( الوسط معتبر كونه في توازن

حراري محلي ETL ) ، قانون Saha محقق، في هذه الحالة يمكننا تطبيق التحليل الطيفي لاستنتاج الكثافة الإلكترونية .

المقارنة بين الأطياف النظرية المحسوبة والطيف التجريبي تسمح لنا بتحديد الخطوط الطيفية المستعملة في الحسابات .

### III-2-1-3-1- المقارنة بين الأطياف النظرية والطيف التجريبي :

بمقارنة الأطياف النظرية مع الطيف التجريبي نلاحظ أن طيف ال Ar I هو المتطابق مع الطيف التجريبي من حيث الطول الموجي

والشدة. ومنه فسنعتمد على المعطيات الذرية الموافقة له في الحساب وعلى الشدات المأخوذة من الطيف التجريبي.

طيف ال Ar I هو الذي يتوافق مع الطيف التجريبي ويحقق التوازن الحراري المحلي الجزئي.

### III-2-3-1-2- حساب الكثافة الإلكترونية :

لتقدير الكثافة الإلكترونية في الوسط نقوم بتطبيق قانون ساها .

لبلازما الأرجون، قانون ساها يعطى ب :

$$\frac{N_{e} \times N_{Ar^{+}}}{N_{Ar}} = \frac{2 \times B_{Ar^{+}}(T)}{B_{Ar}(T)} \frac{(2\pi m_e K_B T)^{\frac{3}{2}}}{h^3} \exp\left(-\frac{(E_{ion} + \delta E)}{K_B T}\right) \dots\dots\dots (2 - 2 - III)$$

حيث:

Ne: الكثافة الإلكترونية .

$N_{Ar+}$ : كثافة أيونات Ar+ .

$N_{Ar}$ : كثافة المحايد Ar .

$B_{Ar+}(T)$ : دالة توزيع Ar+ .

$B_{Ar}(T)$ : دالة توزيع Ar .

$m_e$ : كتلة الإلكترون .

h: ثابت بلانك .

$E_{ion}$ : طاقة تأين الأرجون وتساوي 15.759 eV .

لتبسيط المعادلة السابقة نحمل الكثافة الأيونية ل  $Ar^{++}$  . ويكون الحساب حسب الخطوات التالية :

- حساب الكثافة الابتدائية لغاز الأرجون  $N_0$ :

- تطبيق قانون الحفظ المادة ، حيث :  $N_0 = N_{Ar} + N_{Ar+}$  ..... (3 - 2 - III)

$N_{Ar} = N_0 - N_{Ar+}$  ..... (4 - 2 - III)

- تطبيق قانون حيادية البلازما، حيث:  $Ne = N_{Ar+}$  ومنه يكون :

$N_{Ar} = N_0 - N_e$  ..... (5 - 2 - III)

ومنه فالصيغة المبسطة لقانون ساها تكون كمايلي :

$$\frac{N_{e^2}}{N_{e-Ne}} = \frac{2 \times B_{Ar^+}(T)}{B_{Ar}(T)} \frac{(2\pi m_e K_B T)^{\frac{3}{2}}}{h^3} \exp\left(-\frac{E_{ion}}{K_B T}\right) \dots \dots \dots (6 - 2 - III)$$

- كل دالة توزيع B(T) من أجل Ar و Ar+ تكون مساوية لدرجات توالد المستوي الأساسي (الوزن الإحصائي) gi.

- من أجل الأرجون المحايد ، في الحالة الأساسية ،  $B_{Ar} = g_{Ar}$ .

- من أجل الأرجون المؤين ، في الحالة الأساسية ،  $B_{Ar^+} = g_{Ar^+}$ .

عبارة الكثافة الابتدائية  $N_0$  تعطى :

$$N_0 = \frac{P}{1,6.Te} \cdot 10^{19} \dots \dots \dots (7 - 2 - III)$$

ويمكن حسابها بافتراض أن الغاز مثالي ، حيث :  $T = 300 \text{ K}$

و  $P = 0,4 \text{ Torr}$  ولدينا  $1 \text{ Torr} = 133 \text{ pa}$  ومنه :  $0,4 \text{ Torr} = 133 \cdot 0,4 \text{ pa} = 53,2 \text{ pa}$

$$1 \text{ pa} = 10^{-5} \text{ atm} \implies 53,2 \text{ pa} = 53,2 \cdot 10^{-5} \text{ atm} = 5,32 \cdot 10^{-4} \text{ atm}$$

بالتعويض العددي في عبارة  $N_0$  نجد:  $N_0 = 1,108 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

عبارة الكثافة الإلكترونية Ne :

$$Ne = \frac{p \cdot e^{\alpha(Te)}}{1,6 \cdot Te (1 + e^{\alpha(Te)})} \dots \dots \dots 10^{19} (8 - 2 - III)$$

نضع :  $T = 300 \text{ K}$

الجدول (1-III) : جدول يمثل المعطيات الفيزيائية الذرية للطياف المحصل عليه مع الشدات التجريبية لعنصر ArI [35].

N° pic	λ(nm)	I(u,a)	Ak <sub>i</sub> (S <sup>-1</sup> )	E <sub>i</sub> (ev)	E <sub>j</sub> (ev)	g <sub>i</sub>	g <sub>j</sub>
1	748,433	6,8	3,4e+05	13,15314376	14,809271	3	5
2	761,8344	3,2	2,9e+05	13,32785693	14,95485191	3	5

$$\alpha(Te) = \frac{\Delta E}{Te} + \beta \dots\dots\dots (9 - 2 - III) \text{ لدينا}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 \dots\dots\dots (10 - 2 - III)$$

$$= 0,14558091 \text{ev}$$

$$\beta = 1,79 - Ln \left( \frac{\lambda_1 A_2 g_2}{\lambda_2 A_1 g_1} R \right) \dots\dots\dots (11 - 2 - III)$$

$$R = \frac{I_1}{I_2} \dots\dots\dots (12 - 2 - III) \text{ لدينا}$$

$$R = 2,125$$

بالتطبيق العددي نتحصل على المعامل β : β = 1,213040415

$$\text{بالتعويض العددي في العبارة } \alpha(Te) = \frac{\Delta E}{Te} + \beta \text{ نجد :}$$

$$\alpha(Te) = 1.213525685$$

$$Ne = \frac{p.e^{\alpha(Te)}}{1,6.Te(1+e^{\alpha(Te)})} \cdot 10^{19} \text{ لدينا :}$$

بالتعويض نتحصل على الكثافة الإلكترونية للوسط : Ne = 8.5443.10<sup>12</sup>cm<sup>-3</sup>



نلاحظ أن :  $N_0 < N_{Ne}$  . وهذا شيء منطقي وهو يدل على عدم وجود تأين كلي للأرغون بالوسط ومنه فالوسط عالي التأين . وهو في حالة توازن حراري محلي جزئي ETLP . نظرا لوجود تطابق للطيف النظري المختار مع الطيف التجريبي .

