

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة -

كلية الرياضيات وعلوم المادة

مجال : علوم المادة

رقم الترتيب :

الرقم التسلسلي :



مذكرة

ماستر أكاديمي

قسم الفيزياء

اختصاص: فيزياء الإشعاعات كاشف و بصريات إلكترونية

من إعداد الطالبة: بوشيبة أسماء

بعنوان

دراسة مدى اختلال توازن بلازما التفريغ الكهربائي للهيدروجين
خلال اجهزة الرش المهبطي

نوقشت يوم: الثلاثاء 24 ماي 2016م

أمام لجنة المناقشة المكونة من الاساتذة:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذة محاضرة ب	نعام أمال
مناقشا	جامعة ورقلة	استاذ مساعد أ	جعفر محجوبي برزخ
مشرفا	جامعة ورقلة	استاذ محاضر ب	بن مبروك لزهـر

السنة الجامعية: 2016/2015

الإهداء

إلى والديا الكريمين أسأل الله أن يوفقني برهما

إلى إخوتي و أخواتي كل باسمه

إلى كل من ساندني طول مشواري الدراسي

إلى كل الأهل و الأقارب

كل من علمني حرفاً

إلى كل الصديقات

أسماء

شكر و عرفان

الحمد لله الذي هدانا وما كنا لنهتدي لو أن هدانا الله.
الشكر أولاً وأخيراً إلى الله عز وجل الذي كان خير
عون لي في هذا البحث فوفقت بفضلته إلى تقديمه
على هذه الصورة.

كما أتقدم بخالص الشكر والامتنان إلى

الأستاذ " بن مبروك لزهر "

لقبوله أن يكون مؤطراً لي

و الذي ساهم بالتوجيه في هذا العمل.

وأشكر أيضاً جميع أعضاء اللجنة المناقشة على

قبولهم ترأس ومناقشة هذه المذكرة وأتمنى أن

يفيدوني بآرائهم القيمة والبناءة.

وأخيراً أشكر كل من مد يد العون لي كما واشكر

كل الزملاء والزميلات.

فهرس المحتويات

	فهرس المحتويات
	فهرس الأشكال
	فهرس الجداول
1	مقدمة عامة
	الفصل I: عموميات حول البلازما و الرش المهبطي
2	..... مقدمة
2	..... 1-I عموميات حول البلازما
2	..... 1-1-I لمحة تاريخية
2	..... 2-1-I تصنيف البلازما
3	..... 1-2-1-I البلازما الحارة
3	..... 2-2-1-I البلازما الحرارية
3	..... 3-2-1-I البلازما الباردة
3	..... 3-1-I بعض خصائص البلازما
3	..... 1-3-1-I التوصيل الكهربائي
3	..... 2-3-1-I التعادل الكهربائي
4	..... 3-3-1-I تردد البلازما
4	..... 1-3-3-1-I التردد الإلكتروني للبلازما
4	..... 2-3-3-1-I التردد الأيوني للبلازما
5	..... 4-1-I درجة التأين
5	..... 5-1-I أهم المقادير في البلازما
5	..... 1-5-1-I طول دوباي " Debye "
6	..... 2-5-1-I طول لاندو " Landau "

3	..... 3-5-1-I نصف قطر الكرة الالكترونية
6	..... 4-5-1-I نصف قطر الكرة الأيونية
7	..... 5-5-1-I معامل التزاوج
7	..... 6-5-1-I درجة الحرارة
8	..... 7-5-1-I الكثافة
8	..... 6-1-I قوانين التوازن الثرموديناميكي
8	..... 1-6-1-I قانون بلانك : الجسم الأسود
8	..... 2-6-1-I قانون توزيع السرعات ماكسويل _بولتزمان
9	..... 3-6-1-I توزيع بولتزمان
9	..... 4-6-1-I قانون صاها "Saha"
10	..... 5-6-1-I قانون دالتون
10	..... 7-1-I حالات التوازن الحراري في البلازما
10	. 1-6-1-I التوازن الحراري الكلي (ETT) Équilibre Thermodynamique Total
10	. 2-7-1-I التوازن الحراري المحلي (ETL) Equilibre Thermodynamique Local
10	Equilibre thermodynamique local partiel التوازن الحراري المحلي الجزئي
11	4-7-1-I حالة عدم التوازن (Hors ETL)
11	..... 2-I الرش المهبطي
11	..... 1-2-I الطرق العامة لتوضع الطبقات الرقيقة
11	..... 1-1-2-I التوضع الكيميائي للطور البخاري
11	..... 2-1-2-I التوضع الفيزيائي للطور البخاري
11	..... 2-2-I التوضع بطريقة الرش المهبطي
13	..... 3-2-I أنواع الرش المهبطي

13	..... 1-3-2-I الرش المهبطي المستمر
13	..... 2-3-2-I الرش المهبطي المتناوب
14	..... 2-3-2-I الرش المهبطي للصمام الثلاثي
14	..... 3-3-2-I الرش المهبطي المغنطوني

الفصل II : الأطياف الذرية

15	..... مقدمة
15	..... 1-II تعريف الأطياف
15	..... 2-II أنواع الأطياف
15	..... 1-2-II طيف الإنبعاث
15	..... 1-1-2-II الطيف المتصل (المستمر)
16	..... 2-1-2-II الطيف الخطي المميز
16	..... 2-2-II طيف الإمتصاص
16	..... 3-II الطرق المستعملة لتحليل الأطياف
16	..... 1-3-II شدة الخطوط الطيفية
16	..... 1-1-3-II شدة الخطوط الطيفية الذرية
16	..... 2-1-3-II شدة الخطوط الطيفية الجزئية
17	..... 2-3-II تحديد درجة حرارة الإلكترون
18	..... 1-2-3-II نسبة الشدة بين الخطين
18	..... 2-2-3-II طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان
19	..... 4-II أسباب تعريضات الخطوط الطيفية المنبعثة و أشكال الخطوط
19	..... 1-4-II العرض الطبيعي
19	..... 2-4-II تعريض دوبلر

20	..... 3-4-II التعريض الناتج عن الإصطدام بالجسيمات الحيادية
20	..... 4-4-II التعريض الناتج عن اصطدام الجسيمات المشحونة
21	..... 5-4-II تعريض الأجهزة

الفصل III: دراسة إختلال توازن الهيدروجين

22	..... مقدمة
22	..... 1-III الطيف التحريبي
24	..... 2-III رسم الأطياف الذرية النظرية
28	..... 3-III تحديد العناصر المشعة
29	..... 4-III دراسة إختلال توازن الهيدروجين
29	..... 1-3-III حساب النسبة R
31	..... خاتمة
32	..... خلاصة عامة
	..... قائمة المراجع
	..... ملخص

فهرس الأشكال

الفصل I : عموميات حول البلازما و الرش المهبطي

- 12 الشكل (1-I) رسم تخطيطي لمبدأ الرش المهبطي
- 13 الشكل (2-I) رسم تخطيطي للرش المهبطي المستمر DC

الفصل II : الأطياف الذرية

- 16 الشكل (1-II) أنواع الطيف (المستمر ، الخطي و طيف الإمتصاص)

الفصل III : دراسة إختلال توازن الهيدروجين

- 22 الشكل (1-III) منحى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف التجريبي للهيدروجين
- 24 الشكل (2-III) مخطط توضيحي للبرنامج
- 25 الشكل (3-III) منحى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للهيدروجين
- 25 الشكل (4-III) منحى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للسيليسيوم Si I
- 26 الشكل (5-III) منحى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للسيليسيوم Si II
- 26 الشكل (6-III) منحى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للسيليسيوم Si III
- 28 الشكل (7-III) منحى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للكربون C I
- 28 الشكل (8-III) منحى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للكربون C II

فهرس الجداول

الفصل III: دراسة إختلال توازن الهيدروجين

28	..... الجدول (1-III) الأنواع الموجودة في الطيف التجريبي
29	..... الجدول (2-III) المعطيات الذرية الخاصة ببعض الإنتقالات التي وجدت للهيدروجين
29	..... الجدول (3-III) مقارنة بين النسبة النظرية و التجريبية
30	..... الجدول (4-III) نسبة الإختلال ما بين النسبة النظرية و النسبة التجريبية

{مقدمة عامة}

مقدمة عامة

مقدمة عامة

تعتبر البلازما الحالة الرابعة للمادة و تشكل 99 % من الكون و قد ظهرت خلال القرن العشرين حيث تعتبر من العلوم الحديثة [1] . تتم دراسة البلازما من خلال الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر عنها إذ يحلل هذا الطيف كيميا و كينيا لتشخيص البلازما كمعرفة درجة حرارتها و الكثافة الإلكترونية ... [2].

لذا نهتم في هذه المذكرة بمحاكات الأطياف الهيدروجين الناتجة عن غرف الرش المهبطي أثناء توضع الطبقات الرقيقة للسليسيوم من أجل دراسة الاختلال في الطيف التجريبي و تصنف طرق توضع الطبقات الرقيقة حسب تقنيتين التوضع الكيميائي للطور البخاري PCD و التوضع الفيزيائي للطور البخاري PVD . و من طرق التوضع الفيزيائي للطور البخاري نجد طريقة الرش المهبطي [3] و هي الطريقة المعتمدة في عملنا هذا .

فمنا بتقسيم العمل إلى ثلاثة فصول

الفصل الأول : نتطرق فيه لدراسة عامة عن البلازما حيث نتعرف على تاريخها و أهم المقادير فيها و بعض خصائصها و سنستعرض أهم قوانين التوازن الترموديناميكي و كذلك حالات التوازن في البلازما . ثم سنتكلم عن تقنية الرش المهبطي مبدأ عمله و مختلف أنواعه .

الفصل الثاني : سنتطرق من خلاله للأطياف باعتبارها أساس دراستنا حيث سنبين مختلف أنواعها و سنتكلم عن الطرق المستعملة لتحليل الأطياف و أهم أسباب تعريضات الخطوط الطيفية .

الفصل الثالث : سنقوم بعرض البرنامج العددي المتبع في هذه الدراسة و عرض النتائج المتحصل عليها و مناقشتها .

الفصل الأول
عموميات حول البلازما
و الرش المهبطي

مقدمة

مطيافية البلازما هي دراسة الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الوسط المؤين . إذ يحلل الطيف الوارد منها كميًا و كيفية لمعرفة العناصر التي تتشكل منها البلازما و تحديد كثافتها و درجة حرارتها . تشترك كل أنواع البلازما أنها تخضع و تفسر بنفس الآليات و تديرها نفس القوانين [3].

سنتطرق في هذا الفصل إلى معرفة تاريخ و بعض خصائص البلازما و دراسة أسباب تعريضات خطوط الطيف المنبعث منها و القوانين التي تخضع لها . ثم سنتكلم عن تقنية الرش المهبطي ومبدأ عمله ومختلف أنواعه .

I-1 البلازما

I-1-1 لمحة تاريخية :

إن أول من أطلق مصطلح الحالة الرابعة للمادة هو الإنجليزي " William Grookes " عام 1879 لوصف القسم المتأين من الإنفراغات الغازية. وقد علل مصطلحه هذا على الشكل التالي [3]تتحول المادة الصلبة بالتسخين إلى الحالة السائلة وباستمرار التسخين تتحول إلى غاز وعند رفع درجة حرارة الغاز إلى حد معين يصل إلى 10^5k يحصل تأين الذرات المكونة للغاز و تصبح المادة مؤينة كليًا و هذه هي الحالة الرابعة [4].

