

جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء

رقم الترتيب

رقم التسلسلي



مذكرة ماستر أكاديمي

تخصص: فيزياء الإشعاعية

من إعداد الطالبتين: بن المنور فاطمة الزهراء و بن يحكم راوية

الموضوع :

الكشف عن المستويات الطاقة المستقرة لبلازما غير
متوازنة ترموديناميكي لعنصر الكاديوم Cadmium

تناقش يوم : 2020/09/23

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

شهرة ثورية	أستاذ تعليم عالي	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيسا
نعام أمال	أستاذ محاضر	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مناقشا
بن مبروك لزهري	أستاذ محاضر	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مشرفا

الموسم الجامعي: 2020/2019

إهداء



الى وطني العزيز: الجزائر بلد الأحرار و الشهداء
الى من حملني بطنها نبع الحنان التي أعطتني الكثير و
لم تنتظر الشكر

والدتي الحبيبة أطال الله في عمرها
الى من ورثت منه الصبر و الصمود سندي و قدوتي في
الحياة

والدي العزيز أطال الله في عمره

رفقاء البيت الطاهر الأنيق أشقائي وشقيقاتي

الى من صبر معي خلال فترة تخرجي و قدم لي العون و الدعم النفسي

خطيبي و رفيق دربي و أسرته حفظهم الله لي

الى من تقاسمت معهم أوقات الفرح و الحزن خلال المرحلة الدراسية

رفيقاتي حبيباتي أدام الله صداقتنا يا رب
أخيرا الى كل من قدم لي العون و المساعدة
في انجاز هذا العمل



*بن يحكم راوية

إهداء

قال تعالى : " وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه و بالوالدين
إحسانا "

إلى التي أفاضت علي بدعواتها و بركاتها ،إلى من جعلت
الجنة تحت أقدامها، إلى من يهتز لتضرعها عرش الرحمن
،إلى التي لم أستطع أن أوفي في حقها مهما قدمت لها، أمي
الغالية بوعزيز ليندة – بوعر عور مليكة

إلى من أفنى صحته و جهده في سبيل نجاحي والدي
العزيز بن المنور جمال

إلى زوجي الغالي سندي ورفيق دربي قريونة عبد الجليل

إلى رياحين حياتي إخوتي أخواتي

إلى كل من مد لي يد العون من قريب أو بعيد إليكم أهدي عملي هذا

بن المنور فاطمة الزهراء



شكر وتقدير

الحمد والشكر لله الذي أنار لنا درب العلم والمعرفة وأعاننا
ووفقنا بهذا العمل المتواضع .

نتوجه بجزيل الشكر والامتنان إلى أستاذنا المحترم ومشرفنا الفاضل

بن مبروك لزهر على حرصه أن يكون هذا العمل في صورة

كاملة لا يشوّهه أي نقص ، نسأل الله أن يجزيه عنا كل خير قبل

الإشراف على هذا العمل ، وعلى المجهودات التي بذلها من أجلنا ،

والنصائح والتوجيهات القيمة التي كان يضعها نصب أعيننا وهي تتبع هذا

البحث بكل اهتمام...جعل الله ذلك في ميزان حسناته يوم الدين ،

كما نتقدم بالشكر الى لجنة المناقشة رئيس اللجنة الاستاذة شهرة ثرية والأستاذ
المناقش نعام أمال.

ونتقدم بجزيل الشكر إلى جامعة قاصدي مرباح ورقلة وطاقم الأساتذة

وقسم الفيزياء على إتاحتهم الفرصة لنا لإكمال مسيرتنا الدراسية.

كما نتقدم بالشكر لأسرتينا الكريمتين على دعمهم وتشجيعهم لنا خلال

المسيرة الدراسية

IV الفهرس

VIII..... فهرس الجداول

VIII..... فهرس الأشكال

1 مقدمة عامة

الفصل الأول : عموميات حول البلازما و قوانين التوازن

I-البلازما: 3

I-1-تعريف: 3

I-2-تصنيف البلازما: 3

I-2-1-البلازما الباردة: 3

I-2-2-البلازما الساخنة: 3

I-3-بعض المقادير المهمة في فيزياء البلازما: 3

I-3-1-طول لانندو: 3

I-3-2-طول ديباي: 4

I-3-3-طول موجة ديروغلي الحرارية: 4

I-3-4-درجة تأين الغاز: 5

I-3-5-نصف قطر الكرة الأيونية: 5

- 5 I-3-6- نصف قطر الكرة الإلكترونية:
- 6 I-3-7- تردد البلازما:
- 7 I-4-4- ملاحظات:
- 7 I-5-5- معامل التراوح:
- 8 I-6-6- شروط الغاز المتأين ليكون في حالة البلازما:
- 8 I-7-7- خصائص البلازما:
- 9 I-8-8- تغيرات سلم البلازما:
- 10 I-9-9- الإشعاع في البلازما:
- 10 I-10-10- أمثلة عن البلازما:
- 10 I-11-11- معالجة البلازما:
- 11 I-12-12- نسبة التأين ومعادلة ساها Saha equation :
- 13 I-13-13- البلازما الفيزيائية:
- 14 I-14-14- قوانين التوازن:
- 14 I-14-1- قانون بلانك:
- 14 I-14-2- قانون التوزيع السكاني لستيفان بولتزمان:
- 15 I-14-3- قانون توزيع السرعات لماكسويل_بولتزمان:
- 15 I-14-4- قانون صاحا:

الفصل الثاني : المطيافية والطرق التجريبية لتسجيل الأطياف الذرية

- I- مقدمة: 17
- II-1- تعريف الأطياف: 17
- II-2- أنواع الأطياف الذرية: 17
- II-2-1- طيف الانبعاث (الإصدار): 18
- II-2-2- طيف الامتصاص: 19
- II-3- التعريضات وأشكال الخطوط: 19
- II-3-1- دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية: 19
- II-4- الطرق المستعملة لتحليل الأطياف 23
- II-4-1- شدة الخطوط الطيفية: 23
- II-4-2- تحديد درجة حرارة الإلكترون: 24

الفصل الثالث : الدراسة الرقمية لطيف الكاديوم

- III- مقدمة 27
- III-1- خواص الكاديوم: 27
- III-2- التجربة: 28
- III-3- طريقة استخراج الأطياف النظرية: 29
- III-3-1- البرنامج العددي المعتمد في الحساب: 29

31 III-4- تحضير قاعدة معطيات الفيزياء الذرية لعنصر الكاديوم:
32 III-5- رسم الأطياف النظرية للكاديوم وبعض الشوائب:
39 الخاتمة
40 المراجع

فهرس الجداول

- الجدول رقم III. 1 : التطابق ما بين الاطيف النظرية و الطيف التجريبي للكادميوم 34
- الجدول رقم III. 2 : الشدات التجريبية و النظرية لاطيف عنصر الكادميوم والمعطيات الذرية 35
- الجدول رقم III. 3: النسب التجريبية و النظرية لاطيف عنصر الكادميوم ونسب الاختلال 35
- الجدول رقم III. 4: معطيات الفيزياء الذرية للانتقالات المختارة 37

فهرس الأشكال

الفصل الثاني

- الشكل رقم II .1: يوضح طيف الإصدار 18
- الشكل رقم II .2: يوضح طيف الامتصاص 19

الفصل الثالث

- الشكل رقم III .1: رسم تخطيطي يوضح عملية التسامي وتسجيل الطيف التجريبي 28
- الشكل رقم III .2: الطيف التجريبي للكاديوم 29
- الشكل رقم III .3: مخطط البرنامج المستخدم 31
- الشكل رقم III .4 : الطيف النظري للكاديوم CdI 32
- الشكل رقم III .5 : الطيف النظري للكاديوم CdII 32
- الشكل رقم III .6 : الطيف النظري للأكسجين OI 33
- الشكل رقم III .7: الطيف النظري للأكسجين OII 33
- الشكل رقم III .8: الطيف النظري للنيتروجين NI 33
- الشكل رقم III .9: الطيف النظري للنيتروجين NII 33

مقدمة عامة

تعتبر البلازما الحالة الرابعة من حالات المادة وهي أكثر أطوارها شيوعا في الكون إذ تداول موضوع دراستها في علم الفيزياء حديثا لأهميتها، بما أننا لا يمكن معالجتها معالجة عينية قمنا ببعض الدراسات للتعرف عليها وعلى بعض عناصرها.