انطلاقا من  $N_{Ne}$  و  $N_0$  نحسب كثافة غاز الأرغون  $N_{Ar}$  وذلك حسب العلاقة :

$$N_{Ar} = N_0 - N_e$$

$$N_{Ar} = 2,5357.10^{12} \text{ cm}^{-3} \quad \text{بالتعويض نجد:}$$

نلاحظ أن الكثافة الإلكترونية تفوق كثافة الجسيمات المحايدة .

$$\frac{N_{Ne}}{N_{Ar}} = 3.369 \gg 1 \quad \text{نسبة التأين :}$$

### III-2-1-3- مناقشة النتائج :

إن طريقة الدراسة المتبعة في هذا العمل مكنتنا من تشخيص الوسط المدروس و الذي هو عبارة عن بلازما الأرغون عالية التأين ذات كثافة الكترونية في حدود  $N_{Ne} = 8.54.10^{12} \text{ cm}^{-3}$  . وهي قريبة من الكثافة الالكترونية المتوقعة من طرف باحثين آخرين . وهذا ما يؤكد صحة النموذج رغم أنه يتضمن تقريبات خصوصا فيما يتعلق بحساب دوال التوزيع .

انطلاقا من الكثافة الإلكترونية والكثافة الابتدائية قمنا بحساب كثافة الجسيمات المحايدة (  $N_{Ar} = 2,5357.10^{12} \text{ cm}^{-3}$  ) ، من النتائج المتحصل عليها توصلنا إلى أن الإلكترونات هي النوع الغالب، وانطلاقا من الكثافة الإلكترونية وكافة الجسيمات المحايدة استنتجنا نسبة تأين الوسط حيث وجدناها أكبر من الواحد، ومنه فالوسط عالي التأين . وهو في حالة توازن حراري محلي جزئي ETLP .

# الخلاصة العامة

### الخلاصة العامة

في إطار تحديد خصائص بلازما التفريغ الكهربائي (بلازما الأرجون)، والمتمثلة في الكثافة الإلكترونية، قمنا بدراسة عددية على أطياف تجريبية صادرة من البلازما أثناء عملية إنتاج شرائح رقيقة من السيليسيوم.

مهدنا لموضوعنا بتقديم معارف عامة عن البلازما، بما بعض مفاهيم فيزياء البلازما، وبعض مقاديرها المهمة وخصائصها. وتناولنا كذلك مفهوم الطيف وأنواعه وتعريفات الخطوط الطيفية وأسبابها.

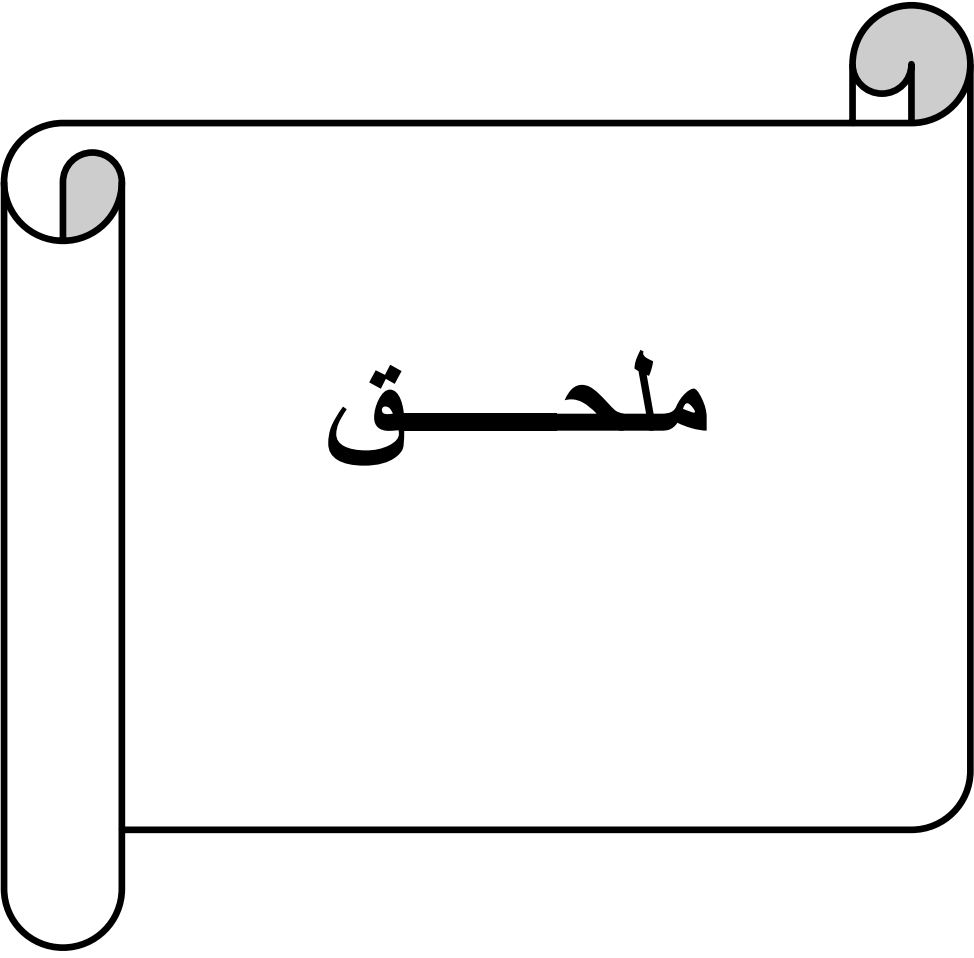
ثم تطرقنا في الفصل الثاني إلى طرق توضع الطبقات الرقيقة، حيث تكلمنا عن طريقة الرش المهبطي بتوسع، ثم تطرقنا إلى بعض تطبيقات الأرجون.

وختمنا المذكورة بفصل ثالث تناولنا فيه الطريقة الأنسب لحساب الكثافة الإلكترونية لغاز الأرجون، وقدمنا وصفا للنموذج الرياضي المعتمد في هذا العمل لحساب الأطياف النظرية.

قمنا بمقارنة الأطياف النظرية المحسوبة بالطيف التجريبي فكان الطيف النظري لل Ar I هو المتطابق تقريبا مع الطيف التجريبي، فاعتمدنا على المعطيات الذرية الموافقة له في الحساب.

$$\text{Ne} = 8.5443 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3} \text{ حدود}$$

وذلك بتطبيق أحد قوانين التوازن الترموديناميكي والممثل في قانون ساها، حيث أنه بعد المقارنة ما بين الطيف التجريبي والطيف النظري المحسوب في حالة التوازن توصلنا إلى اكتشاف وجود توازن حراري محلي جزئي، كما سنسعى مستقبلا إلى إدراج قوانين توازن أخرى من خلال التدقيق في النتائج.