أما مصطلح البلازما فهو يوناني في الأصل و يعني شيء مكون في نظام معين استخدم أول مرة من قبل "Langmuir" سنة 1923 للدلالة على غاز مضيء يحوي إلكترونات و عدة أنواع من الأيونات الموجبة و بعض الذرات المتعادلة . وفي عام 1928 وضع العالمان "Tonks" و "Langmuir" وصفا للبلازما بأنها مائع شبه معتدل كهربائياً ومكون من جزيئات مشحونة وأخرى معتدلة وهي تسلك سلوكًا جماعياً.

تحتوي البلازما على جزيئات مشحونة وعند حركة الجزيئات تنشأ تجمعات موضعية لشحنات موجبة أو سالبة والتي تؤدي بدورها إلى نشوء مجالات كهربائية تؤثر بدورها على باقي الجزيئات. وبالتالي فإن جزيئات البلازما تتبادل التأثير فيما بينها حتى ولو كانت المسافة بينهما كبيرة. وقوى التأثير هذه تسمى بقوى كولوم المؤثرة عن بعد ، وهذه القوة هي السبب في الحركة الجماعية للبلازما والتي يمكن أن تحدد عبارة السلوك الجماعي بأن الحركة التي لا تتعلق فقط بالشروط الموضعية وإنما بحالة البلازما في المناطق البعيدة . [3]

I-1-2 تصنيف البلازما

I-1-2-1 البلازما الحارة

درجة حرارة هذا النوع من البلازما تكون من رتبة بعض آلاف الدرجات معدل تأين هذه البلازما يقارب 100 % نجد هذا النوع من البلازما في مجال الإنصهار الحراري-النووي .

I-1-2-2 البلازما الحرارية

تتميز هذه البلازما بدرجة حرارة مساوية لكل الأنواع (إلكترونات ، أيونات ، جزيئات) من بضعة آلاف الدرجات من خلال كثافة طاقة عالية و معدل تأين أقل من 100 % . تطبيقاتها تتمثل في أقواس اللحام الكهربائية ، توضع المواد و معالجة السطوح.

I-1-2-3 البلازما الباردة

في هذا النوع من البلازما درجة حرارة الأيونات قريبة من درجة حرارة الغرفة و تكون أقل بكثير من درجة حرارة الإلكترونات ($10^4 - 10^5 K$) بالإضافة إلى ذلك كثافة الطاقة و معدل التأين تكون أقل منها في حالة البلازما الحرارية هذه البلازما تستخدم في الصناعة من أجل معالجة السطح ، إزالة السطح و الإضاءة [5].

I-1-3 بعض خصائص البلازما

I-1-3-1 التوصيل الكهربائي

بما أن البلازما غاز عالي التأين يضم عددا هائلا من الجسيمات المشحونة المتحركة بحرية داخلها فإنها تعد موصلا جيدا للكهرباء . تتبادل هذه الجسيمات المشحونة التأثير مع الحقل الكهرومغناطيسي الموضعي كما أن الحركة المنظمة لها تحدث تيارات كهربائية و تغيرات لكثافة الشحنة تؤدي إلى نشوء حقول كهرومغناطيسية [6].

I-1-3-2 التعادل الكهربائي

إحدى الصفات المهمة في البلازما هي نزعها لتبقى متعادلة كهربائيا ، أي ميلها إلى توازن الشحنة الفراغية السالبة مع الشحنة الفراغية الموجبة في كل جزء من الحجم العيني ، وأن أي اختلاف بسيط في كثافة الشحنة الفراغية يسبب نشوء قوى

كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التعادل ، من جهة أخرى إذا تعرضت البلازما إلى حقل كهربائي خارجي فإن كثافة الشحنات الفراغية ستنظم نفسها بحيث يحجب الجزء الأعظم من البلازما من تأثيرات هذا الحقل [7] .

I-3-3-1 تردد البلازما

عند حدوث اضطراب داخلي أو خارجي في البلازما فإنه يؤدي إلى إزاحة جسيماتها (إلكترونات، أيونات) عن وضع التوازن ذلك بسبب تراكم الشحنات الكهربائية لكنها سرعان ما تعود لحالتها الطبيعيّة هذه الإزاحة تؤدي إلى حركة الجسيمات حركة إهتزازية غير متخامدة تتميز بنبض الحركة الإلكترونية ω_{pe} و بنبض الحركة الأيونية ω_{pi} حيث يعطى بالعلاقة التالية [8]:

I-3-3-1-1 التردد الإلكتروني للبلازما

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

حيث

n_e تمثل الكثافة الإلكترونية .

m_e تمثل كتلة الإلكترون .

I-3-3-1-2 التردد الأيوني للبلازما

$$\omega_{pi} = \sqrt{\frac{4\pi (Ze)^2 n_i}{m_i}} \quad (2 - I)$$

حيث

n_i تمثل الكثافة الأيونية .

m_i تمثل كتلة الأيون .

I-4-1-1 درجة التأين

تمثل درجة التأين إحدى المعايير لتصنيف البلازما وتعرف بأنها النسبة بين كثافة الجسيمات المشحونة (إلكترونات، أيونات)

و الكثافة الكلية للبلازما و تعطى بالعلاقة التالية [3]:

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

إذا كان $\alpha < 1$ فإن ذلك يدل على أن البلازما ضعيفة التأين مثل البلازما الصناعية و الأيونوسفير .

إذا كان $\alpha \approx 1$ فإن ذلك يدل على أن البلازما قوية التأين مثل بلازما النووي الحراري [9] .

حيث:

$n_{e,i}$ تمثل كثافة الجسيمات المشحونة (إلكترونات ، أيونات) .

n_N تمثل كثافة الجسيمات المحايدة .

5-1-I أهم المقادير في البلازما

1-5-1-I طول دوباي " Debye "

قبل التطرق إلى طول ديبياي يجب الإشارة إلى ظاهرة الحجب و المقصود به حجب شحنة من البلازما بواسطة سحابة من الشحنات المعاكسة و من هذه الظاهرة استنتج بعد ديبياي الذي يعتبر احد أهم خصائص البلازما [10]. و يمكن فهم هذه المسافة بتصور شحنة موجبة تحيط بها إلكترونات تخضع لقوتين متعاكستين: قوة التجاذب الكولوني التي تؤثر بها الشحنة الموجبة، وقوة أخرى سببها التهيج الحراري و يضمن التوازن بين هاتين القوتين عدم الاتحاد بين الشحنات الموجبة و السالبة في البلازما [5] حيث يشير بعد دوباي إلى المسافة التي يتم عندها الحجب الكولوني لأي شحنة كهربائية في البلازما [11]. و يعطى بالعلاقة

التالية :

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 K_B T_e}{n_e^2} \right)^{1/2} \quad (4 - I)$$

حيث

ϵ_0 تمثل السماحية في الفراغ .

T_e تمثل درجة حرارة الإلكترون .

K_B تمثل ثابت بولتزمان .

n_e تمثل الكثافة الإلكترونية .

2-5-1-I " Landau " طول لاندو

هو الطول المميز الذي تتساوى عنده الطاقة الحركية و الطاقة الكامنة في إصطدام إلكترون _ أيون.

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{\min}} = \frac{3}{2} K_B T \quad (5 - I)$$

هذا التوزيع من نوع ماكسويل :

$$r_{\min} = \frac{e^2}{6 \pi \epsilon_0 K_B T} \quad (6 - I)$$

و هو اصغر مسافة مميزة في البلازما [12].

3-5-1-I نصف قطر الكرة الالكترونية

يمثل البعد المتوسط بين إلكترونين ويعطى بالشكل التالي :

$$r_e = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi n_e}} \quad (7 - I)$$

n_e تمثل الكثافة الإلكترونية .

4-5-1-I نصف قطر الكرة الأيونية

يمثل البعد المتوسط بين أيونين [6] ، تعطى العبارة بالشكل التالي :

$$r_i = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi n_i}} \quad (8 - I)$$

n_i تمثل الكثافة الأيونية .

I-1-5-5-1-5 معامل التزاوج

هو مقياس مدى ترابط جسيمات البلازما هذا الأخير يمثل النسبة بين الطاقة الكامنة المتوسطة والطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات [13] و يعطى بالعلاقة التالية :

-بالنسبة للإلكترونات

$$\Gamma_{ee} = \frac{e^2}{K_B T r_e} \quad (9 - I)$$

بالنسبة للأيونات

$$\Gamma_{ii} = \frac{Ze^2}{K_B T r_i} \quad (10 - I)$$

-بالنسبة للأيونات و الإلكترونات

$$\Gamma_{ei} = \frac{Ze^2}{K_B T r_{ei}} \quad (11 - I)$$

حيث

$$r_{ei} = \frac{r_e + r_i}{2} \quad (12 - I)$$

- إذا كان $\Gamma \geq 1$ فإن ذلك يدل على أن التزاوج شديد .

- إذا كان $\Gamma \leq 1$ فإن ذلك يدل على أن التزاوج بين الجسيمات ضعيف أي أن للطاقة الحركية الدور الأكبر في وصف

سلوك الجسيمات [14] حيث تتحرك الجسيمات بحرية كبيرة و بتصادمات قليلة ما يعني أن التأثير البيئي بينهما ضعيف [15] و يقال عن البلازما أنها مثالية [16] .

I-1-5-1-6 درجة الحرارة

يمكن لبلازما معينة أن تملك عدة درجات حرارة في نفس الوقت وغالبا ما تملك الالكترونات والايونات توزيعين مختلفين

لدرجتي حرارة مختلفين T_e و T_i ، وهذا ممكن لأن تواتر الصدمات بين الايونات فيما بينها أو بين الالكترونات فيما بينها يمكن أن

يكون أكبر من تواتر الصدمات بين الالكترونات و الايونات عندئذ كل نوع من الجزيئات يمكن أن يكون في حالة توازن حراري

مستقل عن النوع الآخر أما عندما يكون لدينا مجال مغناطيسي \vec{B} فإنه حتى من النوع الواحد من الجزيئات يمكن أن توجد درجتى حرارة مختلفتين [3] .

I-1-5-7 الكثافة

لتحديد كثافة الأيونات و الإلكترونات نحدد عدد الإلكترونات لكل وحدة حجم n_e . و إذا كانت Z شحنة الأيونات فإن [17]

$$n_e = n_i Z \Rightarrow n_i = \frac{n_e}{Z} \quad (13 - I)$$

I-1-6 قوانين التوازن الثرموديناميكي

I-1-6-1 قانون بلانك : الجسم الأسود

يتميز توزيع الضوء الطيفي للمصدر دالة للطول الموجي (أو التردد) . قانون بلانك يعبر عن كمية الطاقة المنبعثة لوحدة الزمن و لكل وحدة مساحة للجسم الأسود عند درجة حرارة في إتجاه معين لكل وحدة الزاوية الصلبة و وحدة الطول الموجي في محيط الطول الموجي . هذا المقدار يوافق الإشعاع الطيفي و ذلك يعتمد فقط على درجة الحرارة T و الطول الموجي λ أو (التردد) . هذا القانون يصف الإشعاع الطيفي للجسم الأسود عند درجة حرارة T تعطى بواسطة بلانك [18] [19].

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{K_B T}\right) - 1} \quad (14 - I)$$

حيث c سرعة الضوء . ν التردد .

I-1-6-2 قانون توزيع السرعات ماكسويل _بولتزمان

يصف توزيع الطاقة الحركية للجزيئات في إصطدام مرن في وسط متجانس و ساكن . هذا القانون يمثل توزيع السرعة $F(v)$ للجسيمات في وسط بلازما

$$F(v) = n \left(\frac{m}{2\pi K_B T} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{m\vec{v}^2}{2K_B T} \right) \quad (15 - I)$$

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y + \vec{v}_z$$

$$F(v)dv = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi K_B T} \right)^{3/2} \exp \left(-\frac{mv^2}{2K_B T} \right) v^2 dv = \frac{dn}{n} \quad (16 - I)$$

حيث

v تمثل سرعة الجسيمات .

m تمثل كتلة الجسيمات .