لدراسة البلازما يستخدم عادة الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر أو المنبعث عنها وذلك باستخدام الخطوط الطيفية للامتصاص والانبعث لتحديد الكثافة ودرجة الحرارة، لكن نجد صعوبة وتعقيد في تشخيص البلازما غير المتوازنة ثرموديناميكيا وعليه نقوم بمحاولة الكشف وتحديد المستويات في الطاقة المستقرة التي تتواجد ضمن نظام الإصدار الطيفي للبلازما غير المتوازنة والتي هي أساس دراستنا في المذكرة، حيث يمكننا من خلال هذه المستويات المستقرة أن نحدد درجة الحرارة الإلكترونية وكذا الكثافة الإلكترونية للبلازما.

قمنا بتقسيم العمل إلى ثلاثة فصول

الفصل الأول: سنتطرق فيه إلى دراسة عامة حول البلازما وذلك بتعريفها وذكر أنواعها والتركيز على بعض خصائصها ومعاملاتها ونتعرف على أهم قوانين التوازن الثرموديناميكي وكذلك حالات التوازن في البلازما.

الفصل الثاني: يتضمن عموميات على الأطياف وذلك بتعريفه وذكر أنواعه وأهم أسباب التعريضات والطرق المستعملة لتحليل الأطياف.

الفصل الثالث: والذي يمثل الجزء العملي يتضمن عرض للبرنامج العددي المعتمد عليه في هذه الدراسة وعرض النتائج المتحصل عليها ومناقشتها.

الفصل الأول:

عموميات حول البلازما و قوانين التوازن

I-البلازما:

I-1-تعريف:

عموماً يمكن وصف البلازما بأنها جملة إحصائية تحمل شحنات متحركة [1]. إن معظم المواد التي تشكل الكون هي في حالة بلازما (ما يقارب 99%) وتشارك كل أنواع البلازما بأنها تخضع وتفسر بنفس الآليات وتديرها نفس القوانين الفيزيائية وذلك باختلاف مقادير وسائطها. كما تعرف البلازما بالحالة الرابعة للمادة لكونها لا هي صلبة ولا هي سائلة ولا حتى غازية [2]. فهي عبارة عن تجمع لجسيمات متأينة، تتفاعل جماعياً بالقوى الكهرومغناطيسية بعيدة المدى، والمرتبطة بشحناتها وحركاتها [3].

I-2-تصنيف البلازما:

البلازما نوعان الباردة والساخنة

I-2-1-البلازما الباردة:

في هذا النوع من البلازما درجة حرارة الأيونات قريبة من درجة حرارة الغرفة وتكون أقل بكثير من درجة حرارة الإلكترونات (104-105 K) بالإضافة إلى ذلك كثافة الطاقة ومعدل التأين تكون أقل منها في حالة البلازما الحرارية. هذه البلازما تستخدم في الصناعة من أجل معالجة السطح. [4].

I-2-2-البلازما الساخنة:

هي بلازما تامة التأين وتعد الوسط الأساسي الذي يمكن أن تحدث فيه تفاعلات الاندماج النووي. [4]

I-3-بعض المقادير المهمة في فيزياء البلازما:

I-3-1-طول لاندو:

وهو الطول الحرج للتفاعل الثنائي Γ_0 :

$$K_{\beta}T = \frac{e^2}{r_0} \Rightarrow r_0 = \frac{e^2}{K_{\beta}T} \quad (1-I)$$

حيث:

K_β : ثابت بولتزمان.

T : درجة الحرارة المطلقة.

e : الشحنة الكهربائية.

يدعى هذا الطول أيضا بالبعد التقليدي للاقتراب الأدنى، يستخدم هذا الطول في تحليل ظواهر التصادمات،

وارتباطات الموضوع في البلازما. [3]

I-3-2-طول ديبي:

و هو الطول الحرج للتفاعل المتبادل الكلي، ويعرف ب: [3]

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{K_\beta T}{4\pi e^2 n_e}} \approx 69 \sqrt{\frac{T}{n_e}} \quad (2-I)$$

(cgs)

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

T : درجة الحرارة وحدتها الكلفن.

عند معالجة أيونات البلازما باعتبارها ساكنة، فإن إلكترونات البلازما تشكّل سحابات شحنية حول الأيونات،

تُحجب الشحنة الأيونية عند بعد يساوي تقريبا طول ديبي. [5]

لطول ديبي أطوال نموذجية تتراوح بين 1 و $10m\mu$ ، و عموما فإن للتفاعلات الجماعية دورا أكثر أهمية من

التفاعلات الثنائية في ديناميك البلازما. [3]

I-3-3-طول موجة ديروغلي الحرارية:

يعطي هذا الطول تقديرا للطبيعة الموجية الكمية لجسيمات البلازما [5] ويعرف ب:

$$\lambda = \left(\frac{2\pi\hbar}{mkT} \right)^{1/2} \quad (3-I)$$

حيث m : كتلة الجسيم و $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ثابت بلانك المختزل

I-3-4-درجة تأين الغاز:

تكون الغازات في حالاتها العادية عازلة كهربائياً، وتصير موصلة إذا أخضعت لحقول كهربائية شديدة . تعطى

درجة تأين الغاز ب:

$$\alpha = \frac{n}{n_0 + n} \quad (4-I)$$

حيث :

n_0 : الكثافة العددية للجسيمات المحايدة المشحونة .

n : الكثافة العددية للإلكترونات (الأيونات الموجبة للشحنة).

تتغير α عملياً بين 10^{-4} و 1.

تقسم الغازات حسب درجة تأينها إلى قسمين: غازات ضعيفة التأين وغازات شديدة التأين . [6]

I-3-5-نصف قطر الكرة الأيونية:

و هو يميز البعد المتوسط بين أيونين؛ و يستخرج من: [3]

$$\frac{4}{3}\pi r_i^3 = 1 \Rightarrow r_i = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi n_i}} \quad (5-I)$$

حيث n_i الكثافة الأيونية.

I-3-6-نصف قطر الكرة الإلكترونية:

و هو يميز البعد المتوسط بين إلكترونين؛ و يستخرج من: [3]

$$\frac{4}{3} \pi r_e^3 n_e = 1 \Rightarrow r_e = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi n_e}} \quad (6-I)$$

حيث n_e الكثافة الإلكترونية

I-3-7- تردد البلازما:

تردد البلازما يمثل مقلوب الزمن الذي تحتاجه البلازما لإعادة التعادل الكهربائي (مجموع الشحنات = صفر) حيث أن جسيمات البلازما في الحالة الاعتيادية مرتبة بشكل بحيث يكون المجموع الجبري للشحنات = صفر، أي أن هناك مجالات كهربائية تحافظ على التعادل الكهربائي، وحيث أن الإلكترونات تكون لها تحريكه كبيرة بسبب كتلتها الصغيرة، فإذا اقتطفنا جزء من البلازما فانها لفترة قصيرة جداً قد تكون البلازما فقدت تعادها بسبب هذه الحركة المسببة للمجالات الكهربائية التي تحاول إرجاعها إلى حالتها المتعادلة وهذه تستغرق فترة من الزمن تعتمد على كثافة البلازما فهي تقل عند زيادة الكثافة وبالتالي فإن تردد البلازما يزداد بزيادة الكثافة [7].