## ملحق

جدول يشمل المعطيات الذرية لعنصر الـ [35] ArI.

Ritz Wavelength Air (nm)	$A_{ki}$ ( $s^{-1}$ )	$f_{ik}$	$E_i$ (eV)	$E_k$ (eV)	Lower Level Term, J	Upper Level Term, J	$g_i$	$g_k$
355.4305	2.7e+05	5.1e-04	11.54835433	15.0356401	$2[3/2]^{\circ}$ 2	$2[3/2]$ 2	5	5
356.3286	1.2e+05	6.9e-04	11.72316029	15.2016574	$2[1/2]^{\circ}$ 0	$2[3/2]$ 1	1	3
356.7656	1.1e+05	2.9e-04	11.54835433	15.0225908	$2[3/2]^{\circ}$ 2	$2[5/2]$ 3	5	7
357.2295	5.1e+05	3.3e-04	11.82807106	15.2977957	$2[1/2]^{\circ}$ 1	$2[1/2]$ 0	3	1
360.6522	7.6e+05	4.9e-04	11.62359262	15.0603900	$2[3/2]^{\circ}$ 1	$2[1/2]$ 0	3	1
363.2683	6.6e+04	2.2e-04	11.62359262	15.0356401	$2[3/2]^{\circ}$ 1	$2[3/2]$ 2	3	5
363.4460	1.3e+05	2.6e-04	11.62359262	15.0339718	$2[3/2]^{\circ}$ 1	$2[3/2]$ 1	3	3
364.3116	2.4e+04	8.0e-05	11.62359262	15.0258687	$2[3/2]^{\circ}$ 1	$2[5/2]$ 2	3	5
364.9832	8.0e+05	5.3e-04	11.82807106	15.2240874	$2[1/2]^{\circ}$ 1	$2[1/2]$ 0	3	1
365.9529	4.4e+04	8.8e-05	11.62359262	15.0106101	$2[3/2]^{\circ}$ 1	$2[1/2]$ 1	3	3
367.0670	3.1e+04	1.0e-04	11.82807106	15.2048087	$2[1/2]^{\circ}$ 1	$2[3/2]$ 2	3	5
367.5235	4.9e+04	9.9e-05	11.82807106	15.2006145	$2[1/2]^{\circ}$ 1	$2[1/2]$ 1	3	3
377.0369	7.0e+04	4.5e-04	11.72316029	15.0106101	$2[1/2]^{\circ}$ 0	$2[1/2]$ 1	1	3
383.4678	7.5e+05	5.5e-04	11.82807106	15.0603900	$2[1/2]^{\circ}$ 1	$2[1/2]$ 0	3	1
389.4660	5.7e+04	1.3e-04	11.82807106	15.0106101	$2[1/2]^{\circ}$ 1	$2[1/2]$ 1	3	3
394.7505	5.6e+04	1.3e-04	11.54835433	14.68829018	$2[3/2]^{\circ}$ 2	$2[3/2]$ 2	5	5
394.8979	4.55e+0	6.39	11.54835433	14.6871181	$2[3/2]^{\circ}$ 2	$2[1/2]$ 1	5	3

	5	e-04	3	2									
404.4418	3.33e+05	1.36e-03	11.62359262	14.68829018	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
404.5965	4.1e+04	1.0e-04	11.62359262	14.68711812	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3		
405.4526	2.7e+04	6.7e-05	11.62359262	14.68065021	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3		
415.8591	1.40e+06	3.63e-03	11.54835433	14.52891337	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5		
416.4180	2.88e+05	4.49e-04	11.54835433	14.52491318	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3		
418.1884	5.61e+05	4.41e-03	11.72316029	14.68711812	$2^{[1/2]^\circ}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3		
419.0713	2.80e+05	7.38e-04	11.54835433	14.50606752	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5		
419.1029	5.39e+05	4.26e-03	11.72316029	14.68065021	$2^{[1/2]^\circ}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3		
419.8317	2.57e+06	2.26e-03	11.62359262	14.57594866	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1		
420.0675	9.67e+05	3.58e-03	11.54835433	14.49905352	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7		
425.1185	1.11e+05	1.81e-04	11.54835433	14.46399565	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3		
425.9362	3.98e+06	3.61e-03	11.82807106	14.73811524	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1		
426.6287	3.12e+05	1.42e-03	11.62359262	14.52891337	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
427.2169	7.97e+05	2.18e-03	11.62359262	14.52491318	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3		
430.0101	3.77e+05	1.74e-03	11.62359262	14.50606752	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5		
433.3561	5.68e+05	2.67e-03	11.82807106	14.68829018	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
433.5338	3.87e+05	1.09e-03	11.82807106	14.68711812	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3		
434.5168	2.97e+05	8.41e-04	11.82807106	14.68065021	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3		
436.3795	1.2e+04	3.4e-05	11.62359262	14.46399565	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3		
442.3994	7.3e+03	6.4e-	11.72316029	14.52491318	$2^{[1/2]^\circ}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3		

		05	9	8									
451.0733	1.18e+0 6	1.20 e-03	11.8280710 6	14.5759486 6	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1		
452.2323	8.98e+0 4	8.26 e-04	11.7231602 9	14.4639956 5	$2^{[1/2]^\circ}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3		
454.4746	8.3e+04	2.6e- 04	12.9070151 9	15.634328	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3		
455.4324	3.8e+04	2.0e- 04	12.9070151 9	15.628592	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
458.4956	1.6e+05	8.4e- 04	12.9070151 9	15.610410	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
458.6611	2.3e+05	7.3e- 04	12.9070151 9	15.609434	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3		
458.7209	4.9e+05	5.2e- 04	12.9070151 9	15.609082	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1		
458.9289	6.2e+03	3.3e- 05	11.8280710 6	14.5289133 7	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
459.6097	9.47e+0 4	3.00 e-04	11.8280710 6	14.5249131 8	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3		
462.8441	3.83e+0 4	2.05 e-04	11.8280710 6	14.5060675 2	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5		
464.2137	9.6e+04	5.2e- 04	12.9070151 9	15.577110	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
464.7489	1.2e+05	3.9e- 04	12.9070151 9	15.574036	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3		
470.2316	1.09e+0 5	3.62 e-04	11.8280710 6	14.4639956 5	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3		
474.6821	3.6e+05	4.1e- 04	12.9070151 9	15.518227	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1		
475.2939	4.5e+05	1.5e- 03	12.9070151 9	15.5148656	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3		
476.8673	8.6e+05	4.9e- 03	12.9070151 9	15.5062612	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
479.8742	8.8e+04	3.9e- 04	13.0757156 0	15.658675	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	-	9		
483.5970	9.3e+04	4.2e- 04	13.0757156 0	15.638791	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	-	9		
483.6697	1.02e+0 5	5.97 e-04	12.9070151 9	15.469705	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		
487.6261	7.8e+05	4.6e-	12.9070151	15.4489133	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5		