يصف احتمال وجود جسيم داخل مجال سرعة $v+dv$. درجة الحرارة T التي تميز التوزيع تسمى درجة الحرارة الحركية $T_{ciné}$.

تمثل السرعة الأكثر احتمال للجسيمات .

3-6-1-I توزيع بولتزمان

توزيع بولتزمان يعطي نسبة السكان بين مختلف مستويات الطاقة i و j لنفس الأيون [19] و يعطى ب :

$$\frac{N_i}{N_j} = \frac{g_i}{g_j} \exp \left(-\frac{\Delta E_{ij}}{K_B T} \right) \quad (17 - I)$$

حيث

ΔE_{ij} تمثل فرق الطاقة بين المستويين i و j .

g_i و g_j تمثل الوزن الإحصائي للمستويين .

4-6-1-I قانون صاها "Saha"

يسمح بتحديد درجة التأين لوسط في التوازن الترموديناميكي [20] . يصف نسبة السكان لواحد مول لذرة في وسط في التوازن

الحراري و يعطى بالعلاقة التالية [18] :

$$\frac{N_i N_e}{N_j} = \frac{g_i g_e}{g_j} \left(\frac{2\pi m_e K_B T}{h^3} \right) \exp \left(\frac{-X_i}{K_B T} \right) \quad (18 - I)$$

حيث

m_e تمثل كتلة الإلكترون .

X_i تمثل طاقة التأين .

I-1-6-5 قانون دالتون :

يرتبط الضغط الكلي P للبلازما بدرجة حرارة Ti للجزيئات المتوسطة من كثافة الجسيمات :

$$P = \sum_i k_B T_i n_i \quad (19 - I)$$

قانون الحياد الكهربائي: البلازما محايد كهربائي [21] :

$$n_e q_e + n_p q_p + n_n q_n = 0$$

حيث:

q_e شحنة الالكترونات .

n_p كثافة الأيون الموجب .

q_p شحنة الأيون الموجب .

n_n كثافة الأيون السالب.

q_n شحنة الأيون السالب .

I-1-7 حالات التوازن الحراري في البلازما

I-1-6-1 التوازن الحراري الكلي (ETT) Équilibre Thermodynamique Total

يتحقق التوازن الحراري الكلي عندما تتحقق القوانين الأربعة للتوازن التي سبق ذكرها معا [20]. و لتمييز النظام بشكل كامل

يكفي معرفة درجة الحرارة T و الذرات N .

I-1-7-2 التوازن الحراري المحلي (ETL) Equilibre Thermodynamique Local

يمكن في البلازما في ظل ظروف معينة تعريف حالة الإتزان الحراري المحلي . يمكن معرفة درجة حرارة التوازن المحلي في كل نقطة من

البلازما . أي ان قانون من قوانين التوازن الحراري صالحا محليا بإستثناء قانون بلانك [19].

I-1-7-3 التوازن الحراري المحلي الجزئي

عندما تكون الكثافة ضعيفة جدا (خاصة الكثافة الإلكترونية) عدد التصادمات لوحدة الزمن غير كافي لضمان هذين المستويين

[21]. لذلك فقط جزء من مستوى الإثارة يكون في التوازن الحراري المحلي .

I-1-7-4 حالة عدم التوازن (Hors ETL)

غالبا التأين يكون بسبب الحقل الكهربائي الخارجي . الغاز ليس في التوازن الحراري و سوف يصل إلى حالة ثابتة يمكننا أن نميز المعاملات α , T_0 , T_e , T_i . يتم تعريف درجات الحرارة الثلاثة شرط أن $\left(\frac{3}{2}KT\right)$ تمثل الطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات رعتها المتوسطة معدومة . الفرق بين T_0 , T_e , T_i قد يكون مهم في أنبوب التفريغ النموذجي . قد تكون .

$$T_i \approx 300K$$

$T_e \approx 3 * 10^4 K$ و يرجع ذلك إلى حقل كهربائي على الإلكترون الساخن . و بتعريف آخر هو الوسط الذي لا يحقق أي قانون من قوانين التوازن الحراري [22] .

I-2 الرش المهبطي

I-2-1 الطرق العامة لتوضع الطبقات الرقيقة:

توجد عدة طرق لتوضع الطبقات الرقيقة تصنف حسب التقنيتين:

- التوضع الكيميائي للطور البخاري PCD .
- التوضع الفيزيائي للطور البخاري PVD [23].

I-2-1-1 التوضع الكيميائي للطور البخاري

هذه الطريقة مستعملة بكثرة لإعداد الطبقات الرقيقة وهي تعتمد على التفاعل الكيميائي بين مكونات الغاز لتوضع على المسند مشكلة طبقة رقيقة [24] .

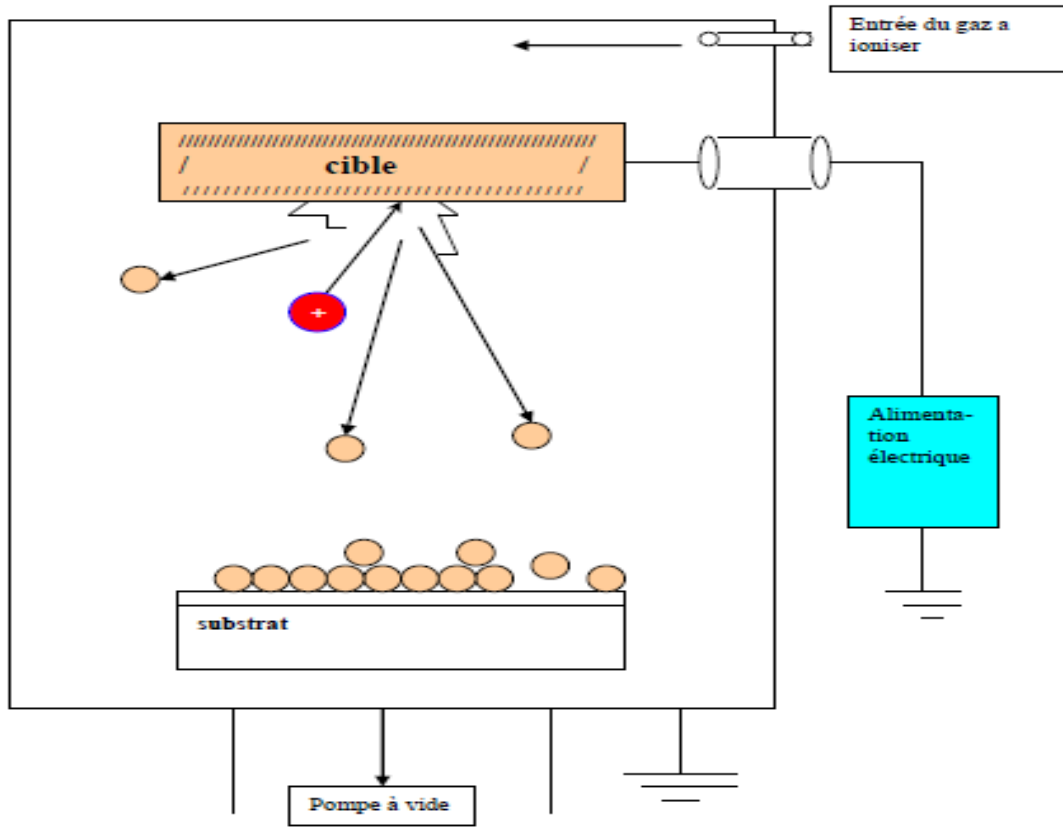
I-2-1-2 التوضع الفيزيائي للطور البخاري

توضع الطبقة الرقيقة نتيجة تكاثف أبخرة المادة المراد ترسيبها و التي تسمى الهدف و يتم ذلك من خلال عمليتين (الرش و التبخر) [25]. من أهم مميزات هذه تقنية أنها غير ملوثة كما أن الطبقات المتوضعة تكون كثيفة و سهلة المراقبة . و من بين طرق التوضع الفيزيائي للطور البخاري نجد طريقة الرش المهبطي [24] و هي الطريقة المعهدة في عملنا هذا .

I-2-2 التوضع بطريقة الرش المهبطي

ظهرت هذه الطريقة منذ 1852 من طرف Grove و لأسباب تكنولوجية لم تستعمل لإنتاج الطبقات الرقيقة إلا بعد عام 1950 [25]. تعتمد في إستخدامها على التفريغ الكهربائي بين إلكترودين ناقلين (المصعد و المهبط) بينهما فراغ يحتوي على

غاز حامل في ضغط منخفض (و الغاز المستخدم يكون عموماً غاز الأرجون) حيث تثبت مادة على المهبط الذي يحمل جهداً سالباً (3 إلى 5 kV) بالنسبة للمصعد و يكون موازياً له تفصل بينهما مسافة تقدر ببعض السنتيمترات (بين 3 و 5cm) إذا كان الضغط المطبق بين اللبوسين يتراوح بين (1~10² Pa) تتسارع الأيونات الطاقوية تحت تأثير الحقل الكهربائي الناتج متجهة نحو المهبط فتتصادم مع مادة الهدف و يتبدلان كمية الحركة في ما بينهما ، ينتج ذلك إقتلاع ذرات محايدة كهربائياً هذه الأخيرة تترسب على صفيحة مستوية متصلة بالمصعد تسمى المسند مشكلة شريحة تمثل الطبقة الرقيقة [23].



الشكل (1-I) رسم تخطيطي لمبدأ الرش المهبطي [26].

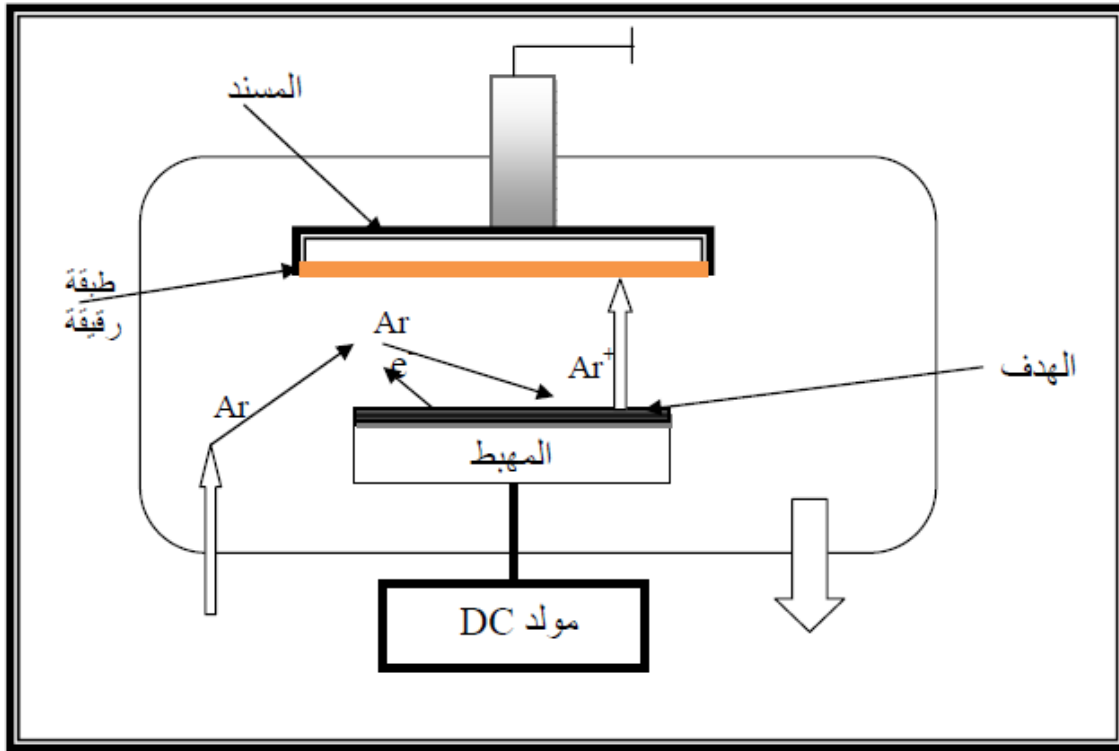
تتميز هذه الظاهرة بالمردود S والذي يمثل النسبة بين الذرات المقتلعة والذرات الواردة.

$$S = \frac{N_p}{N_i} = \frac{\text{عدد الذرات المتعلقة}}{\text{عدد الذرات الواردة}} \quad (20 - I)$$

3-2-I أنواع الرش المهبطي

1-3-2-I الرش المهبطي المستمر

الرش المهبطي يسمح فقط بتوضع المواد الناقلة أو نصف ناقلة، حيث يتم تطبيق جهد سالب ومستمر على المهبط مما يولد تفرغاً كهربائياً (تأين الغاز) وظهور أيونات طاقتوية ذات طاقة حركية عالية، تتجه نحو المهبط اقتلاع ذراته وترسبها على المسند مشكلة طبقة رقيقة [27]



الشكل (2-I) رسم تخطيطي للرش المهبطي المستمر DC .