➤ التردد الأيوني للبلازما:

$$\omega_{pi} = \sqrt{\frac{4\pi(Ze)^2 n_i}{m_i}} \quad (7-I)$$

حيث Ze شحنة الأيون، n_i الكثافة الأيونية، m_i كتلة الايون

➤ التردد الإلكتروني للبلازما :

$$\omega_{pe} = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n_e}{m_e}} \quad (8-I)$$

حيث : e شحنة الإلكترون، n_e الكثافة الالكترونية، m_e كتلة الالكترون

I-4-ملاحظات:

- إن تردد البلازما يعتمد على كتلة الإلكترون باعتباره أكثر تحريكه من الايونات.
- إن تردد البلازما يعتمد على كثافتها، لذلك كلما زادت الكثافة زاد التردد بسبب قلة الفترة الزمنية التي تحتاجها البلازما الكثيفة لإعادة التعادل الكهربائي .
- إن التردد للبلازما يقع ضمن الموجات أي أن تردداتها عالية. [7]

I-5-معامل التزاوج:

لمعرفة التزاوج بين جسيمات البلازما في الجملة، فإننا ننظر إلى معامل التزاوج، وهو يمثل النسبة بين الطاقة الكامنة

المتوسطة والطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات. [5]

$$\Gamma = \frac{\text{الطاقة الكامنة المتوسطة للجسيم لتفاعله مع جسيم مجاور}}{\text{الطاقة الحركية المتوسطة له}}$$

$$\Gamma_{ii} = \frac{(Ze)^2}{k_B T r_i} \quad \text{للأيونات} \quad \Gamma_{ee} = \frac{e^2}{k_B T r_e} \quad \text{فهو للالكترونات}$$

$$\Gamma_{ei} = \frac{r_e + r_i}{2} \quad \text{حيث} \quad \Gamma_{ei} = \frac{Ze^2}{k_B T r_{ei}} \quad \text{وبين الالكترونات و البروتونات}$$

حيث k ثابت بولتزمان ، T درجة الحرارة المطلقة

عندما يكون $\Gamma \ll 1$ فإن للطاقة الحركية الدور الأكبر في وصف سلوك الجسيمات؛ أي أن التزاوج بين هذه

الجسيمات ضعيف [5]، ويقال عن البلازما أنها مثالية [8]

وعندما يكون $\Gamma \geq 1$ فإن ذلك يدل على التزاوج الشديد [8].

I-6- شروط الغاز المتأين ليكون في حالة البلازما:

$\lambda_D \ll L$: هذا شرط يتطلبه حالة السلوك الجماعي، حيث يجب أن يكون طول ديبي أقل بكثير من المنظومة. تصغر منظومة أشباه الموصلات لزيادة الكثافة مما يؤدي إلى تقليل طول ديبي فيحقق شرط من شروط البلازما، ولذلك تعمل هذه الدوائر مثل الدايدود. وعلى هذا الأساس يجب أن تكون كثافة الجسيمات المشحونة كبيرة جدا.

$ND \gg 1$: كرة ديبي يجب أن تحتوي على عدد كبير جدا من الجسيمات المشحونة وهذا ما يتطلبه السلوك الجماعي للبلازما.

$\omega t > 1$: هذا الشرط له علاقة بالتصادم أي أن زمن التصادم t يجب أن يكون أكبر من الزمن الذي تحتاجه البلازما لإعادة التعادل الكهربائي حيث أن التصادمات بين مكونات الغاز هي التي تحدد حركة الغاز. أما في البلازما فإن الذي يحدد حركتها هو التصادم والقوى الكهرومغناطيسية (قوى كولوم) وكلما قل تأثير التصادم اقترب الغاز من حالة البلازما. [7]

I-7- خصائص البلازما:

لعل أهم خصائص البلازما الجديدة بالذكر، موصليتها الكهربائية العالية؛ حتى أن الحقول الكهربائية الخارجية تلغى في وسط البلازما بفعل التيارات المتحرضة. [9]

➤ **التعادل الكهربائي في البلازما :**

إحدى الصفات المهمة للبلازما هي نزعتها لتبقى متعادلة كهربائيا، أي ميلها إلى توازن الشحنة السالبة مع الشحنة الموجبة في كل جزء من الحجم العيني؛ و أن أي اختلال بسيط في كثافات الشحنة يسبب نشوء قوى كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التعادل حيثما أمكن. من جهة أخرى إذا تعرضت البلازما إلى حقل

كهربائي خارجي، فإن كثافات الشحن الفراغية ستنظم نفسها بحيث يحجب الجزء الأعظم من البلازما من تأثيرات هذا الحقل [10].

➤ ذبذبات البلازما وحركة الموجة:

ومن صفاتها المهمة أيضا قابليتها لحمل الذبذبات وبث الموجات. و يمكن أن تحدث لأنواع مختلفة من السلوك التذبذبي، إلا أن هذه الذبذبات قد تكون معقدة جدا بسبب الميزة غير الخطية للمعادلات الهيدروديناميكية لها. ولقد نوقشت الذبذبات الكهروستاتيكية في البلازما لأول مرة من قبل Tonks و Langmuir [11]. وفي الحقيقة هناك نوعان محتملان من الذبذبات الكهروستاتيكية، ذبذبات التردد العالي التي تكون سريعة جدا، إذ يصعب على الأيونات الثقيلة أن تتبعها، و ذبذبات الأيونات التي تكون بطيئة جدا، بحيث أن الإلكترونات تتوزع دائما حول الأيونات بنمط إحصائي. [10]

I-8-تغيرات سلم البلازما:

تشمل البلازما مجالا عريضا من السلام، في الطول و الكثافة و درجة الحرارة.

- الأطوال : 10^{-10} إلى 10^{+25} cm.
- الكثافة الكتلية : 10^{-27} إلى 10^{+10} g/cm⁻³
- الكثافة العددية : من أقل من 10^{-4} إلى أكثر من 10^{+30} cm⁻³
- درجة الحرارة (الطاقة الحرارية) : من درجة قريبة من درجة حرارة الصفر المطلق (الحالات البلورية)، إلى أكثر من 10keV.
- الحقول الكهرومغناطيسية: من أقل من 10^{-6} إلى 10^{+6} gauss.
- أزمنة حياة البلازما: من البيكوثانية (pSec) إلى الملائحية. [12]

I-9-الإشعاع في البلازما:

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

[3]

تعد الخطوط الطيفية للامتصاص والانبعاث مفيدة لتشخيص الكثافة ودرجة الحرارة في البلازما. [13]

I-10-أمثلة عن البلازما:

أبسط أنواع البلازما بلازما الهيدروجين، و هي مؤلفة من إلكترونات و بروتونات حرة، بتراكيز متساوية [14]. و عموماً، فإن كل شيء طاقي في الكون، يمتلك بلازما مرتبطة به [15]، إذ أن 99.999% من حجم المادة الملاحظة في الكون توجد في حالة بلازما [16]، ولعلها تشكّل أغلب العالم غير المرئي [12].

I-11-معالجة البلازما:

مع أن التحليل النظري للبلازما بسيط نسبياً، ذلك أن القوى بين الجسيمات معروفة بدقة، و الوصف بالميكانيك التقليدي ممكن عموماً، إلا أن دراستها لم تتطور إلا مؤخراً. تستحيل معالجة البلازما بشكل كاف معالجة عينية بحتة، بل من الضروري استخدام النظرية الحركية (kinetic theory).

إن التعقيد في حالة البلازما يشتت أشكالها، قاد إلى عدد كبير من طرائق التحليل النظري المختلفة تماماً [14].