		03	9				°				
488.6290	1.2e+05	5.5e-04	13.07571560	15.612396	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	-	9
488.7947	1.3e+06	4.7e-03	12.90701519	15.4428361	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
489.4691	1.8e+06	2.2e-03	12.90701519	15.4393423	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
492.1034	5.9e+04	3.0e-04	13.09487245	15.613644	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
493.7720	3.6e+04	9.4e-05	13.07571560	15.585975	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	-	5
495.6750	1.8e+05	8.5e-04	13.07571560	15.576338	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	-	9
498.9943	1.1e+05	5.8e-04	13.09487245	15.578861	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
503.2024	8.2e+04	2.2e-04	13.07571560	15.538932	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	-	5
504.8811	4.6e+05	2.9e-03	12.90701519	15.3620413	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
505.4176	4.5e+05	1.7e-03	12.90701519	15.3594355	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
505.6529	5.7e+05	7.3e-04	12.90701519	15.3582945	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
506.0079	3.7e+05	1.8e-03	13.07571560	15.5252749	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	-	9
507.0977	2.6e+05	6.0e-04	13.09487245	15.539168	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
507.3076	5.9e+04	3.8e-04	12.90701519	15.3502991	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
507.8033	4.7e+04	1.8e-04	13.07571560	15.5166145	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	3	7	-	7
508.7084	1.6e+05	8.7e-04	13.09487245	15.531428	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
510.4729	8.7e+04	5.7e-04	13.15314376	15.581278	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
511.8202	2.7e+05	1.5e-03	13.09487245	15.5166145	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7
512.7801	3.3e+04	1.3e-04	13.09487245	15.5120815	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5
515.1391	2.39e+0	3.17	12.9070151	15.3131552	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1



	6	e-03	9			°				
515.2303	1.1e+05	7.3e-04	12.90701519	15.31272900	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	5
516.2285	1.90e+06	7.60e-03	12.90701519	15.30807757	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	3
517.7536	2.4e+05	6.9e-04	13.07571560	15.469705	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	5
518.7746	1.38e+06	9.29e-03	12.90701519	15.29629312	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	5
519.2733	1.2e+04	4.9e-05	13.07571560	15.4626992	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	3	7	7
519.4052	7.8e+05	1.1e-03	13.15314376	15.539521	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	1
521.0486	1.1e+05	4.5e-04	13.07571560	15.4545664	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	3	7	7
521.4774	2.1e+05	5.1e-04	13.09487245	15.471767	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	3
521.6300	1.3e+05	3.2e-04	13.09487245	15.471072	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	3
522.1270	8.8e+05	4.6e-03	13.07571560	15.4496530	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	9
524.1093	1.3e+05	5.4e-04	13.09487245	15.4598315	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	5
524.6198	1.2e+05	6.9e-04	13.17177759	15.534435	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	7
524.9165	7.9e+04	3.3e-04	13.17177759	15.533100	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	5
525.2787	5.4e+05	3.1e-03	13.09487245	15.4545664	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	7
525.4471	3.6e+05	2.5e-03	13.15314376	15.5120815	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	5
528.6069	9.6e+04	5.6e-04	13.17177759	15.5166145	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	7
529.0015	9.0e+04	2.3e-04	13.17177759	15.5148656	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	3
530.9513	1.2e+05	5.1e-04	13.17177759	15.5062612	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	5
531.7715	2.6e+05	1.5e-03	13.30222736	15.633110	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	7
537.3494	2.7e+05	1.9e-	13.1531437	15.4598315	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	5

		03	6			°				
539.3979	9.6e+04	4.2e-04	13.1717775 9	15.469705	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	- 5
541.0475	2.0e+05	1.2e-03	13.1717775 9	15.4626992	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	- 7
542.1351	6.0e+05	1.9e-03	13.0757156 0	15.3620413	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	- 5
543.9989	1.9e+05	8.4e-04	12.9070151 9	15.1855078 7	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	- 3
544.2246	9.3e+04	4.1e-04	13.0757156 0	15.3532631	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	3	7	- 7
545.1652	4.7e+05	3.5e-03	12.9070151 9	15.1806334 6	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	- 5
545.7416	3.6e+05	9.6e-04	13.0948724 5	15.3660894	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	- 3
545.9651	3.8e+04	1.7e-04	13.0757156 0	15.3460028 6	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	3	7	- 7
546.7160	7.6e+04	3.4e-04	13.0948724 5	15.3620413	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	- 5
547.3451	2.0e+05	5.4e-04	13.0948724 5	15.3594355	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	- 3
549.0120	8.5e+04	3.8e-04	13.0948724 5	15.3525602	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	- 5
549.2080	5.6e+05	8.4e-04	13.2826389 1	15.539521	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	- 1
549.5873	1.69e+0 6	9.84 e-03	13.0757156 0	15.3310399	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	- 9
550.6112	3.6e+05	2.3e-03	13.0948724 5	15.3460028 6	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	- 7
552.4957	1.7e+05	7.8e-04	13.0757156 0	15.3191678 9	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	3	7	- 7
552.8961	1.2e+05	1.7e-03	13.2730379 9	15.5148656	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	- 3
553.4479	2.7e+05	7.4e-04	13.3022273 6	15.541820	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	- 3
554.0860	4.1e+04	1.3e-04	13.0757156 0	15.3127290 0	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	2	7	- 5
555.2741	7.9e+04	3.7e-04	13.2826389 1	15.5148656	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	- 3
555.8702	1.42e+0	1.10	12.9070151	15.1368483	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	- 5