2-3-2-I الرش المهبطي المتناوب

ظاهرة الرش المهبطي المستمر غير صالحة عندما تكون مادة الهدف عازلة لأنه لا يمكن فصل الشحنات المحمولة مع الأيونات لذلك عند توضع مادة عازلة يمكن إستخدام إما هدف نصف ناقل أو ناقل مع غاز فعال كيميائياً و تعرف هذه العملية بالرش المتفاعل أو يمكن التخلص من ظاهرة التصاق الشحنات بالهدف العازل تماماً بتعويض مصدر جهد متناوب للهدف يجعله تارة جاذب للأيونات خلال نصف الإهتزازة السالبة على أن سشحن بكمون موجب مما يؤدي توقف عملية جذب الأيونات و بالتالي عملية

الرش و يجعله جاذب للإلكترونات تارة أخرى خلال نصف الإهتزازة الموجبة إلى أن تتعامل مع الشحنات الموجبة المتوضعة سابقا على سطح الهدف [11].

I-2-3-2 الرش المهبطي للصمام الثلاثي

لتسهيل عملية إنتاج لأكترونات إضافية في البلازما يمكن إستعمال سلك ساخن يلعب دور مصعد ثان يطبق عليه إستقطاب سالب بالنسبة للبلازما و يتم إخراج الإلكترونات الصادرة حراريا للحفاظ على الضغط الضعيف بخصر سلك الرش بفرق جهد يتراوح بين (10 و 50 فولط) [27].

I-2-3-3 الرش المهبطي المغنطوني

هو تطبيق مجال مغناطيسي موازي لسطح الهدف الذي يسمح بخصر مسارات الإلكترونات بجوار الهدف و بالتالي زيادة معدل التأين و سرعة التوضع [28]. و تصنف المهابط المغنطونية حسب إتجاه خطوط الحقل المغناطيسي ألى نوعين :

❖ المغنطون المتوازن : تكون فيه جميع خطوط الحقل المغناطيسي مغلقة على سطح المهبط و تكون الإلكترونات تكون الالكترونات المنبعثة من المهبط منحرفة والتيار الأيوني الذي يسرى في إتجاه المصعد المرتبط بالكتلة يكون كبيرا جدا بالنسبة للتيار الالكتروني .

❖ المغنطون الغير متوازن : خطوط الحقل المغناطيسي في هذا النوع تكون مغلقة ومفتوحة . تتقارب الالكترونات من الوسط المهبط وتقودها إتجاه المصعد في هذه الحالة يكون التيار الالكتروني أكبر من التيار الأيوني الذي يسرى في إتجاه المصعد المرتبط بالكتلة .

في كلا النوعين المهبط المغنطوني يأخذ إما الشكل المستوي (المسطح - الدائري) أو الشكل الاسطواني [29].

الفصل الثاني الأطياف الذرية

مقدمة

إن كل عنصر يتميز بطيف خاص به و تستخدم هذه الأطياف المميزة للذرات المختلفة في التحليل الكيميائي الكيفي و الكمي حيث يعتبر التحليل الطيفي من أهم طرق التحليل نظرا لدقتها و تطبيقاتها المتعددة حيث تعتمد على إمتصاص و انبعاث الطاقة الإشعاعية إذ بتفسير هذه المعلومات يمكن الحصول على معلومات كمية و نوعية [30] .

من خلال هذا الفصل سنقوم بتعريف الأطياف و نتعرف على أنواعها بإيجاز و سنقوم بدراسة مختلف التعرضات في الخطوط الطيفية المنبعثة و في الأخير سنتعرف على الطرق المستعملة لتحليل الأطياف .

II-1 تعريف الأطياف

الطيف ناتج عن تحلل شعاع ذو طاقة إلى عدة أطوال موجية حيث نسمي الإشعاع الصادر بالطيف الذري . و بتعريف آخر تصدر المادة طيفا عند إمتصاصها لطاقة فمثلا عند تسخين المادة (حديد ، نحاس) يتغير لونها و كل ما زادت درجة الحرارة يميل وميضها للإصفرار كل هذا يسمى طيفا. استطاع بوهر عام 1913 وضع نظرية لذرة الهيدروجين والتي بموجبها فسر الطيف المنبعث من الذرة و يختلف الطيف باختلاف المصدر و الوسط الذي ينتشر فيه الإشعاع [31].

II-2 أنواع الأطياف

II-2-1 طيف الانبعاث

إذا تعرضت ذرات العناصر لطاقة ما فإنها تمتص كمية من هذه الطاقة مما يسبب إثارة إلكترونات هذه الذرات نتيجة اكتساب طاقة مما يؤدي إلى قذف بعض الإلكترونات إلى مستوى أعلى من المستوى الذي كانت فيه . وفي هذه الحالة يقال أن الذرات في حالة إثارة وعندما تعود هذه الذرات إلى حالة الاستقرار ثانية (بعد زوال المؤثر) فإنها تطلق الطاقة التي امتصتها ثانية على شكل إشعاع (إما في مجال الضوء المرئي أو غير المرئي) حيث يسمى الإشعاع المنطلق بطيف الانبعاث emission spectrum .

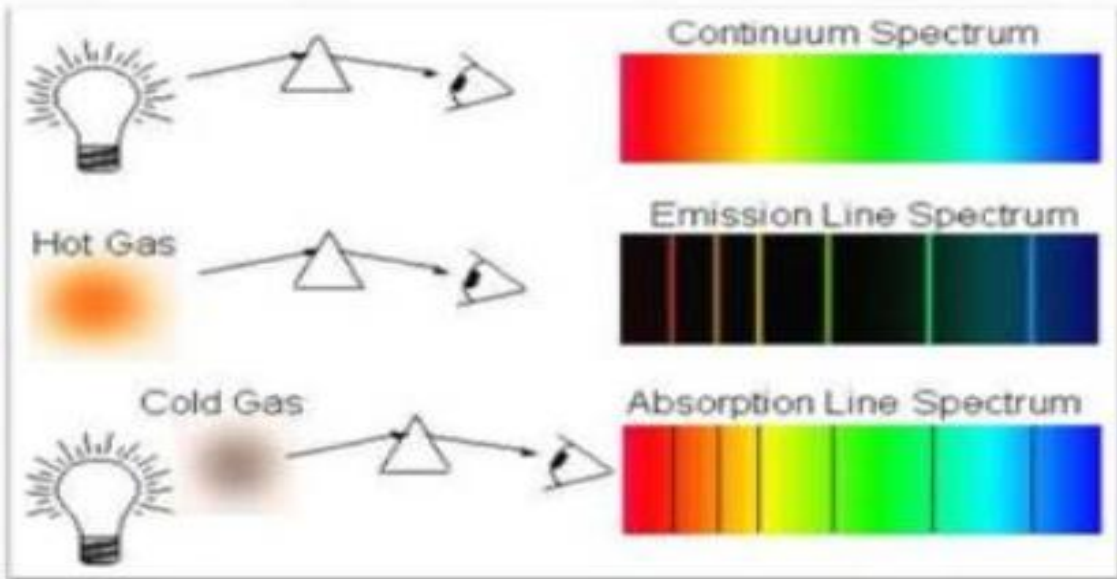
و ينقسم إلى:

II-2-1-1 الطيف المتصل (المستمر) : هو طيف يحتوي على كل الترددات الممكنة بشكل متصل و ينتج عن الأجسام الصلبة المتوهجة.

II-2-1-2 الطيف الخطي المميز : هو طيف يحتوي على تردد معين أو ترددات معينة تفصلها مناطق سوداء. و ينتج عن الغازات و الأبخرة الملتهبة و يكون مميز لمادة العنصر المشع لأنه يعتمد على التركيب الذري لكل عنصر [30] يظهر على شكل حقل مظلم به خطوط مضيئة متباعدة [32].

II-2-2 طيف الإمتصاص

هو الطيف الناتج عن إمتصاص الأطوال الموجية أو الترددات المميزة لعنصر عند مرور الضوء الأبيض خلال ذرات هذا العنصر و في درجة حرارة عالية [30]. و ينتج عن إنتقال في الذرات المثارة من مستوى طاقة أقل إلى مستوى أعلى منه يظهر عادة على شكل طيف مستمر فلا يشكل مناطق مظلمة [32]



الشكل (II-1) أنواع الطيف (المستمر، الخطي و طيف الإمتصاص).

II-3 الطرق المستعملة لتحليل الأطياف

II-3-1 شدة الخطوط الطيفية

و ينقسم إلى

II-3-1-1 شدة الخطوط الطيفية الذرية

يعطى قانون شدة الخط الطيفي الموافقة للإنتقال من المستوي الأولي إلى المستوي النهائي بالعلاقة التالية :

$$I_{if} = N_i \cdot A_{if} \cdot h \cdot \nu_{if} = N_i \cdot A_{if} \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda_{if}} \quad (1 - II)$$

حيث

I_{if} الشدة و يعبر عنها ب (w/m^3) .

A_{if} احتمال الإنتقال (معامل أينشتاين) .

ν_{if} يمثل التردد .

N_i عدد الذرات المثارة في وحدة الزمن .

h يمثل ثابت بلانك

II-3-1-2 شدة الخطوط الطيفية الجزيئية

و يوافق الإنتقال من حالة تتميز بأعداد كمية $(n'.v'.j')$ إلى حالة تتميز بأعداد كمية $(n''.v''.j'')$ و شدة الخطوط الطيفية

المنبعثة خلال هذه المرحلة الإنتقالية هي الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن 4π راديان و تعطى العلاقة ب :

$$I_{n''v''j''}^{n'v'j'} = h\nu_{n''v''j''}^{n'v'j'} \cdot A_{n''v''j''}^{n'v'j'} \cdot N_{(n'v'j')} \quad (2 - II)$$

حيث

$I_{n''v''j''}^{n'v'j'}$ و يعبر عنها ب (w/m^3) .

$N_{(n'v'j')}$ كثافة المرسل (cm^{-3})

$\nu_{n''v''j''}^{n'v'j'}$ العدد الموجي للإنتقال (w/m^{-1}) .