هناك ثلاث صيغ تقريبية توفر لنا النظرة الهامة لما يحدث داخل البلازما:

• الصيغة الأولى هي نظرية التوازن (equilibrium theory)، و هي تستند إلى افتراض أن

التصادمات بين الجسيمات المشحونة تكون كافية لتجعل توزيع الجسيمات في كيان البلازما خاضعاً

لتوزيع بولتزمان -ماكسويل السري:

$$N_j(v)dv_x dv_y dv_z = N_{0j} \left(\frac{m_p}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} \exp\left(\frac{-m_p v^2}{2k_B T} \right) dv_x dv_y dv_z \quad (8-I)$$

حيث: N_{0j} : عدد الجسيمات من الصنف j لوحدة الحجم في البلازما و $v_x v_y v_z$ مركبات السرعة و m_p كتلة الجسيمات من النوع j و T (بالكلفن) درجة الحرارة المطلقة .

- الصيغة الثانية هي نظرية المدار (orbit theory)، وهي تعالج حركة الجسيمات المشحونة في حقول كهربائية و مغناطيسية مفترضة (supposed)، قد تكون توابع للموضع و الزمن . و تمثل هذه النظرية تقريبا جيدا لحركة جسيم في البلازما عندما لا تؤدي التصادمات بين الجسيمات الدور الرئيس، أي عندما يكون متوسط المسار الحر للتصادمات كبيرا مقارنة بالأبعاد المميزة للمدار؛ و تعالج التصادمات في هذه الحالة كاضطراب (perturbation).

- الصيغة الثالثة هي المعالجة الهيدرومغناطيسية؛ حيث تستخدم المعادلات الكهرومغناطيسية الكلاسيكية (معادلات ماكسويل)، و تدمج مع المعادلات الكلاسيكية لحركة المواعع ، و هي معالجة عينية للبلازما؛ و تعد تقريبا جيدا عندما يكون متوسط المسار الحر للتصادمات صغيرا جدا بالنسبة إلى المسافات الفيزيائية المهمة في منظومة البلازما. [10]

بفضل تطور علم الفلك الراديوي، ثم الأبحاث الفضائية، أمكن استغلال بلازما المحيط الأرضي : الأيونوسفير و المغنطوسفير و الرياح الشمسية و هالة الشمس . . بصيغة أعم، يمكن القول أن البلازما اليوم تؤدي دوراً جدياً مهم في كل الفيزياء الفلكية و الكونية، ذلك أن الجزء الأكبر من الكون مؤلف من مادة في حالة بلازما. [14]

I-12- نسبة التأين ومعادلة ساها Saha equation :

وهي معادلة تبين نسبة التأين المتوقعة لأي نوع من الغاز عند درجة حرارة معينة . حيث أن معادلة ساها تبين لنا

النسبة بين الكثافة العددية للجسيمات المشحونة إلى الكثافة العددية للجسيمات المتعادلة للغاز في حالة التوازن

الحراري. [7]

$$\frac{n_i}{n_n} = 2.4 \times 10^{21} \frac{T^{3/2}}{n_i} \exp\left(-\frac{u_i}{k_B T}\right) \quad (8-I)$$

حيث :

n_i : الكثافة العددية للجسيمات المشحونة لوحدة الحجم (m-3)

n_n : الكثافة العددية للجسيمات المتعادلة للغاز (m-3) .

$\frac{n_i}{n_n}$: نسبة التأين.

T : درجة حرارة الغاز.

K_B : ثابت بولتزمان .

u_i : طاقة تأين الغاز (وهي الطاقة اللازمة لإزالة الإلكترون من الغلاف الخارجي للذرة).

وهذه النسبة ضئيلة ولكنها موجودة في ظروف المختبر وفي ارتفاع درجة الحرارة تزداد النسبة بعد ان تتجاوز درجة

الحرارة طاقة التأين وعندما تكون n_i أكبر بكثير من n_n تسمى البلازما المتأينة كلياً، وهذه الحالة هي التي جعلت

تكون الأجسام الفلكية في حالة بلازما حيث يوجد الهيدروجين بدرجات حرارية عالية . إن تكون البلازما في هذه

الظروف هي وراء تسميتها بالحالة الرابعة للمادة . إن البلازما هي الحالة الأكثر شيوعاً للمادة في الكون حيث أن

99% من المادة هي في حالة البلازما. إن معظم المادة الموجودة في الكون تكون في درجات حرارية عالية جداً

بحيث تسمح لحدوث عمليات التأين لذرات المادة الكونية عند عمليات التصادم المستمرة. [7]

ملاحظات حول المعنى الفيزيائي لمعادلة ساها:

- نسبة التأين تزداد كلما زادت درجة الحرارة .

- زيادة تكون الجسيمات المشحونة بارتفاع درجات الحرارة .
- نقصان الكثافة العددية للجسيمات المتعادلة بارتفاع درجات الحرارة .
- الزيادة في كثافة الجسيمات المشحونة تكون على حساب النقصان في الكثافة العددية للجسيمات المتعادلة وتكون هذه الزيادة مضطربة بارتفاع درجة الحرارة وتجاوزها طاقة التأين (وهذا سبب وجود

[7]. (exp

I-13-البلازما الفيزيائية:

يعتبر وصف البلازما على أنها وسط متعادل من الجسيمات سالبة و موجبة الشحنة، وصفاً ضعيفاً تعوزه الدقة وذلك لأن

تعريف البلازما لا بد أن يتضمن ثلاثة معايير مما يعطى دقة أكثر وهي:

- **تقارب البلازما (plasma approximation):** الجسيمات المشحونة يجب أن تكون متقاربة بدرجة أن لكل جسيم له أن يؤثر على الكثير من الجسيمات القريبة بدلاً من مجرد التفاعل مع أقرب الجسيمات (والتأثير الجماعي هي الصفة المميزة للبلازما). تقارب البلازما يكون له تأثير أقوى كلما كانت أعداد الإلكترونات داخل المجال المؤثر (يسمى كرة ديبي) لها نصف قطر من الجسيمات الكبيرة يسمى (طول ديبي). معدل عدد الجسيمات بمجال ديبي هو قيمة أو مقدار البلازما ويرمز على شكل λ " وهو حرف لامدا بالأبجدية الإغريقية.

- **حجم التفاعلات في البلازما (interaction size):** حيث أن نصف قطر ديبي Debye صغير بالمقارنة بالحجم الطبيعي للبلازما الموجودة في الكون. وهذا يعنى أن مقدار التفاعلات الحادثة في قلب كتلة البلازما لها أهمية كبيرة عنها على حواف البلازما آخذين في الاعتبار تأثير ما يحيط بالبلازما من الوسط المحيط بها.

• تردد البلازما (plasma frequency) : تردد الإلكترونات في البلازما هو كبير بالمقارنة بتردد

الإلكترون في حالته المتعادلة(ويقاس التردد البلازمي للإلكترون ويسمى موجات البلازما أو موجات

لانغموير تقيس كثافة الشحنة في محيط موصل مثل البلازما والمعادن. وينتج من الكمية في هذا التردد

(البلازمون) أكبر من تردد الإلكترون بالحالة الطبيعية(بقياس موجات التصادم بين الإلكترونات

والجسيمات المحايدة)بمذه الحالة البلازما تتصرف بحماية شحنتها بسرعة(شبه محايد هو تعريف آخر

للبلازما). [17]

14-I-قوانين التوازن:

1-14-I-قانون بلانك:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1} \quad (9-I)$$

يعطي هذا القانون الطيف الإشعاعي للجسم الأسود

2-14-I-قانون التوزيع السكاني لستيفان بولتزمان:

$$\frac{n_i}{n_j} = \frac{g_i}{g_j} \exp\left(\frac{\Delta E_{ij}}{T}\right) \quad (10-I)$$

حيث:

n_i, n_j : الكثافة العددية للجسيمات في المستوي i, j .

g_i, g_j : درجة التوالد i, j .