	6	e-02	9	4			°					
555.9676	2.2e+05	1.7e-03	13.28263891	15.5120815	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5	
557.2541	6.6e+05	4.3e-03	13.09487245	15.31916789	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7	
557.4228	4.6e+04	3.6e-04	13.28263891	15.5062612	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5	
558.1871	5.6e+04	1.9e-04	13.07571560	15.29629312	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	-	5	
558.8720	1.5e+05	7.0e-04	13.09487245	15.31272900	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5	
559.7476	4.2e+05	2.8e-03	13.30222736	15.5166145	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7	
560.6733	2.20e+06	1.04e-02	12.90701519	15.11774626	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3	
561.8014	2.1e+05	9.9e-04	13.15314376	15.3594355	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3	
562.0921	3.6e+05	5.7e-04	13.15314376	15.3582945	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1	
562.3770	1.4e+05	6.6e-04	13.30222736	15.5062612	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5	
563.5576	9.6e+04	7.6e-04	13.15314376	15.3525602	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5	
563.734	9.1e+04	1.3e-03	13.27303799	15.471767	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3	
563.912	2.1e+05	3.0e-03	13.27303799	15.471072	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3	
564.1376	8.7e+04	6.9e-04	13.15314376	15.3502991	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5	
564.8687	1.2e+05	3.4e-04	13.17177759	15.3660894	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3	
565.0704	3.20e+06	5.11e-03	12.90701519	15.10054359	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1	
565.9127	2.6e+05	1.2e-03	13.17177759	15.3620413	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5	
568.1899	2.0e+05	1.4e-03	13.17177759	15.3532631	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7	
568.3730	2.0e+05	9.7e-04	13.17177759	15.3525602	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5	
570.0872	5.9e+05	4.0e-	13.1717775	15.3460028	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7	

		03	9	6			°					
571.2504	8.7e+04	1.3e-03	13.2730379 9	15.4428361	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3	
573.9519	8.7e+05	7.2e-03	13.1531437 6	15.3127290 0	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5	
577.2114	2.0e+05	1.4e-03	13.1717775 9	15.3191678 9	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7	
577.4008	1.1e+05	5.5e-04	13.3022273 6	15.4489133	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5	
578.3536	8.1e+04	6.8e-04	13.1531437 6	15.2962931 2	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5	
578.9474	4.6e+04	2.3e-04	13.1717775 9	15.3127290 0	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5	
579.0401	3.4e+04	1.0e-04	13.3022273 6	15.4428361	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3	
580.2080	4.2e+05	1.3e-03	13.1717775 9	15.3080775 7	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3	
583.4264	5.2e+05	2.7e-03	13.1717775 9	15.2962931 2	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5	
584.3779	3.3e+04	2.8e-04	13.3278569 3	15.4489133	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5	
586.0310	2.85e+0 5	1.47 e-03	12.9070151 9	15.0220882 1	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3	
588.2624	1.23e+0 6	2.13 e-03	12.9070151 9	15.0140654	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1	
588.8584	1.29e+0 6	4.79 e-03	13.0757156 0	15.1806334 6	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	-	5	
591.2085	1.05e+0 6	5.51 e-03	12.9070151 9	15.0035657 5	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3	
591.6598	5.9e+04	1.9e-04	13.0948724 5	15.1898238	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3	
592.7125	3.7e+04	1.9e-04	13.0757156 0	15.1669462	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	3	7	-	7	
592.8812	1.1e+06	3.5e-03	13.0948724 5	15.1855078 7	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3	
594.0855	1.2e+05	1.9e-03	13.2730379 9	15.3594355	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3	
594.2668	1.8e+05	9.5e-04	13.0948724 5	15.1806334 6	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5	
594.3888	3.6e+04	1.4e-04	13.0757156 0	15.1610485	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	2	7	-	5	

594.9259	1.5e+05	8.0e-04	13.2826389 1	15.3660894	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
596.448	7.7e+04	1.2e-03	13.2730379 9	15.351173	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3
596.8320	1.8e+05	9.6e-04	13.2826389 1	15.3594355	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
597.1601	1.1e+06	2.0e-03	13.2826389 1	15.3582945	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
598.1923	1.2e+04	9.0e-05	13.0948724 5	15.1669462	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7
598.7301	1.2e+05	6.5e-04	13.0757156 0	15.1459281 8	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	3	7	-	7
598.8144	6.1e+04	5.5e-04	13.2826389 1	15.3525602	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
599.4692	2.6e+04	2.3e-04	13.2826389 1	15.3502991	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
599.8998	1.4e+05	7.6e-04	13.0948724 5	15.1610485	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5
600.5725	1.4e+05	4.5e-04	13.3022273 6	15.3660894	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
601.3677	1.4e+05	5.4e-04	13.0757156 0	15.1368483 4	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	-	5
602.5150	9.0e+05	2.9e-03	13.3022273 6	15.3594355	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
603.2127	2.46e+0 6	1.73 e-02	13.0757156 0	15.1305442 4	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	-	9
604.3223	1.47e+0 6	1.13 e-02	13.0948724 5	15.1459281 8	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
605.2723	1.9e+05	1.7e-03	12.9070151 9	14.9548519 1	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
605.9372	4.2e+05	3.9e-03	12.9070151 9	14.9526046 1	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
606.4750	5.8e+04	4.5e-04	13.3022273 6	15.3460028 6	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
608.1244	7.5e+04	4.2e-04	13.3278569 3	15.3660894	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
608.5879	9.0e+03	5.0e-05	13.1531437 6	15.1898238	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
609.0785	3.0e+05	5.0e-03	13.2730379 9	15.3080775 7	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3

609.8803	5.2e+05	2.9e-03	13.1531437 6	15.1855078 7	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
610.1161	3.3e+05	1.8e-03	13.3278569 3	15.3594355	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
610.4590	3.4e+05	6.3e-04	13.3278569 3	15.3582945	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
610.5635	1.21e+0 6	1.13 e-02	13.2826389 1	15.3127290 0	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
611.3466	4.7e+04	4.4e-04	13.1531437 6	15.1806334 6	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
611.9656	5.1e+04	2.9e-04	13.2826389 1	15.3080775 7	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
612.1879	1.3e+04	1.2e-04	13.3278569 3	15.3525602	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
612.7416	1.1e+05	3.7e-04	13.0948724 5	15.1177462 6	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
612.8724	8.6e+04	8.1e-04	13.3278569 3	15.3502991	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
614.5441	7.6e+05	6.0e-03	13.3022273 6	15.3191678 9	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7
615.5238	5.1e+05	1.7e-03	13.1717775 9	15.1855078 7	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
616.5123	9.89e+0 4	5.64 e-04	13.3022273 6	15.3127290 0	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5
617.0174	5.0e+05	2.9e-03	13.1717775 9	15.1806334 6	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
617.3096	6.7e+05	6.4e-03	13.1531437 6	15.1610485	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
617.9419	6.6e+04	2.3e-04	13.3022273 6	15.3080775 7	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
621.2503	3.9e+05	3.2e-03	13.1717775 9	15.1669462	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7
621.5939	5.7e+05	3.3e-03	13.3022273 6	15.2962931 2	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
623.0921	1.2e+04	7.0e-05	13.1717775 9	15.1610485	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5
624.3390	1.3e+05	2.5e-04	13.3278569 3	15.3131552	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
624.4730	2.0e+04	1.9e-04	13.3278569 3	15.3127290 0	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5