$A_{n''v''j''}^{n'v'j'}$ احتمال الإنتقال [33] .

II-3-2 تحديد درجة حرارة الإلكترون

هناك طريقتين لتحديد درجة الحرارة :

II-3-2-1 نسبة الشدة بين الخطين

تم هذه الطريقة بين إنتقالين شعاعيين في شروط من توازن مستويات الطاقة الحرارية المحلية (توازن ترموديناميكي محلي) لدرجة حرارة معينة . و يمكننا أن نستنتج درجة الحرارة التي تنبعث من نوع الإشعاع المرسل بإستخدام النسبة بين شدة الخطين (1) و (2) من نفس النوع .

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

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

II-3-2-2 طريقة الرسم التخطيطي لبولتزمان

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

$$I_{if} = \frac{hc}{\lambda} \frac{ng_i A_{if}}{B(T_{\text{exc}})} \exp\left(-\frac{E_i}{T_{\text{exc}}}\right) \quad (5 - II)$$

حيث :

h ثابت بلانك .

c سرعة الضوء في الفراغ .

$B(T_{\text{exc}})$ دالة التوزيع .

λ الطول الموجي الموافق للانتقال .

A_{if} احتمال الانتقال [34] .

II-4 أسباب تعريضات الخطوط الطيفية المنبعثة و أشكال الخطوط .

اسباب تعريضات الخطوط الطيفية المنبعثة من المرسل في البلازما كثيرة نذكر منها :

II-4-1 العرض الطبيعي

من أجل ذرة مثارة يرتبط العرض الطبيعي بمبدأ الإرتياب لهازنبرغ لمستويات الطاقة. يشار الى انه في المنطقة المرئية من الطيف يكون هذا العرض عموما ضئيلا جدا مقارنة بالأسباب الأخرى للتعريض، وعليه فغالبا ما يهمل في هذا المجال من الأطوال الموجية . في نظام الكم يمكن كتابة الإرتياب الطبيعي كما يلي [35][21] :

$$\Delta E. \tau \geq \hbar \quad (6 - II)$$

حيث

$\tau = \frac{1}{A_{ki}}$ يمثل زمن الحياة للذرة في الحالة المثارة .

A_{ki} يمثل معامل انشتاين .

ΔE يمثل التعريض الطبيعي .

II-4-2 تعريض دوبلر

تعريض دوبلر ناتج عن سرعة الجسيمات التي ترسل أو تمتص الإشعاع ، تردد الإشعاع المنبعث يختلف عن تردد الإشعاع

المنبعث من الجسيمات في حالة الراحة [21] . سرعة الجسيمات في التوازن الترموديناميكي تتعلق بدرجة حرارة الوسط . التردد

المشاهد يتعلق بسرعة الجسيمات التي تخضع لتوزيع معين مما يؤدي الى خلق توزيع للتردد و هذا التوزيع يفرض علينا تشتت $\Delta\omega$

و الذي يعرف بعرض دوبلر و يعطى بالعلاقة التالية :

$$\Delta\omega_0 = 0,716.10^{-6}. \omega_0 \sqrt{\frac{T}{M}} \quad (7 - II)$$

حيث ان $\Delta\omega_0$ و ω_0 وحدتهما eV و T بالكلفن و M بوحدة الكتل الذرية و التي هي uma .

شكل الخط هو شكل غوص [35] .

II-4-3 التعريض الناتج عن الاصطدام بالجسيمات الحيادية

هذا الاصطدام هو سبب أيضا في تعريض الخطوط الطيفية . و يكون عموما مهمل في البلازما [36]

II-4-4 التعريض الناتج عن اصطدام الجسيمات المشحونة

إن السبب الأساسي لتعريض خطوط الطيف في البلازما هو الاضطراب الناجم عن الذرات وذلك بمختلف جزئياتها

المشحونة والغير مشحونة وفي هذه الحالة يحدث التعريض بواسطة التصادم. يمكن تقسيمه الى ثلاث فئات :

- التعريض بالرنين : وذلك بواسطة اضطراب الجزئيات الغير مشحونة المعتدلة أي ذات النوع لذرات المصدر.
- تعريض فاندرفالز : بواسطة اضطراب الجزئيات الغير مشحونة (المعتدلة) مع مختلف انواع ذرات المصدر (تفاعل ذرة من

نوع A مع ذرة من نوع B) [37].

- تعريض ستارك : ينتج عن تفاعل الجسيمات المشحونة مع المصدر و هو مهم في حالة البلازما .

للأيونات شبيهة الهيدروجين تعريض ستارك يعطى بالشكل التالي :

$$\Delta\lambda_s = 2 \omega + 3,5 A \left(\frac{N_e}{10^{16}} \right)^{1/4} \left(1 - \frac{3}{4} N_D^{-1/3} \right) \omega \left(\frac{N_D}{10^{16}} \right) \quad (8 - II)$$

حيث ω معامل الاصطدام للالكترونات و يستطيع ضم مختلف درجات الحرارة . A معامل التعريض الايوني ، N_D عدد

الجسيمات في كرة دوباي

$$N_D = \int_0^{\lambda_D} N(r) 4\pi r^2 dr \quad (9 - II)$$

λ_D طول موجة دوباي .

$$\lambda_D = 9,6 \sqrt{\frac{T(K)}{N_e (cm^{-3})}} \quad (10 - II)$$

في مساوات $\Delta\lambda_s$ العينة الأولى تمثل تعريض إسهام الالكترونات و الثاني معامل تصحيح يخص الأيونات . للأيونات

اللاهيدروجينية تعريض ستارك في الأساس يكون إلكتروني لأن الأيونات مهملة مقارنة بالإلكترونات معامل التصحيح الأيوني يمكن

إهماله و يصبح لدينا :

$$\Delta\lambda_s = 2\omega \frac{N_e}{10^{16}} \quad (11 - II)$$

و يمكن أن تكتب بدلالة N_e و T بالشكل التالي

$$\Delta\omega = A \frac{N_e}{T} \quad (12 - II)$$

شكل الخط هو لورينتز [35].

II-4-5 تعريض الأجهزة

أجهزة القياس والتحليل الطيفي تتسبب في المزيد من التوسع في الخطوط الطيفية المشاهدة [21]. التعريضات تعطى حسب

النماذج و الأشكال الموافقة :

- شكل غوص .
- شكل لورينتز .
- شكل مركب .
- شكل فويت : و هز مزيج بين غوص و لورينتز [35] و تعطى دالة فويت ب

$$\phi(\nu) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\Delta\nu_0} \exp\left\{-\left[\frac{\nu - \nu_0}{\Delta\nu_0}\right]^2\right\} \quad (13 - II)$$

الفصل الثالث

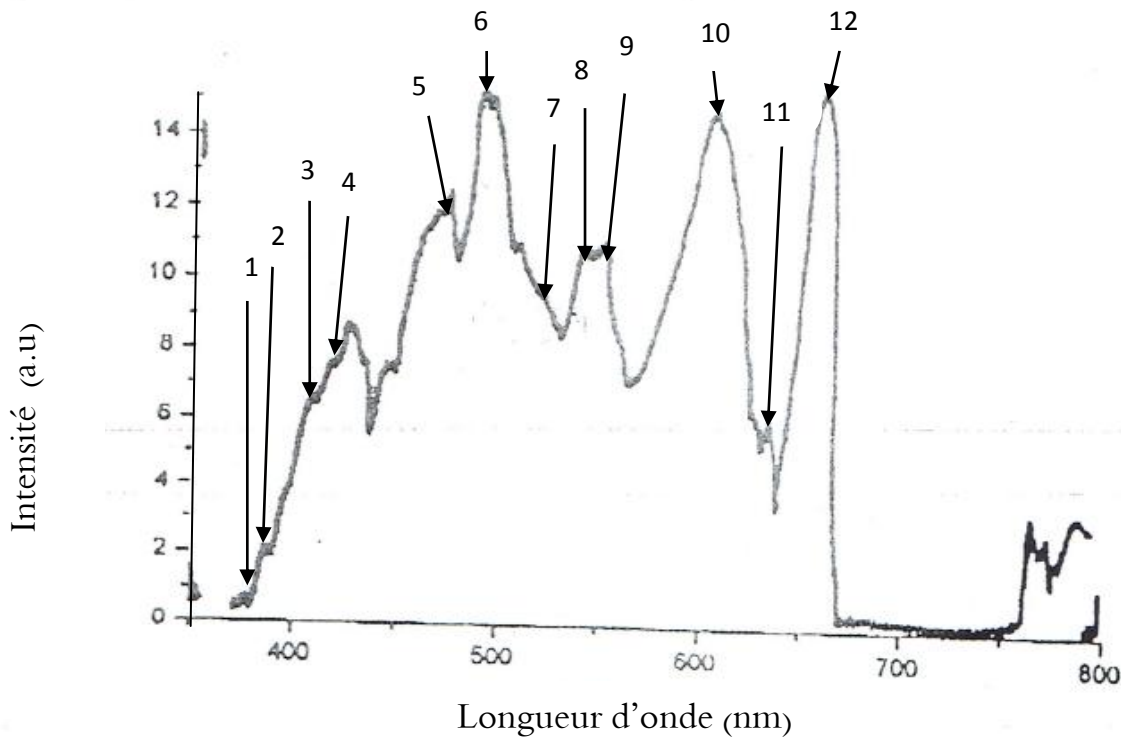
دراسة إختلال توازن الهيدروجين

مقدمة

في هذا الفصل سنهتم بدراسة الأطياف التجريبية للهيدروجين التي تنبعث من البلازما خلال ترسب طبقة رقيقة من السيليسيوم (Si). يعرف الهيدروجين hydrogen على أنه غاز لا لون له ولا طعم ولا رائحة، رمزه الكيميائي H وهو أبسط عنصر معروف؛ إذ تتألف نواة ذرته من بروتون وحيد، وبنيتة الإلكترونية $1s^1$ ولا يضم الهيدروجين إلكترونات أخرى إلى مدار مكوّنًا مركبًا شاردياً إلا في حالة واحدة فقط، وذلك عندما يتحد مع معدن قلوي أو قلوي ترابي، لتكوّن هيدريدات مثل LiH, NaH و CaH₂ إذ تغلب على هذه المركبات الصفة الأيونية الشاردية [38]. و قبل ذلك سنتطرق إلى النموذج العددي المتبع في هذه الدراسة .

III- 1 الطيف التجريبي

قبل التطرق إلى دراسة إختلال توازن بلازما الهيدروجين يجب الإشارة أن هذه الأطياف التجريبية تم إعدادها من طرف الأستاذ عيدة محمد الصالح_بمخبر الطبقات الرقيقة لجامعة قسنطينة وهي موضحة بالشكل (1-III).



الشكل (1-III) منحنى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف التجريبي للهيدروجين .

III-2 رسم الأطياف الذرية النظرية

من أجل دراسة الأطياف التجريبية الناتجة عن توضع طبقة السيليسيوم بإعادة رسمها نظريا نقوم بتحضير المعطيات الذرية لكل العناصر المحتمل وجودها في المجال المرئي للطيف و نقوم بإدخال هذه البيانات في البرنامج العددي المتبع في هذه الدراسة .

البرنامج العددي :

تم إعدادة بلغة الفورترن و مبني على المعادلات التالية :

توزيع ماكسويل بولتزمان .

قانون بولتزمان .

قانون صاها .

قانون دالتون .

التعريض الطبيعي .

تعريض دوبلر .

تعريض التصادمات.

التعريض التجريبي شكل غوص .