ΔE_{ij} هو الفرق في الطاقة بين المستويات.

3-14-I- قانون توزيع السرعات لماكسويل_بولتزمان:

$$F(v)d(v) = 4\pi v^2 \left(\frac{m_e}{2\pi T}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{m_e v^2}{2k_B T}\right) \quad (11-I)$$

4-14-I- قانون صاها:

$$\frac{n_i}{n_n} = 2.4 \times 10^{21} \frac{T^{\frac{3}{2}}}{n_i} \exp\left(-\frac{u_i}{k_B T}\right) \quad (12-I)$$

حيث :

n_i : الكثافة العددية للجسيمات المشحونة لوحدة الحجم (m-3).

n_n : الكثافة العددية للجسيمات المتعادلة للغاز (m-3) .

$\frac{n_i}{n_n}$: نسبة التأين.

T : درجة حرارة الغاز.

K_B : ثابت بولتزمان .

u_i : طاقة تأين الغاز (وهي الطاقة اللازمة لإزالة الالكترتون من الغلاف الخارجي للذرة).

الفصل الثاني:

المطيافية والطرق التجريبية لتسجيل

الأطياف الذرية

II- مقدمة:

يهتم علم الأطياف Spectroscopy بدراسة التداخل بين المادة والإشعاع الكهرومغناطيسي والذي يمتد من أشعة.

غاما العالية الطاقة إلى موجات الراديو المنخفضة الطاقة جدا مرورا بالأشعة السينية وأشعة المايكروويف والأشعة فوق البنفسجية والمرئية وتحت الحمراء وهناك عدة اجاث تم في هذا الايطار. [18-21]

تعتبر طرق التحليل الطيفي من أهم طرق التحليل المباشرة نظرا لسهولة ودقتها وحساسيتها العالية وتطبيقاتها المتعددة، تعتمد هذه الطرق على الامتصاص وانبعاث الطاقة الإشعاعية وأدى بتفسير هذه المعلومات ويمكن الحصول على معلومة كمية ونوعية، فمن الناحية النوعية تستخدم مواقع الخطوط أو الحزم الامتصاصية و الانبعاثية التي تظهر على الطيف الكهرومغناطيسي وهي دليلا على وجود عناصر خاصة. أما من الناحية الكمية فيمكن تقدير تركيز المكونات في قياس شدة خطوط الامتصاص والانبعاث حيث تعطي المعلومات التالية عن نسبة تواجد العناصر أو درجة حرارة الوسط. [19]

II-1- تعريف الأطياف:

هو مجموعة الأطوال الموجية المنبعثة من أحد العناصر الكيميائية بعد إثارته بارتفاع درجة الحرارة إلى درجة التوهج حيث استطاع بوهر عام 1913 وضع نظرية لذرة الهيدروجين والتي بموجبها فسر الطيف المنبعث من الذرة، ولذلك فإن الطيف الذري نوعان:

• طيف ذري انبعاث Emission atomic Spectrin .

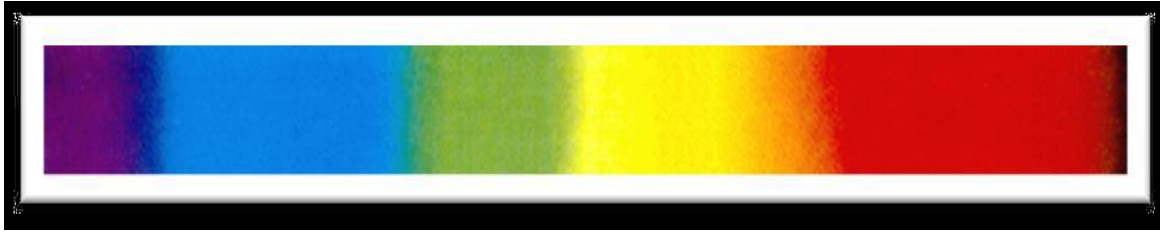
• طيف ذري امتصاص Absorption atomic Spectrin [20].

II-3- أنواع الأطياف الذرية:

إن الطيف المرئي يتكون من الألوان السبعة، ويمكن رؤيته بالعين المجردة وينقسم إلى نوعين:

II-3-1- طيف الانبعاث (الإصدار) :

يتم الحصول على طيف الإصدار بإثارة الذرات بوسائل مختلفة (حرارية طيف اللهب)، فالطاقة الممتصة تجعل الالكترونات ترتقي من وضع الأرضي إلى وضع آخر مهيج أعلى طاقة، وعند عودتها إلى وضع الأرضي، تحرر طاقة على شكل ضوء (طيف إصدار) من المعروف أن الالكترونات المهيجة لها عمر قصير، ويمكن من جهة آخر أن يكون لها أعمار طويلة حيث يستمر معها إصدار الضوء. [21]



الشكل رقم II. 1: يوضح طيف الإصدار. [20]

وهناك نوعان من طيف الإصدار هما الطيف المستمر والطيف المتقطع

➤ الطيف المستمر:

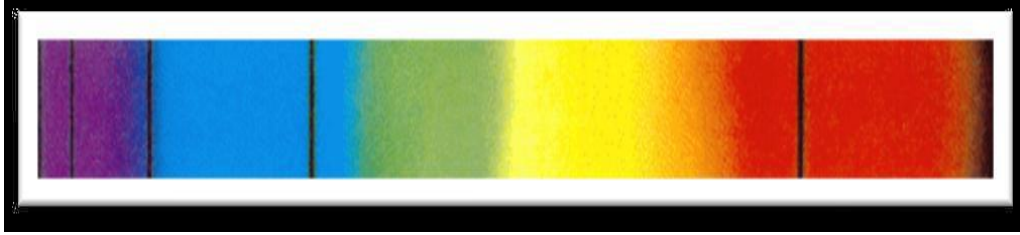
ويتكون الطيف المستمر من حزمة غير متقطعة من ألوان وأطوال جميع الموجات المرئية، وذلك مثل الطيف الذي تعطيه أغلب المواد الصلبة عند درجات حرارة عالية "أبيض ساخن"، فلا يمكن تحديد عدد غياب لون الفراغات الداكنة عند تحليل الضوء بالمطياف، ويمكن استخدام العناصر والمركبات ذات درجات الانصهار العالية كمصادر ملائمة للطيف المستمر. [20]

➤ الطيف المتقطع:

يتكون من نمط خطوط مضيئة على أرضية داكنة ويسمى بخط الطيف المرئي للأطياف الخطية. [20]

II-3-2- طيف الامتصاص:

يتم الحصول على طيف الامتصاص من خلال تمرير ضوء صادر من مصدر مستمر خلال غاز او محلول مخفف للعناصر المطلوب تحليلها، ويتكون طيف الامتصاص من خطوط مظلمة متتالية تتراكب على الطيف المستمر لمصدر. [21]



الشكل رقم II. 2: يوضح طيف الامتصاص. [20]

II-4- التعريضات وأشكال الخطوط:

تعتبر التعريضات الطيفية من بين أهم الطرق المستخدمة من أجل تحديد خصائص الأوساط (غاز أو بلازما) حيث أن هذا الطيف ليس رقيقاً بل هو عرض ناتج عن عدة أسباب. [20،22]

II-4-1 دراسة بعض أسباب تعريضات الخطوط الطيفية:

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

✓ التعريض بواسطة الإشعاع: التعريض الطبيعي

✓ التعريض بواسطة فعل دوبلر.

✓ التعريض بواسطة التصادمات.

➤ التعريض الطبيعي:

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

كمياً: ناتج عن ترتيبات في مستويات الطاقة. وهذا راجع إلى متوسط الحياة. حيث أننا لا نستطيع تحديد الزمن

والطاقة في أن واحد (مبدأ الارتياب لهيزنبرغ).