624.8406	6.8e+04	6.6e-04	13.1531437 6	15.1368483 4	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
627.8645	2.0e+04	1.7e-04	13.1717775 9	15.1459281 8	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
629.6873	9.0e+05	8.9e-03	13.3278569 3	15.2962931 2	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
630.7657	6.0e+05	3.6e-03	13.1717775 9	15.1368483 4	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
630.9160	7.6e+04	4.5e-04	13.1531437 6	15.1177462 6	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
636.4894	5.6e+05	1.1e-03	13.1531437 6	15.1005435 9	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
636.9575	4.2e+05	1.5e-03	13.1717775 9	15.1177462 6	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
638.4717	4.21e+0 5	2.57 e-03	12.9070151 9	14.8483688 7	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
641.6307	1.16e+0 6	1.19 e-02	12.9070151 9	14.8388108 8	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
643.1555	5.1e+04	1.9e-04	13.0948724 5	15.0220882 1	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
646.6552	1.5e+05	2.8e-03	13.2730379 9	15.1898238	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3
648.1145	9.4e+04	1.8e-03	13.2730379 9	15.1855078 7	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3
649.3969	3.1e+04	1.2e-04	13.0948724 5	15.0035657 5	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
651.3846	5.4e+04	3.4e-04	13.2826389 1	15.1855078 7	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
653.8112	1.1e+05	7.1e-04	13.0757156 0	14.9715222 3	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	3	7	-	7
659.6113	2.3e+04	1.1e-04	13.0757156 0	14.9548519 1	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[5/2]}$	2	7	-	5
659.8678	3.6e+04	2.4e-04	13.3022273 6	15.1806334 6	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
660.4011	2.8e+05	1.3e-03	13.0757156 0	14.9526046 1	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	-	5
660.4853	1.3e+04	1.2e-04	13.0948724 5	14.9715222 3	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7
663.2084	5.3e+04	3.5e-04	13.1531437 6	15.0220882 1	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3

665.6938	3.1e+04	2.1e-04	13.3278569 3	15.1898238	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
666.0677	7.8e+05	1.7e-03	13.1531437 6	15.0140654	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
666.4051	1.5e+05	1.0e-03	13.0948724 5	14.9548519 1	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5
667.7281	2.36e+0 5	5.26 e-04	11.6235926 2	13.4798867 0	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
668.4788	3.9e+04	4.4e-04	13.2826389 1	15.1368483 4	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
669.8471	2.5e+04	1.7e-04	13.1531437 6	15.0035657 5	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
669.8874	1.6e+05	6.5e-04	13.1717775 9	15.0220882 1	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
671.9219	2.4e+05	4.9e-03	13.2730379 9	15.1177462 6	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3
672.2890	3.2e+04	3.0e-04	13.3022273 6	15.1459281 8	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
675.2834	1.93e+0 6	2.20 e-02	12.9070151 9	14.7425407 3	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
675.4372	2.1e+05	1.4e-03	13.2826389 1	15.1177462 6	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
675.6163	3.6e+05	2.5e-03	13.3022273 6	15.1368483 4	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
676.6611	4.0e+05	1.6e-03	13.1717775 9	15.0035657 5	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
677.9926	1.21e+0 5	2.50 e-03	13.4798867 0	15.3080775 7	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3
681.8289	2.0e+05	4.6e-04	13.2826389 1	15.1005435 9	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
682.7249	2.4e+05	1.0e-03	13.3022273 6	15.1177462 6	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
685.1884	6.7e+04	7.9e-04	13.3278569 3	15.1368483 4	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
687.1289	2.78e+0 6	1.97 e-02	12.9070151 9	14.7108979 8	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
687.9583	1.8e+05	2.1e-03	13.1531437 6	14.9548519 1	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
688.7088	1.3e+05	1.3e-03	13.1717775 9	14.9715222 3	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7



688.8174	2.5e+05	3.0e-03	13.15314376	14.95260461	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
692.5009	1.2e+05	8.6e-04	13.32785693	15.11774626	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
693.7664	3.08e+06	7.41e-03	12.90701519	14.6936396	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
695.1477	2.2e+05	1.6e-03	13.17177759	14.95485191	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5
696.0250	2.4e+05	1.7e-03	13.17177759	14.95260461	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
696.5430	6.39e+06	2.79e-02	11.54835433	13.32785693	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
699.2212	7.5e+05	1.8e-03	13.32785693	15.10054359	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
703.0251	2.67e+06	1.41e-02	13.07571560	14.83881088	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	-	5
706.7217	3.80e+06	2.85e-02	11.54835433	13.30222736	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
706.8735	2.0e+06	9.0e-03	13.09487245	14.84836887	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
708.6705	1.5e+05	3.4e-03	13.27303799	15.02208821	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3
710.7477	4.5e+05	3.4e-03	13.09487245	14.83881088	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
712.5820	6.0e+05	4.6e-03	13.28263891	15.02208821	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
714.7041	6.25e+05	2.87e-03	11.54835433	13.28263891	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
715.8839	2.1e+06	5.4e-03	13.28263891	15.0140654	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
716.2557	5.8e+04	1.3e-03	13.27303799	15.00356575	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3
720.6980	2.48e+06	1.16e-02	13.30222736	15.02208821	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
722.994	6.6e+04	5.2e-04	13.09487245	14.809271	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5
726.517	1.7e+05	1.3e-03	13.15314376	14.859230	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
727.067	1.1e+05	8.7e-04	13.07571560	14.780512	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	3	7	-	7

727.2935	1.83e+0 6	1.45 e-02	11.6235926 2	13.3278569 3	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
728.5443	1.2e+05	5.7e- 04	13.3022273 6	15.0035657 5	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
731.1716	1.7e+06	1.4e- 02	13.1531437 6	14.8483688 7	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
731.6005	9.6e+05	7.7e- 03	13.3278569 3	15.0220882 1	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3	-	3
735.0814	1.2e+06	3.2e- 03	13.3278569 3	15.0140654	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
735.3175	2.1e+05	2.8e- 03	13.1531437 6	14.8388108 8	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
735.330	9.6e+05	1.1e- 02	13.0948724 5	14.780512	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
737.2117	1.9e+06	2.0e- 02	13.0757156 0	14.7570515	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[7/2]}$	4	7	-	9
738.3980	8.47e+0 6	1.15 e-01	11.6235926 2	13.3022273 6	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
739.2980	7.2e+05	3.5e- 03	13.1717775 9	14.8483688 7	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
741.2337	3.9e+05	5.4e- 03	13.2826389 1	14.9548519 1	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
742.2312	6.6e+04	9.1e- 04	13.2826389 1	14.9526046 1	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
742.5294	3.1e+05	3.6e- 03	13.3022273 6	14.9715222 3	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5	-	7
743.5368	9.0e+05	7.5e- 03	13.1717775 9	14.8388108 8	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
743.6297	2.7e+05	1.6e- 03	13.0757156 0	14.7425407 3	$2^{[5/2]}$	3	$2^{[3/2]}$	2	7	-	5
747.1164	2.2e+04	1.8e- 04	11.6235926 2	13.2826389 1	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
748.433	3.4e+05	4.8e- 03	13.1531437 6	14.809271	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
750.3868	4.45e+0 7	1.25 e-01	11.8280710 6	13.4798867 0	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
751.0408	4.5e+05	3.8e- 03	13.3022273 6	14.9526046 1	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
751.4651	4.02e+0 7	1.14 e-01	11.6235926 2	13.2730379 9	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1