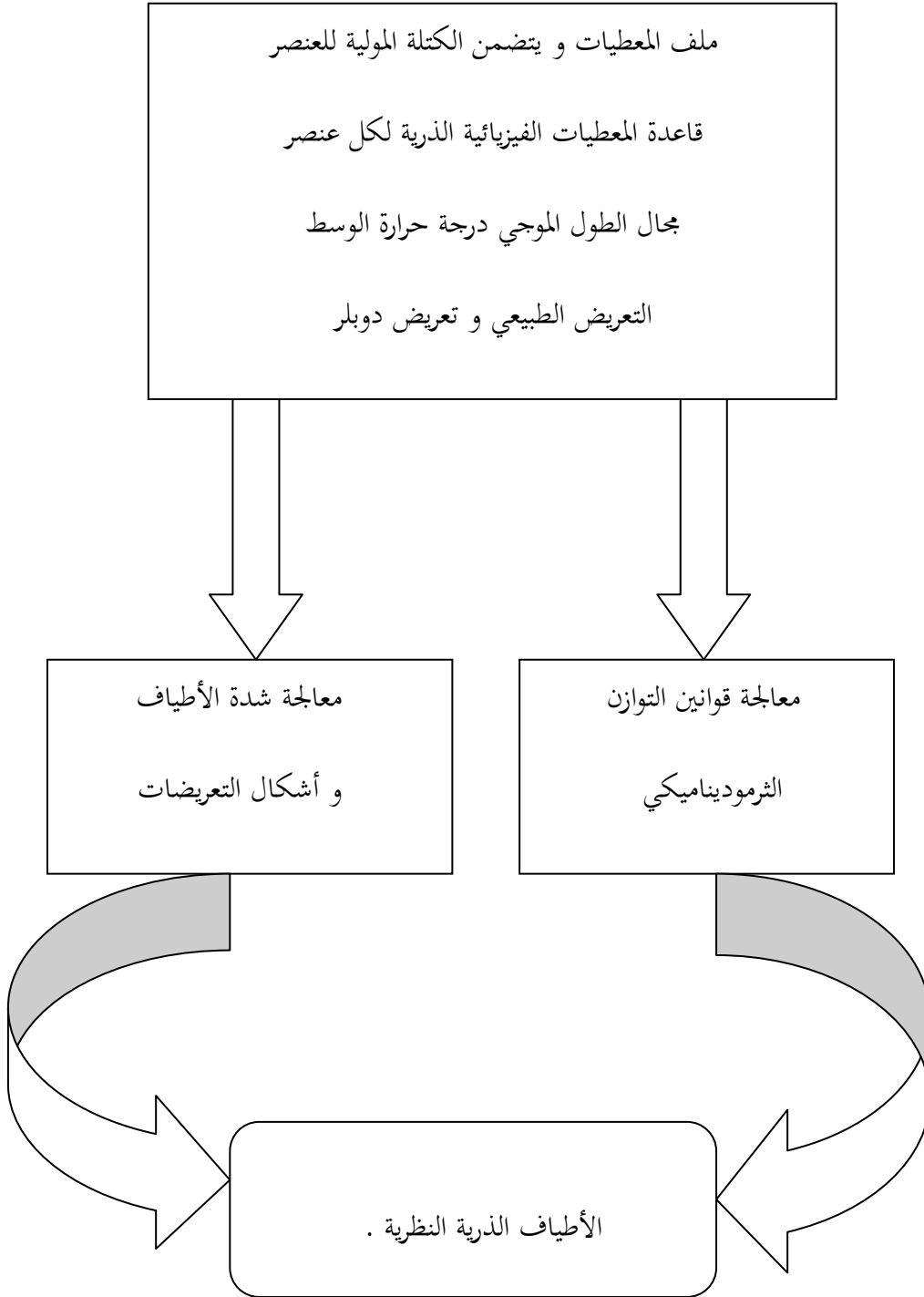
التعريض التجريبي شكل لورنتز .

و قانون التعريض المركب .

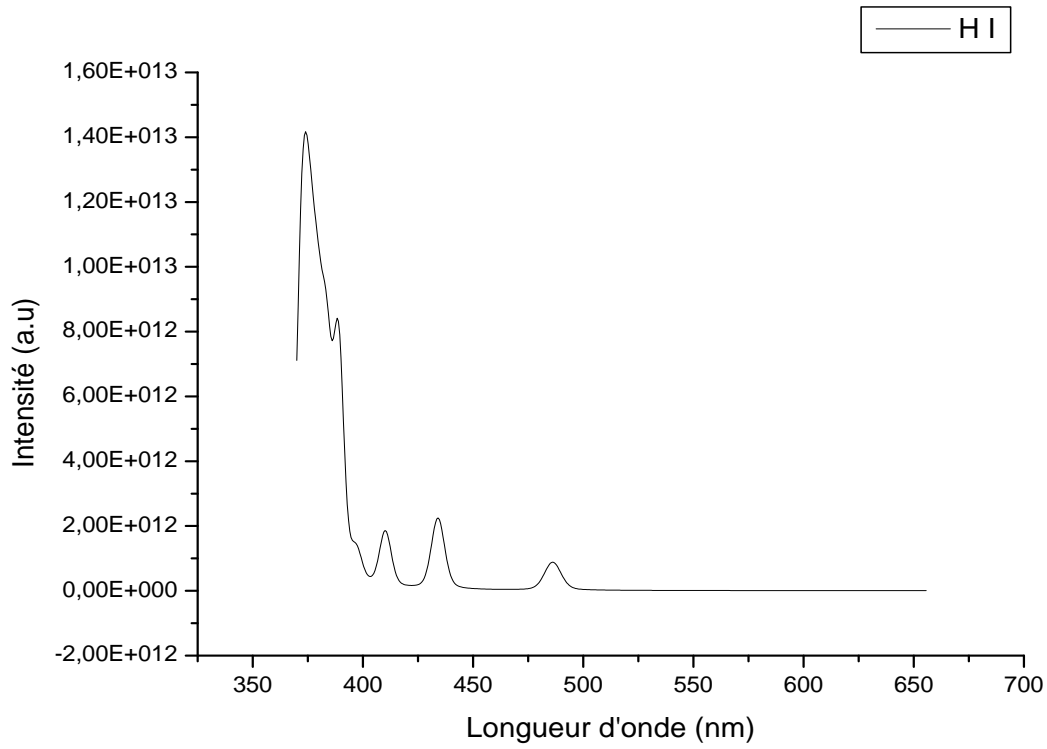
و بعدها نقوم برسم الأطياف الذرية الخاصة بعنصر الهيدروجين و العناصر الأخرى الموجودة كشوائب أثناء عملية الترسيب

بالإعتماد على قاعدة المعطيات الدولية للفيزياء الذرية [39] .

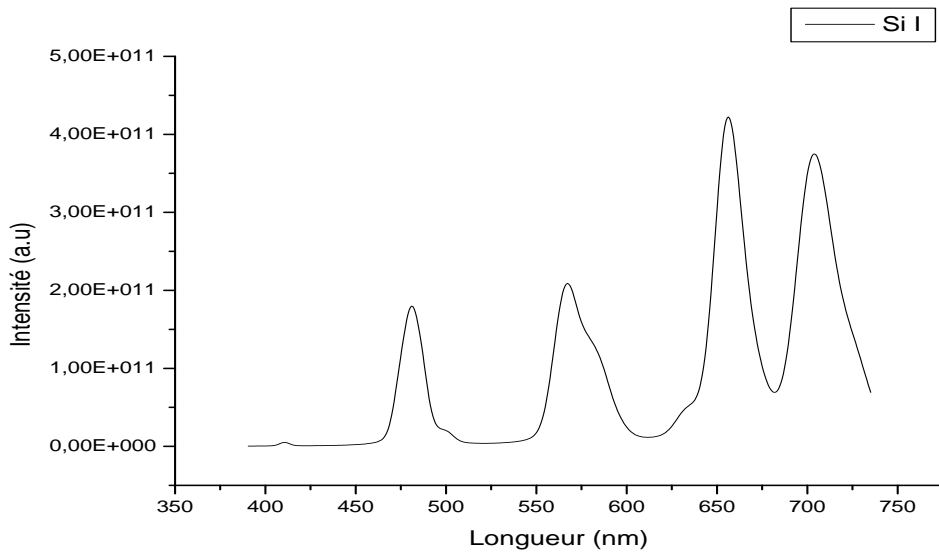
نتائج الأطياف الذرية النظرية المتحصل عليها موضحة بالأشكال (III-3، III-4، III-5، III-6، III-7 ، III-8) .



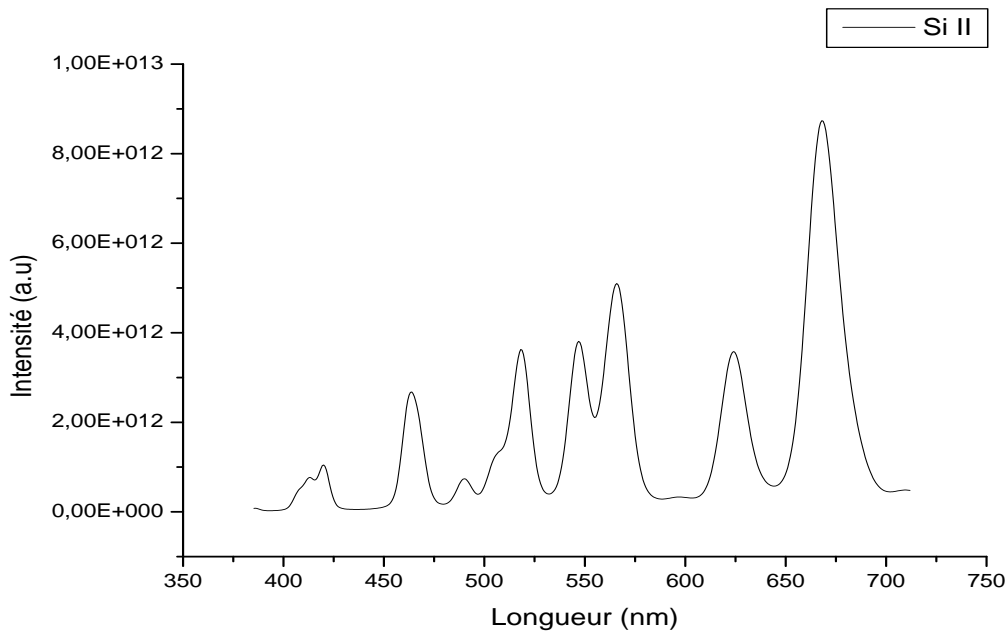
الشكل (2-III) مخطط توضيحي للبرنامج .



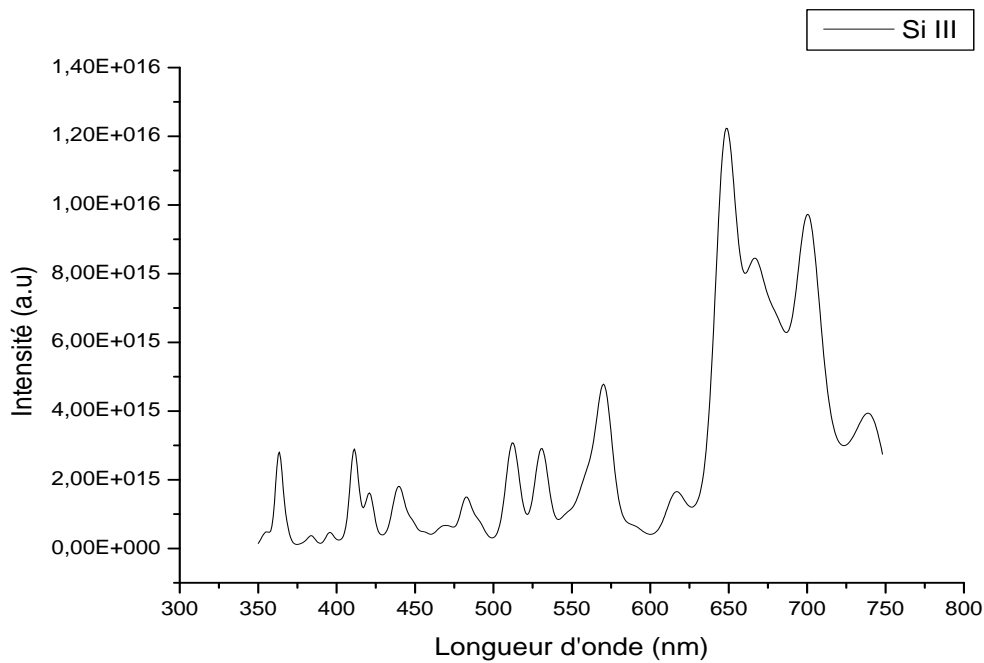
الشكل (3-III) منحنى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للهيدروجين .