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

الذرات تستطيع أن تؤثر على الانتقال من حالة (a) إلى الحالة المثارة (b) بطاقة منخفضة، الحالة (a) لا يمكن اعتبارها حالة مستقرة و الخطوط الطيفية غير متناهية الدقة لكن لديها توزيع لتواترها، واحتمال العثور على ذرة

تصدر في حالة j تعطى بالعلاقة: [23،24]

$$P_j = \Psi_j(\mathbf{r}, t) \times \Psi_j \times \exp(-\gamma t) \quad (2 - II)$$

$\Psi_j(\mathbf{r}, t)$: الدالة الموجية التي تصف حالة الذرة عند الحالة المثارة j .

γ : يمثل معدل الانبعاث.

الدالة $\Psi_j(\mathbf{r}, t)$: يمكن التعبير عنها بجزأين أحدهما موضعي والأخر زمني علي النحو التالي:

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

حيث E_j : طاقة الذرة عند الإصدار في حالة j .

بفرض أن الاهتزاز يبدأ عند $t=0$ وتوزيع الطاقة يعطى بالعلاقة التالية:

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

ω : التواتر

باستعمال تحويل فوري نجد:

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

ω_0 : التواتر الطبيعي للمشع.

دالة التوزيع تعطى بالشكل:

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{A^2}{(\omega - \omega_0) + \frac{\gamma^2}{4}} \quad (6-II)$$

شدة الإشعاع اللورنتزية تأخذ الشكل:

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

عرض نصف الخطوط يعطى بالمعادلة (8-II)

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

➤ تعريف دوبلر:

ناتج عن الحركة النسبية بين المرسل والمستقبل، و هو أول وصف دقيق قدمه رايلي 1889 حيث لاحظ ذرات

المصدر تتحرك بسرعة v تصنع الزاوية θ مع اتجاه الملاحظ ويكون الإشعاع بالتواتر ω حيث:

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

ω_0 : التواتر المتعلق بالمصدر.

c : سرعة الضوء في الفراغ.

ومن خلال العلاقة (9-II) نحصل على:

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{v}{c} \cos \theta = \frac{v}{c} \chi \quad (10-II)$$

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

$$\omega(v_\chi) dx = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{v_\chi^2}{v_0^2}\right) \frac{dv_\chi}{v_0} \quad (11-II)$$

نعرفها بالعلاقة v_0 : حيث

$$\frac{1}{2} m V_0^2 = kT$$

m : كتلة ذرات المصدر.

k : ثابت بولتزمان.

بوضع $\Delta\omega_D = \frac{v_0}{c}$ توزيع الشدة في خطوط الطيف من الانتقال $j \rightarrow i$ ، فنحصل على شكل دوبلر الغاوسي

وعبارته تأخذ الشكل التالي: [23]

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

$I(\omega)$: توزيع غوصيان التواتر ω .

➤ تعريف التصادمات:

إن السبب الرئيسي لتعريض خطوط الطيف هو الاضطراب الناجم عن تصادم بين جسيمات البلازما المشحونة والغير مشحونة (الذرات، الأيونات، الالكترونات.... الخ)، وفي هذه الحالة يحدث التعريض بواسطة التصادم يمكن تقسيمه إلى ثلاث فئات :

- **التعريض بالرنين:** ويكون ذلك بواسطة اضطراب الجزيئات الغير مشحونة (تفاعل ثنائي الأقطاب _ثنائي الأقطاب).

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

➤ تعريض ستارك:

سببه الاضطراب الناتج عن تصادم الجسيمات المشحونة (أيونات، إلكترونات) مع ذرات المصدر. ويتم

التعبير عن هذا التفاعل بواسطة تأثير حقل ضعيف أيوني إلكتروني مع ذرات المصدر ويعمل على اضطراب

مستويات الطاقة E الذرية لتصل أدنى المستويات. [23،25]

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

إذا كان الوسط ذو ضغط منخفض نسبياً فإن الطيف يأخذ الشكل اللورنتزي. [23]

II -5- الطرق المستعملة لتحليل الأطياف :

II-5-1- شدة الخطوط الطيفية:

➤ شدة الخطوط الطيفية الذرية:

وشدة الخط الطيفي الموافقة للانتقال من المستوى الأول إلى المستوى النهائي، وتتميز خطوط الطيفية ليس فقط

من جانب الترددات ولكن أيضاً من الشدة. تعطى بالعلاقة الكلاسيكية.

$$I_{if} = N_i A_{if} h \nu_{if} = N_i A_{if} h \frac{c}{\lambda_{if}} \quad (14-II)$$

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

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

ν_{if} : نبض هذا التجول (تردد).

N_i : الذرات المثارة في وحدة الحجم .

h: ثابت بلانك.

B(T): دالة التوزيع.

I_{if} : الشدة يعبر عنها بـ (w/m^3) .

➤ شدة الخطوط الطيفية الجزئية:

ليكن الانتقال من حالة تتميز بأعداد الكم (n', v', j') إلى حالة تتميز بأعداد الكم

(n'', v'', j'') وشدة الخطوط الطيفية المنبعثة خلال هذه المرحلة الانتقالية هي الطاقة المنبعثة في وحدة

الزمن 4π استراديانو تعطي المعادلة بـ:

$$I_{n'', v'', j''}^{n', v', j'} = h\nu_{n'', v'', j''}^{n', v', j'} A_{n'', v'', j''}^{n', v', j'} N(n', v', j') \quad (16-II)$$

حيث h : ثابت بلانك.

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

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

$\nu_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$: العدد الموجي للانتقال من (n', v', j') إلى (n'', v'', j'') بـ (cm^{-1})

$I_{n'', v'', j''}^{n', v', j'}$: الشدة يعبر عنها بـ (w/m^3) . [25]

II-5-2- تحديد درجة حرارة الإلكترون:

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

➤ نسبة الشدة بين الخطين:

نسبة الشدة بين الخطين: هذه الطريقة تتم بين إنتقالين بشرط وجود توازن حراري (توازن ترموديناميكي محلي)

بدراسة حرارة معينة.

وفقا للمعادلة (II.1) يمكننا أن نستنتج درجة حرارة الوسط باستخدام، الخطين (1) و (2) من نفس النوع.

$$\frac{I_{ij}}{I_{kl}} = \frac{g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}}{g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}} \exp\left(\frac{E_k - E_i}{kT}\right) \quad (17-II)$$

$$k_B T(ev) = \frac{(E_K - E_i)}{\left(\ln \left(\frac{I_{ij} \cdot g_k \cdot A_{kl} \cdot \lambda_{ij}}{I_{ij} \cdot g_i \cdot A_{ij} \cdot \lambda_{kl}} \right) \right)} \quad (18-II)$$

➤ طريقة الرسم التخطيطي لبولترمان :

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

$$I_{if} = \frac{hc}{\lambda} \frac{ng_i A_{if}}{B(T_{exc})} \exp \left(\frac{-E_i}{T_{exc}} \right) \quad (19-II)$$

حيث h : هو ثابت بلانك

C : هي سرعة الضوء في الفراغ .

$B(T_{exc})$: هي دالة التوزيع .

λ : هو الطول الموجي الموافق للانتقال .

A_{if} : احتمال الانتقال. [26]

الفصل الثالث

الدراسة الرقمية لطيف الكادميوم

III- مقدمة

في هذا الفصل اخترنا عنصر الكاديوم لنقوم بدراسة الأطياف النظرية له في البلازما، حيث يعرف هذا الأخير بأنه عنصر كيميائي له الرمز Cd والعدد الذري 48 في الجدول الدوري للعناصر. سمي نسبة إلى المعلم الفينيقي في اليونان القديمة. و أول من اكتشفه العالم الألماني فريدريشستروماير عام 1817، يعد عنصر فلزي لين قابل لسحب لونه أزرق يميل الى البياض يستعمل لطلي الفلزات الأخرى لحمايتها من الصدأ.