761.8344	2.9e+05	4.2e-03	13.3278569 3	14.9548519 1	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3	-	5
762.8882	2.9e+05	4.2e-03	13.3278569 3	14.9526046 1	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
763.5105	2.45e+07	2.14e-01	11.5483543 3	13.1717775 9	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
767.0057	2.8e+05	1.5e-03	13.0948724 5	14.7108979 8	$2^{[5/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
770.482	6.3e+04	7.9e-04	13.1717775 9	14.780512	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[7/2]}$	3	5	-	7
772.3760	5.18e+06	2.78e-02	11.5483543 3	13.1531437 6	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
772.4207	1.17e+07	3.14e-01	11.7231602 9	13.3278569 3	$2^{[1/2]^\circ}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3
779.8561	8.7e+04	1.3e-03	13.1531437 6	14.7425407 3	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
786.8194	3.50e+05	9.75e-03	13.2730379 9	14.8483688 7	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3
789.1075	9.5e+05	8.9e-03	13.1717775 9	14.7425407 3	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5
791.6442	1.2e+05	1.1e-03	13.2826389 1	14.8483688 7	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3	-	3
794.8176	1.86e+07	5.29e-01	11.7231602 9	13.2826389 1	$2^{[1/2]^\circ}$	0	$2^{[3/2]}$	1	1	-	3
796.5065	3.4e+04	5.4e-04	13.2826389 1	14.8388108 8	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
800.6156	4.90e+06	7.85e-02	11.6235926 2	13.1717775 9	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3	-	5
801.4785	9.28e+06	8.94e-02	11.5483543 3	13.0948724 5	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[5/2]}$	2	5	-	5
801.6738	4.2e+03	2.4e-05	13.3022273 6	14.8483688 7	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	1	5	-	3
803.7219	3.59e+05	1.04e-02	13.4798867 0	15.0220882 1	$2^{[1/2]}$	0	$2^{[1/2]}$	1	1	-	3
804.6118	1.12e+06	3.63e-03	13.1531437 6	14.6936396	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[1/2]}$	0	3	-	1
805.3308	8.6e+05	5.0e-03	13.1717775 9	14.7108979 8	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[1/2]}$	1	5	-	3
806.6604	1.4e+05	1.4e-03	13.3022273 6	14.8388108 8	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[3/2]}$	2	5	-	5

810.3692	2.5e+07	2.5e-01	11.6235926 2	13.1531437 6	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	1	3 - 3
811.5311	3.31e+07	4.58e-01	11.5483543 3	13.0757156 0	$2^{[3/2]^\circ}$	2	$2^{[5/2]}$	3	5 - 7
815.1868	3.3e+04	3.3e-04	13.3278569 3	14.8483688 7	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]^\circ}$	1	3 - 3
820.3435	1.6e+05	2.7e-03	13.3278569 3	14.8388108 8	$2^{[1/2]}$	1	$2^{[3/2]^\circ}$	2	3 - 5
826.4521	1.53e+07	1.57e-01	11.8280710 6	13.3278569 3	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[1/2]}$	1	3 - 3
838.473	2.4e+05	3.5e-03	13.3022273 6	14.780512	$2^{[3/2]}$	2	$2^{[7/2]^\circ}$	3	5 - 7
840.8209	2.23e+07	3.94e-01	11.8280710 6	13.3022273 6	$2^{[1/2]^\circ}$	1	$2^{[3/2]}$	2	3 - 5
842.4647	2.15e+07	3.81e-01	11.6235926 2	13.0948724 5	$2^{[3/2]^\circ}$	1	$2^{[5/2]}$	2	3 - 5
849.0307	9.6e+04	1.7e-03	13.2826389 1	14.7425407 3	$2^{[3/2]}$	1	$2^{[3/2]^\circ}$	2	3 - 5

# قائمة المراجع

- [1] A.Moustaghfir;"Elaboration et caractérisation de couches minces d'oxyde de zinc.Application à la photoprotection du polycarbonate" ; thèse de doctorat,université de Blaise pascal (2004).
- [2] A.Marie, J.perrin. et J.jolly , "plasmas froids de décharge " , Technique de l'ingénieur,D2830.
- [3] ز .بله، "الدراسة التشخيصية بالحاكاة العددية لمسبار كهربائي ساكن في رش مهبطي "ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2007).
- [4] عبيد سعيدة، دراسة في ثلاث أبعاد للمقادير الكهربائية في جهاز الرش المهبطي المغنطوني باستعمال طريقة الحجوم المنتهية، مذكرة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2012.
- [5] وليد مصطفى صهيوني، مقدمة في فيزياء البلازما، يونيو 2006، سلطنة عمان.
- [6] إسماعيل شبحي، حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي ومشتقاتها داخل البلازما باستخدام المحاكاة العددية مونتي كارلو تطبيق على طيف الهيليوم، رسالة دكتوراه دولة، جامعة منتوري، قسنطينة 2005.
- [7] قريشة سليمة، استخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال توزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الأيوني الموضوعي في البلازما، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة،2013.
- [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] J . M . Rax ; « physique des plasmas cours et application » ; Dunod ; paris (2005).
- [11] R.O.DENDY, "plasmas Dynamics"oxford Academic,pres(1990).
- [12] H. R. Griem; « Plasma Spectroscopy », Mc Graw Hill, New York, 1964.
- [13] B. Held ; « Physique des plasmas froids », Masson, Paris, 1994.
- [14] M.Azzaoui; « Etude de spectroscopie atomique et moléculaire dans un pulvérisation cathodique magnétron »,mémoire de magister 2013.
- [15] M. Moisan et J Pelletier ; « Physique des plasmas collisionnels » ; EDP sciences, France, 2006.
- [16] A.Deneuille,J.C.Brüyère,A.Mimi,H.Hamdi et H.Kahil; «cellules solaires : quelques aspects des structures«schottky » à base de silicium amorphe hydrogène»,Revue de physique Appliquée,vol.15,n°2,pp.233-240,1980.
- [17] الأطياف في الفلك د.فواز سيوف.أستاذ المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته-جامعة دمشق.
- [18] أ.د. برناردهيلد (فيزياء البلازما الباردة) دار علاء الدين للنشر والطباعة والتوزيع .
- [19] الموقع الالكتروني :
- <http://www.byto.com/vb/showthread.php>
- [20] F.khelfaoui: «cour de Master physique du rayonnement»;2012-2013.