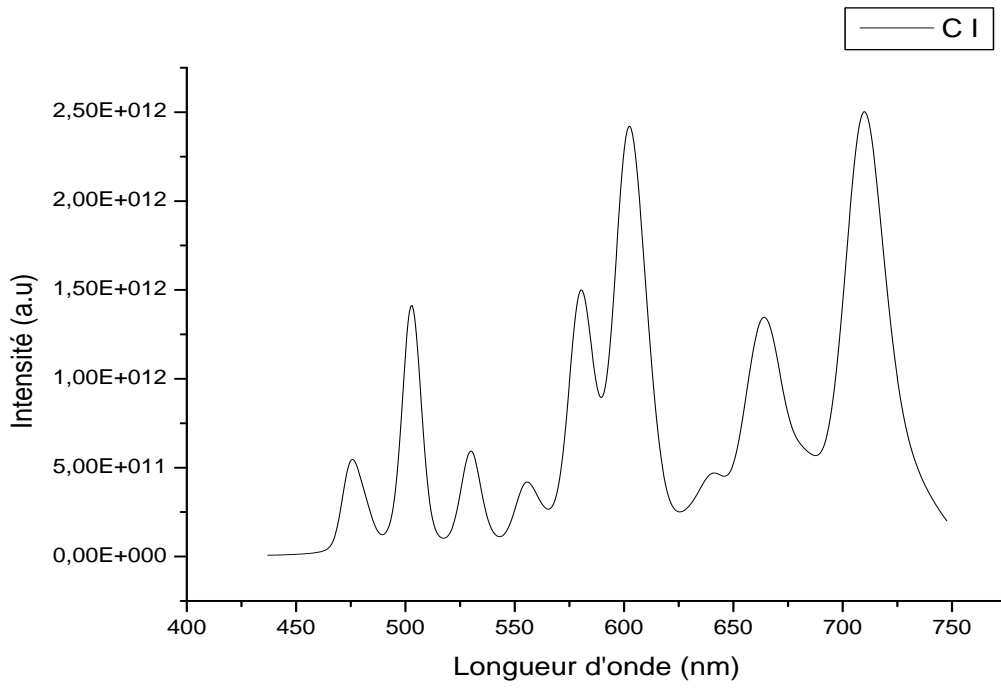
الشكل (4-III) منحنى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للسيليسيوم Si I.



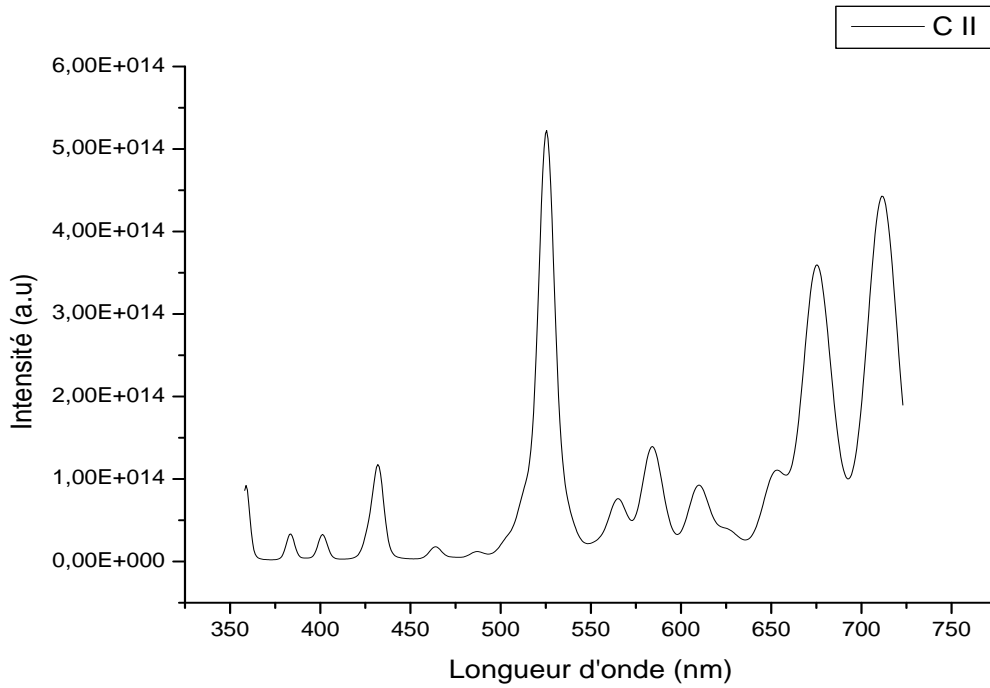
الشكل (5-III) منحنى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للسيليسيوم Si II



الشكل (6-III) منحنى الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري للسيليسيوم Si III.



الشكل (6-III) منحني الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري لكاربون C I .



الشكل (8-III) منحني الشدة بدلالة الطول الموجي للطيف النظري لكاربون C II .

III-3 تحديد العناصر المشعة

وكنيجة المقارنة ما بين الاطياف النظرية و الاطياف التجريبية تمكنا من تحديد العناصر الموضحة في الجدول التالي :

الجدول (III-1) العناصر الموجودة في الطيف التجريبي .

العنصر الموافق	الطول الموجي λ (mn)	رقم الطيف
H	378	1
H	390	2
H	410	3
H	434	4
H	486	5
C I	498	6
C II	525	7
Si II	549	8
Si II, Si I	558	9
C I	600	10
Si II	629	11
Si III, Si II, Si I	658	12

4-III دراسة إختلال توازن الهيدروجين

وبما ان الدراسة تتعلق بالهيدروجين سنركز على الانتقالات الخاصة به و قد تم اختيار الاطياف الموضحة في الجدول التالي:

الجدول (2-III) العناصر الخاصة ببعض الإنتقالات المختارة للهيدروجين .

Cnfig k	Confi i	g _k	g _i	E _k (eV)	E _i (eV)	A _{ki} (S ⁻¹)	λ (nm)
(1s6d) ² D _{3/2}	(1s2p) ² P _{1/2}	4	2	13.22070151 4	10.19880606 47	402877 e ⁺⁶	410
(1s5p) ² P _{1/2}	(1s2s) ² S _{1/2}	2	2	13.05449807 3	10.19881043 96	4.9484 e ⁺⁶	434
(1s4d) ² D _{5/2}	(1s2p) ² S _{1/2}	6	4	12.74853989 0	10.19885142 90	2.0625 e ⁺⁷	486

1-3-III حساب النسبة R

من أجل حساب النسبة بين الشدة لكل من الطيف التجريبي و النظري قمنا بإسقاط مباشر للشدة و قمنا بحساب النسبة R بين كل طيفين من نفس العنصر (الهيدروجين) .

$$R_{ExpAB} = \frac{I_A}{I_B} \text{ و } R_{TheAB} = \frac{I_A}{I_B}$$

و عليه إنطلاقا من حساب النسبة R لكل الأطياف المتوفرة بالنسبة للهيدروجين في الطيف النظري إنطلاقا من الجدول (III-1) و معطيات الجدول (2-III) نختار الطيف (3) و (4) و (5) لأنهم الأكثر احتمال للمقارنة مع الطيف التجريبي . و النتائج موضحة في الجدول التالي :

الجدول (3-III) مقارنة بين النسبة النظرية و التجريبية

مستوى الإنتقال الأساسي	I _{Exp} الشدة التجريبية	I _{The} الشدة النظرية	
(1s6d) ² D _{3/2} → (1s2p) ² P _{1/2}	0.55	1.8	R ₃₅
(1s4d) ² D _{5/2} → (1s2p) ² P _{3/2}			
(1s5p) ² P _{1/2} → (1s2s) ² S _{1/2}	1.2	1.22	R ₄₃
(1s6d) ² D _{3/2} → (1s2p) ² P _{1/2}			
(1s5p) ² P _{1/2} → (1s2s) ² S _{1/2}	0.66	2.2	R ₄₅
(1s4d) ² D _{5/2} → (1s2p) ² S _{1/2}			

ليكن المعامل x و الذي يعبر عن الإختلال ما بين النسبة النظرية و النسبة التجريبية لشدة الأطياف الذرية حيث :

$$R_{The} = x \cdot R_{Exp} \Rightarrow x = \frac{R_{The}}{R_{Exp}}$$

و نسجل بالجدول التالي نسب الإختلال التي تم حسابها :

الجدول (4-III) نسبة الإختلال ما بين النسبة النظرية و النبية التجريبية .

نسبة الاختلال x	مستوى الإنتقال الأساسي
3.27	$(1s6d)^2 D_{3/2} \rightarrow (1s2p)^2 P_{1/2}$
	$(1s4d)^2 D_{5/2} \rightarrow (1s2p)^2 P_{3/2}$
1.01	$(1s5p)^2 P_{1/2} \rightarrow (1s2s)^2 S_{1/2}$
	$(1s6d)^2 D_{3/2} \rightarrow (1s2p)^2 P_{1/2}$
3.33	$(1s5p)^2 P_{1/2} \rightarrow (1s2s)^2 S_{1/2}$
	$(1s4d)^2 D_{5/2} \rightarrow (1s2p)^2 S_{1/2}$

❖ المناقشة و النتائج

من خلال النتائج الموضحة في الجدول أعلاه يمكننا أن نسجل الملاحظات التالية :

1- النسبة النظرية لشدة الأطياف ما بين الطول الموجي $\lambda_3 = 410$ (mn) و الطول الموجي $\lambda_5 = 434$ (mn) تتطابق

تقريبا مع النسبة لشدة الأطياف التجريبية و هذا يؤكد أن مستويات الطاقة المرتبطة بالإنتقالات لها توزيع مستقر وفق بولتزمان .

2- دائما بالإعتماد على النتائج المبينة في الجدول أعلاه نلاحظ أن النسبة لشدة الأطياف النظرية ما بين الطول الموجي λ_3 و الطول الموجي $\lambda_5 = 486$ (mn) أكبر من النسبة التجريبية أي أن المستوي $(1s 4d)$ له توزيع سكاني أكبر ب 3 مرات من التوزيع السكاني في المستوي $(1s6d)$ في حالة التوازن .

3- كذلك بالنسبة للنسبة ما بين الشدة النظرية ما بين الطيفين λ_4 و λ_5 نلاحظ أنها أكبر ب 3 مرات تقريبا (بنفس القيمة تقريبا) من النسبة الشدة التجريبية و ذلك لتأثرها بالإختلال الحاصل في المستوي الطاقوي $4d$ حيث نلاحظ أن له توزيع سكاني أكبر من التوزيع السكاني في المستوي $(1s5p)$

النتائج المتحصل عليها تثبت أن بلازما التفريغ الكهربائي ليست في حالة توازن ثرموديناميكي و هذا ما تؤكدته دراسات سابقة .