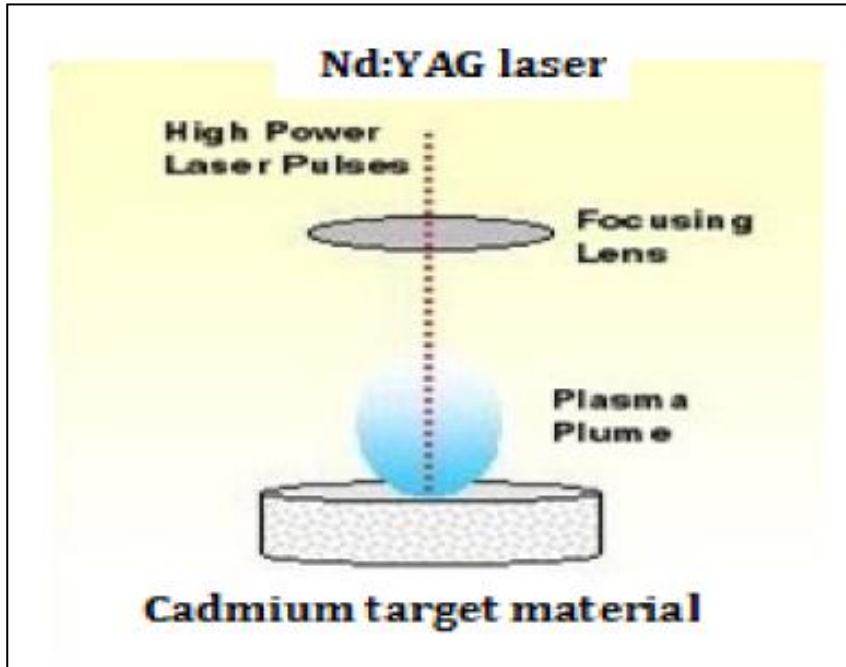
III-1- خواص الكاديوم:

- العدد الذري (أي عدد البروتونات في النواة): 48.
- الرمز الذري (في الجدول الدوري للعناصر): Cd.
- الوزن الذري الوسطي : 112.411 غ / مول.
- الكثافة : 8.69 غ / سم³.
- الطور عند درجة حرارة الغرفة : صلب.
- درجة الانصهار : 609.92 فهرنهايت (321.07 م°).
- درجة الغليان : 1412.6 فهرنهايت (767 م°).
- عدد النظائر (وهي عناصر تتشابه بالذرات و تختلف بعدد النيوترونات) : 48.
- النظائر الأكثر شيوعًا : Cd-114 (نسبة توافره في الطبيعة 28.73 %)، Cd-112)
نسبة توافره في الطبيعة 24.13 %، Cd-111 (نسبة توافره في الطبيعة 12.80 %)،
Cd-110 (نسبة توافره في الطبيعة 12.49 %)، Cd-113 (نسبة توافره في الطبيعة
12.22 %).

III-2- التجربة:

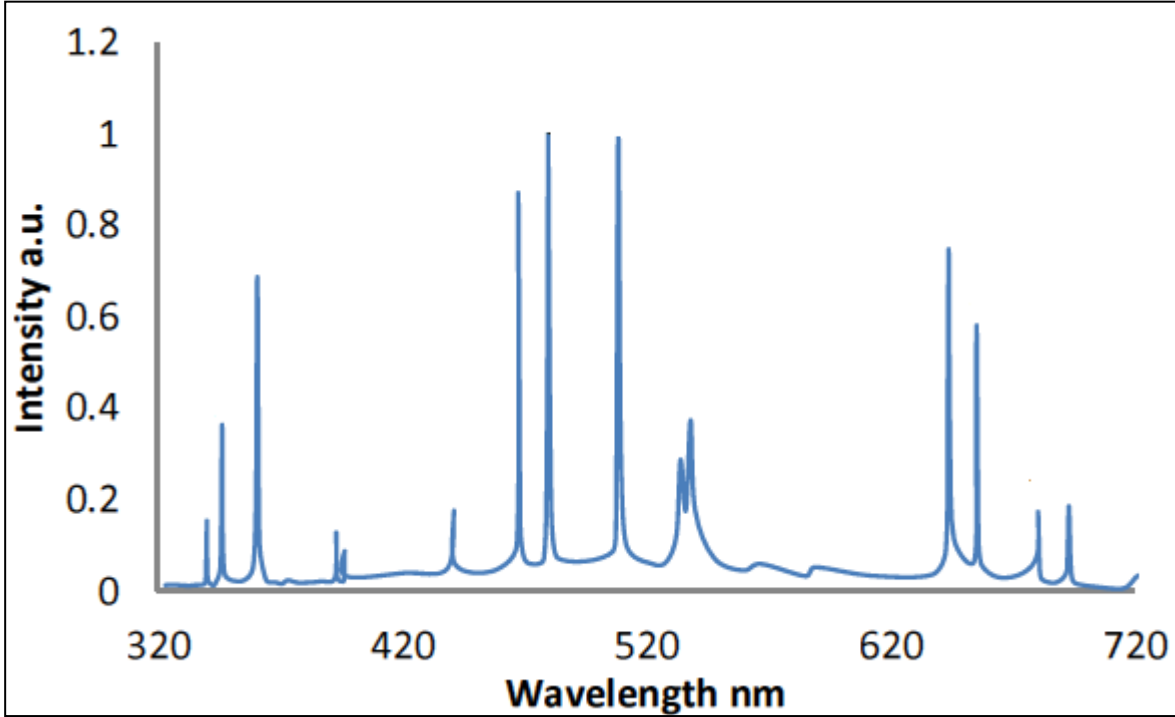
إن الليزر المستخدم في هذا التركيب التجريبي الموضحة بالشكل (III-1) ذو طول موجي 1064 نانومتر، بحيث يعمل هذا الليزر بنظام النبضات يتراوح زمن نبضة في حدود 9 نانو ثانية وكل نبضة من نبضات الليزر تحمل طاقة في حدود 75 ملي جول وهي طاقة كافية لإنزاع الجسيمات من العينة أي تتحول العينة من الحالة الصلبة إلى الغازية مباشرة وتشكل بما يسمى بسحابة البلازما، تتمدد سحابة البلازما المكونة من الغاز المتأين، وخلال فترة زمنية في حدود ميكروثانية تبدأ في الاسترخاء وتنتقل إلى المدرات الأرضية أي عودة إلى حالة الإستقرار المطلقة للفوتونات الضوئية التي تعرف باسم طيف الانبعاث " spectral émission " تسقط هذه الفوتونات الضوئية على عدسات تجمعها وتركزها على نظام الألياف البصرية والتي توصل ضوء البلازما إلى فتحة مدخل محلل الطيف الذي يعمل على تشتت الضوء حسب طوله الموجي. [27]

مخطط التجربة التي تحصلنا من خلالها على الطيف التجريبي



الشكل رقم III. 1: رسم تخطيطي يوضح عملية التسامي وتسجيل الطيف التجريبي.

الطيف التجريبي:



الشكل رقم III. 2: الطيف التجريبي للكاديوم.