- [21] W. Demtroder, *Atoms Molecules and photons*, springer-verlag, 2006, Berlin Heidelberg.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] L- Ben Mabrouk, " Etude spectres d'émission d'ions de Déposition sur couches Minces" Mémoire de Magister Université de Ouargla 2003.
- [25] V. Edon ; ‘Dépôt d’oxydes de grille par pulvérisation cathodique magnétron corrélation entre les propriétés du plasma et celles des films déposés’ ; Thèse de doctorat, Université Paris-Sud (2007).
- [26] D. Benzeggouta; ‘*Etude de procédés de dépôts de films minces par décharge magnétron fortement ionisée*’; Thèse de Doctorat; Université Paris-Sud (2008).
- [27] Y. Jiang ; "Pulvérisation cathodique assistée par ordinateur" ; thèse de doctorat ; université pris xi orsay (1992).
- [28] P. M. Bellan, ‘*Fundamentals of Plasma Physics*’, Pasadena; California (2004).



[29] F. O. Hassani ; *“couches minces d’oxydes spinelles et nano composites spinelles-CuO Apropriétés semi-conductrice destinées A la réalisation de capteurs de gaz “*; Thèse dedoctorat, Université de Toulouse (2009).

[30] Y. Benzahi ; *“simulation numérique par la dynamique moléculaire de l’interaction deplasma-surface lors de déposition sur couches minces”*; Mémoire de magister Université de Ouargla (2003).

[31] J.J. Bessot ; *“dépôt par pulvérisation cathodique”*; Technique de l’ingénieur ; M1657.

[32] F.Aitken,N.Bonifaci,A.Denat and F.Volino "A New Equation of State Formulation for Argon Covering the fluid Region for Températures From the Melting Line to 2300 K at pressures up to 50000 Mpa,Univ. Grenoble Alpes, G2Elab, F-38000 Grenoble, FranceCNRS, G2Elab, F-38000 Grenoble, France.

[33] D.Mariotti,Y.Shimizo,T.Sasaki, and N.Koshizaki "Methode to determine argon metastable number density and plasma electron temperature from spectral emission originating from 4p argon levels.

[34] A.A.Azooza ,S.Cakir ,D.A.Bleej ; plasma parameters in 40 MHz Argon discharge , Results in physics 5 (2015) 85 – 91.

[35] الموقع الإلكتروني :

-Nist Atomic spectre Data base ;[http //physics.nist .gov](http://physics.nist.gov)

**ملخص:** من أجل تحديد خصائص وسط البلازما يجب دراسة وتحليل الطيف المنبعث منها . في هذه المذكرة نهتم بالدراسة الطيفية لبعض الذرات ، الأيونات في البلازما خلال اعداد الشرائح الرقيقة . نقوم بنمذجة الإشعاع المنبعث من البلازما في جهاز الرش المهبطي المغذى بمصدر جهد متناوب ذي تردد مذبذبي تواتره 40 هرتز و ذلك باستخدام غاز الأرجون . والهدف المنشود من هذه الدراسة هو ايجاد الكثافة الإلكترونية للوسط . وتمت الاستعانة في هذه الدراسة ببرنامج عددي لمحاكاة الأطياف من أجل حساب الأطياف النظرية ومقارنتها مع الطيف التجريبي لنتمكن من التطبيق الدقيق للطرق الطيفية للتحليل . حيث نتعرض لمختلف التقنيات المستعملة لاعداد الطبقات الرقيقة مثل جهاز الرش المهبطي RF . نتعرض كذلك لتعريف البلازما وخصائصها . كما يتم التعرض لمختلف الآليات المسؤولة عن تعريض الخطوط الطيفية .

النتائج المتحصل عليها أثبتت أن البلازما في توازن حراري محلي جزئي ، يسمح لنا الحساب بتقدير الكثافة الإلكترونية

$$.(Ne = 8.5443.10^{12} \text{ cm}^{-3})$$

**الكلمات المفتاحية:** البلازما ، الأطياف ، الرش المهبطي ، غاز الأرجون ، الكثافة الإلكترونية .

**RESUME:** Pour déterminer les caractéristiques du plasma centre Doit étudier et analyser le spectre émis par eux . Dans ce mémoire sont intéressés par un étude spectrale de certains atomes, ions dans le plasma pendant la préparation des couches minces. Nous avons modélisé le rayonnement émis par la cathode pour plasma dispositif de pulvérisation alimentée par radio fréquence RF tension source fréquence 40 Hz à l'aide d'argon. Le but de cette étude consiste à créer une densité électronique centre et a été utilisé dans cette étude pour simuler le programme numérique spectrale pour calculer le spectre théorique et comparé avec le spectre expérimental afin qu'une application stricte des méthodes spectrales pour analyse. Ou nous sommes exposés à diverses techniques utilisées pour préparer les couches mince comme la cathode dispositif de pulvérisation. Exposé bien à la définition et les caractéristiques du plasma et l'exposition à divers mécanismes responsables de l'exposant les raies spectrales.

Les résultats obtenus ont démontré que le plasma dans l'équilibre thermique local, nous permet d'évaluer le calcul de la densité électronique ( $Ne = 8.5443.10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ) ..

**Mots-clés:** Plasma, spectres, pulvérisation de la cathode, gaz d'argon, la densité électronique.

**Abstract:** To determine the characteristics of plasma center must study and analyze the spectrum emitted from them. In this note we care spectral study of some atoms, ions in the plasma during the preparation of thin slices., We modelled the radiation emitted from the cathode for plasma spraying device fueled by radio frequency RF voltage source frequency 40 Hz using argon gaz. The aim of this study is to create electronic density of the medium. And was used in this study to simulate spectral numerical program to calculate theoretical spectra and compared with the experimental spectrum to the strict application of spectral analysis methods. When we are exposed to various techniques used to prepare thin like the cathode RF spraying device. exposed well to the definition and characteristics of plasma. As exposure to various mechanisms responsible for exposing the spectral lines.

The results obtained have demonstrated that local thermal equilibrium plasma.the account allows us to estimate the electronic density ( $Ne = 8.5443.10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ).

**key words:** Plasma, phantoms, spraying the cathode, argon gas, electronic density.