خاتمة

لقد تمكنا خلال هذا العمل من دراسة إختلال توازن بلازما التفريغ الكهربائي للهيدروجين حيث ساهمت الطريقة المتبعة و التي تعتمد على إعادة محاكات الأطياف التجريبية من التوصل إلى وجود توازن حراري محلي جزئي فقط . حيث تمكنا من تحديد بعض المستويات المستقرة و المتطابقة مع توزيع ماكسويل بولتزمان . وتدخل أهمية هذه الدراسة مستقبلا في تحديد خصائص البلازما كدرجة الحرارة أو الكثافة الإلكترونية للوسط .

{ خلاصة عامة }

خلاصة عامة

خلاصة عامة

في هذه المذكرة عملنا على دراسة مدى إحتلال توازن بلازما التفريغ الكهربائي للهيدروجين بإستخدام الأطياف الصادرة من البلازما أثناء عملية إنتاج طبقات رقيقة من السيليسيوم بالإعتماد على طريقة الرش المهبطي الذي تطرقنا لتعريفه ومبدأ عمله ومختلف أنواعه . و لإتمام هذه الدراسة قمنا بتعريف الأطياف الذرية و أسباب التعريضات الممكنة في الخطوط الطيفية في البلازما . و قمنا بعرض شامل حول البلازما و أهم خصائصها و أهم القوانين توازن الثرموديناميكي و كذلك حالات التوازن الحراري في البلازما .

و تم التطرق كذلك للنموذج العددي المتبع في هذه الدراسة الذي تم إعداده بالغة الفورترون و الذي من خلاله قمنا برسم الأطياف النظرية و التي تم مقارنتها مع الطيف التجريبي من أجل تشخيصه و معرفة الأنواع الموجودة فيه . و اعتمدنا بشكل خاص على أطياف الهيدروجين الناتجة عن عملية ترسيب الطبقات الرقيقة في المقارنة بعد ذلك قمنا بحساب نسبة شدة الأطياف بين كل طولين موجيين في الطيف النظري و التجريبي و قمنا بالمقارنة بينها حيث أثبتت النتائج المتحصل عليها أن بلازما التفريغ الكهربائي للهيدروجين ليست في حالة توازن ثرموديناميكي محلي و هذا ما تشير إليه الدراسات سابقة .

{قائمة المراجع}

قائمة المراجع

- [1] الدكتور برنارد هيلد (فيزياء البلازما الباردة) دار علاء الدين للنشر والطباعة والتوزيع .
- [2] قريشة سليمة " إستخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال توزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الأيوني الموضوعي في البلازما " رسالة دكتوراه جامعة ورقلة (2013) .
- [3] الدكتور وليد مصطفى الصهيويني (مقدمة في فيزياء البلازما) يونيو سلطنة عمان (2006) .
- [4] علي إبراهيم مهدي العزاوي "الكهرومغناطيسيات " جامعة المنتصرية بغداد .
- [5] سهيلة عسكري ،"حساب دوال التوزيع مشتقات الحقول الموضوعية و تطبيق على طيف الهيليوم " رسالة ماجستير ، المركز الجامعي بالوادي (2011) .
- [6] اسماعيل شبيحي، "حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي و مشتقاتها داخل البلازما بإستخدام المحاكاة العددية مونت كارلو تطبيق على طيف الهيليوم " ، رسالة دكتوراه دولة، جامعة منتوري قسنطينة(2005).
- [7] قريشة سليمة ،" مساهمة في دراسة توزيعات المشتقات الفضائية للحقول الكهربائية الموضوعية في البلازما " ، رسالة ماجستير ، جامعة قاصدي مرباح ، ورقلة (2008).
- [8] R. O. DENDY, "Plasma Dynamics"; Oxford Academic; Pres (1990).
- [9] JEAN Marcel Rax " physique des plasmas " Paris. (2005)
- [10] A. Dinklage, T. Klinger, G. Marx, L. Schweikhard, Plasma Physics, Springer. Berlin. (2005.)
- [11] ز. بلة "الدراسة التشخيصية بالمحاكاة العددية لمسبار كهربائي ساكن في رش مهبطي "ماجستير جامعة قاصدي مرباح، ورقلة (2007) .
- [12] Gaz ionisés et plasmas par Pierre FAUCHAIS Professeur SPCTS (Science des procédés céramiques et des traitements de surface) NRS UMR 6638 Université de Limoges-Faculté des sciences.
- [13] جيرد بوش "أساسيات الفيزياء " الدار الدولية للإستثمارات ، مصر .
- [14] الفيزياء العامة (الجزء الثاني). الحقول والأمواج) ترجمة بوجانة عاشور الطبعة الثانية.(1989) .
- [15] محاضرات الدكتور إبراهيم سعد الله في فيزياء البلازما السنة الأولى ماستر جامعة الوادي (2012).
- [16] د. يحيى مصطفى سليمان , كتاب الضوء الهندسي الطبعة الاولى جامعة تشرين (1984) .
- [17] JEAN Marcel Rax; physique des plasmas ; Paris(2005).
- [18] Arslane BOUDGHENE STAMBOULI ; "Calcul du rayonnement total émis par un plasma non homogène" ; Mémoire de magister ; Université Aboubakr Belkaid de Tlemcen ; (2006).
- [19] Michel MOISAN et Jacques PELLETIER Université de Montréal. (2006).
- [20] M. CHHAM "Calcul de profils de raies spectrales dans des plasmas produits par laser en utilisant le code PPP " Mémoire de Master Université de Ouargla (2011).

[21] M. Azzaoui "Etude de spectroscopie atomique et moléculaire dans un pulvérisateur cathodique magnétron " Mémoire de magister, Université de Ouargla (2013).

[22]. G. Travaille; «spectroscopie LIBS sans étalonnage .Examen critique et applicabilité a l'analyse de sols pollués»; Thèse de doctorat; Université de Bordeaux, (2010).

[23] 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).

[24] Y. Jiang; "Pulvérisation cathodique assistée par ordinateur"; Thèse de doctorat, Université Paris xi Orsay (1992).

[25] إدريس سليمان، " مساهمة في دراسة طبقات رقيقة معدنية من مركب التيتان مرسبة على مساند فولاذية " جامعة قاصدي مرياح ورقلة.

[26] L. BEN MEBROUK " ETUDE DES SPECTRES D'EMISSION D'IONS DE DEPOSITION SUR COUCHES MINCES " Mémoire de magister, Université de Ouargla (2003).

[27] فائزة ساكري " حساب توزيع سرعات أيونات بإستعمال محاكاة مونتج كارلو عند التصادم مع الهدف في تقنية الرش المهبطي في نظام كهربي مستمر " ماستر أكاديمي جامعة قاصدي مرياح ورقلة (2015).

[28]. C. Manasterski; "la Pulvérisation cathodique industrielle" ; Presses Polytechniques et Universitaires Romandos 2005.

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

[30] ماهية الطيف الفصل الأول الموقع الإلكتروني <http://Fouculy.mu.edu.sa>

[31] سميحة بضياف، "دراسة التركيب الجزئي لرمل كثنان منطقة ورقلة، باستخدام مطيافية الامتصاص تحت الحمراء وحيود الأشعة السينية " (2014).

[32] د. فواز سيوف، "الأطياف في الفلك" أستاذ المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته _ جامعة دمشق _ جمعية هواة الفلك السورية .

[33] S. Lemkaddem et F. Khelfaoui ; « spectre de raies d'émission d'une torche plasma en utilisant la technique de l'inversion de label » Séminaire International sur la Physique des Plasmas (SIPP2011), Ouargla, (2011).

[34] 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).

[35] F. Khelfaoui, « Cours de spectroscopie et profils de raies spectrales », Master Physique de Rayonnement. Université de Ouargla (2012).

[36] H. R. Griem, « Spectral line broadening by plasma », Mc Graw-Hill, New-York, (1964).

[37] Moussa O. Cheibetta, Contribution à la théorie d'élargissement des raies spectrales émises par les plasmas: Application à la raie Ly- α de l'atome de l'hydrogène, Doctorat de 3^{ème} cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar - Sénégal, (2004).

[38] زفيعط مسعود " دراسة الخصائص المرنة للمركب هيدريد الليثيوم LiH " ماستر أكاديمي جامعة قاصدي مرباح ورقلة
(2015).

[39] NIST Atomic Spectra Database, <http://physics.nist.gov>.

الملخص

من أجل دراسة إختلال توازن بلازما التفريغ الكهربائي للهيدروجين قمنا بدراسة عددية على الأطياف النظرية الصادرة من البلازما أثناء عملية إنتاج شرائح رقيقة من السيليسيوم . إن الاحاطة بالأشكال الطيفية و كذلك معرفة حالة التوازن الترموديناميكي للوسط ضروريان لإنجاز دراساتنا. وقد اعتمدنا على معطيات الفيزياء الذرية لمختلف عناصر الوسط (HI-SiI-SiII-CI...) وعلى نموذج نظري وعددي لحساب مختلف أسباب التعريض (الطبيعي، دوبلر، ستارك و التعريض التحريبي) . النتائج المتحصل عليها أثبتت أن البلازما ليست في توازن ترموديناميكي محلي كما تمكنا من تحديد بعض المستويات المستقرة و المتطابقة مع توزيع ماكسويل بولتزمان . وتدخل أهمية هذه الدراسة مستقبلا في تحديد خصائص البلازما كدرجة الحرارة او الكثافة الإلكترونية للوسط.

الكلمات المفتاحية: بلازما التفريغ، الشكل الطيفي، الشرائح الرقيقة، تعريض دوبلر، تعريض ستارك، التوازن الترموديناميكي المحلي .

Résumé

Afin d'étudier le degré de déséquilibre Les décharges électriques plasma d'hydrogène nous avons réalisé une étude numérique sur des spectres expérimentaux émis par le plasma lors de déposition sur couches minces de silicium. Les profils de raies et la connaissance de l'état d'équilibre thermodynamique du milieu sont nécessaires pour réaliser nos études. Nous nous sommes basés sur des bases des données de physiques atomiques des différents éléments du milieu (HI.SiI.SiII.CI...) et de modèle théorique et numérique pour calculer les différentes causes d'élargissements (naturel, Doppler, Stark et expérimental). Les résultats trouvés montrent que le plasma est hors équilibre thermodynamique Local Comme nous avons pu identifier certains des niveaux stables et apparié avec la distribution de Maxwell-Boltzmann. Et l'intervention de l'importance de cette étude à l'avenir pour déterminer les propriétés du plasma comme la densité du centre de température ou d'électrons.

Mots clefs : plasma de décharge ,profil de raie , couche mince, élargissement Doppler, élargissement Stark ,Equilibre Thermodynamique Local .

Abstract

To study the degree of imbalance Electric hydrogen plasma discharges we achieved a numerical survey on the experimental specters given by plasma of deposition on thin films of silicon. The spectral line shape and the knowledge of the state of thermodynamic equilibrium of the middle are necessary in achieving our studies. We took data bases atomic physics of the different elements of the middle as a basis (HI, SiI, SiII CI...), and theoretical and numerical model to calculate the different reasons of broadening (Natural, Doppler, Stark and experimental). The found results show that plasma is not at Local thermodynamic equilibrium. As we identified some stable levels and paired with the Maxwell-Boltzmann distribution. And the intervention of the importance of this study in the future to determine plasma properties such as density or temperature electron center.

Keys words: plasma of discharge, line shape, thin films, Doppler broadening, Stark broadening, Local thermodynamic equilibrium.