III-3- طريقة استخراج الأطياف النظرية:

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

III-3-1- البرنامج العددي المعتمد في الحساب:

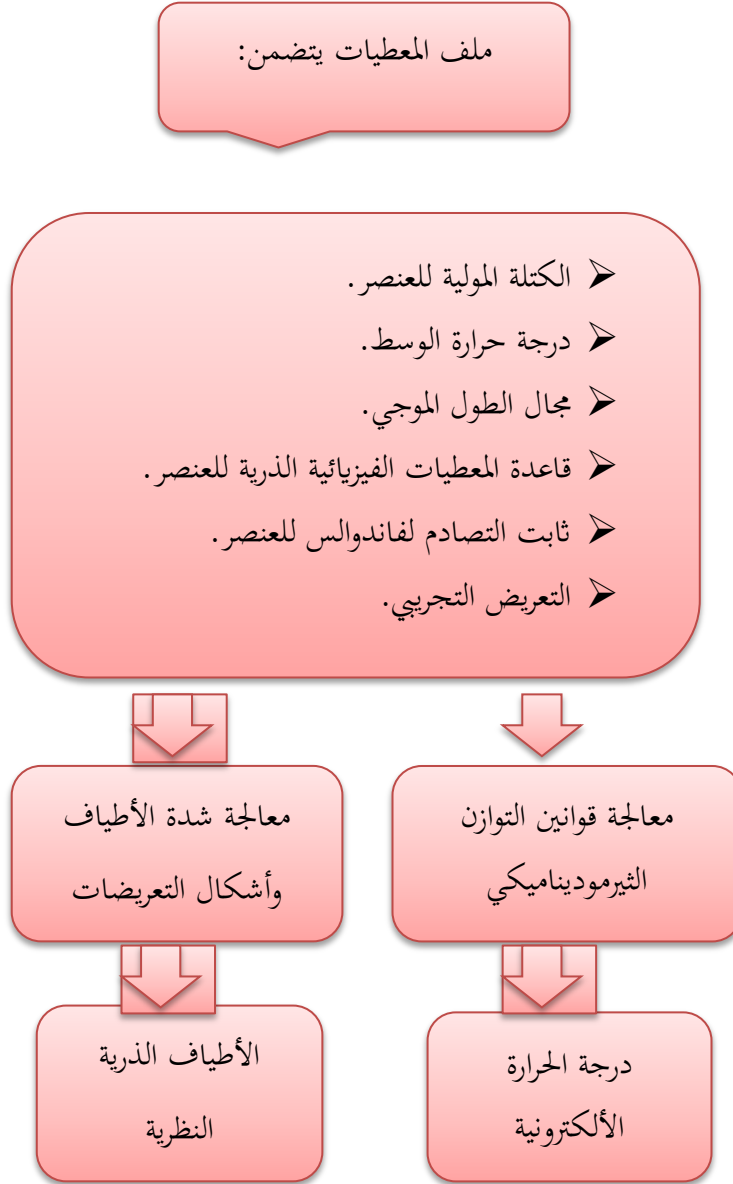
البرنامج العددي تم إعداده بلغة الفورترن وهو مفصل لحساب الأطياف النظرية وقائم على قاعدة المعطيات الذرية لأي عنصر وفق التصادمات (فاندر والز) وحسب مختلف أنواع التعريض لشكل الخط (الطبيعي، دوبلر، ستارك، و التجريبي).

مبني على المعادلات التالية:

✓ توزيع ماكسويل بولتزمان.

✓ توزيع بولتزمان.

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



الشكل رقم III. 3: مخطط البرنامج المستخدم

III-4- تحضير قاعدة معطيات الفيزياء الذرية لعنصر الكاديوم:

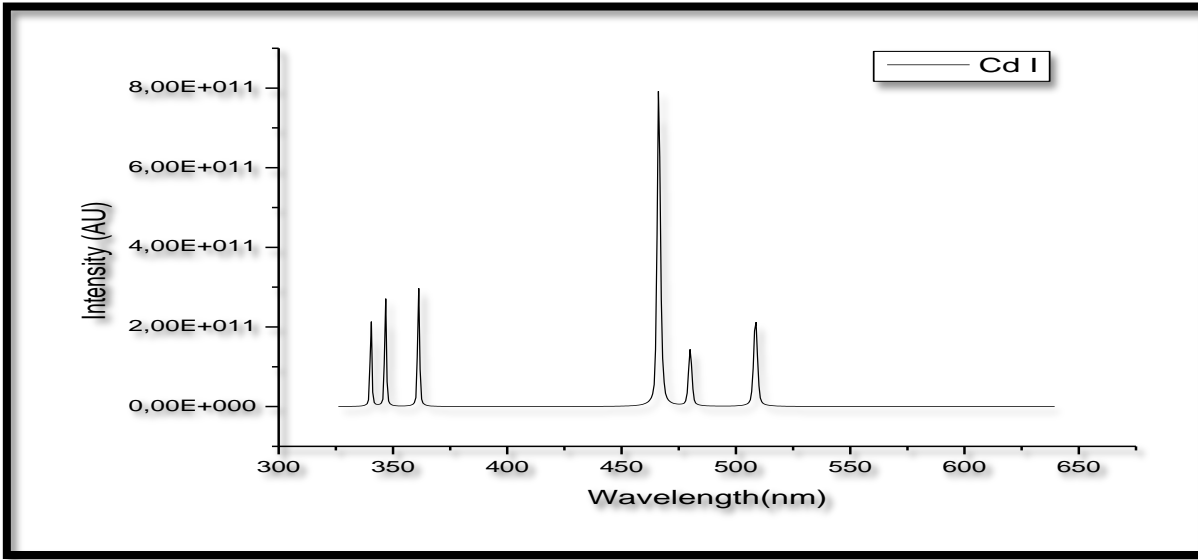
✓ نحضر قائمة معطيات الفيزياء الذرية في المجال المرئي للطيف.

✓ نقوم بإدخال البيانات اللازمة من أجل تنفيذ البرنامج والمتمثلة في الطول الموجي ودرجة الحرارة والتعريض

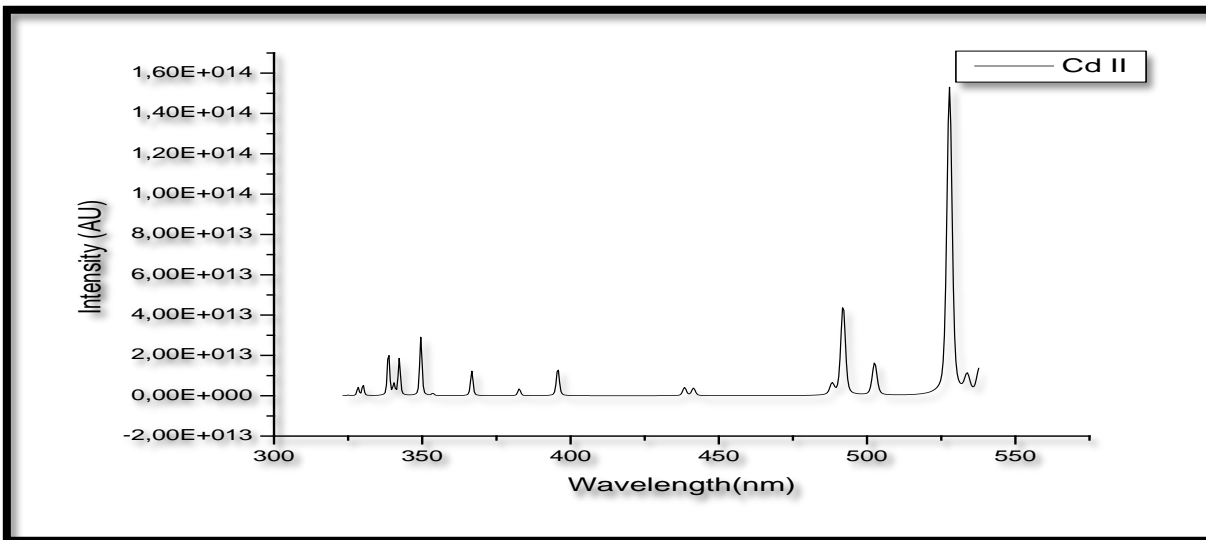
التجريبي.

III-5- رسم الأطياف النظرية للكاديوم وبعض الشوائب:

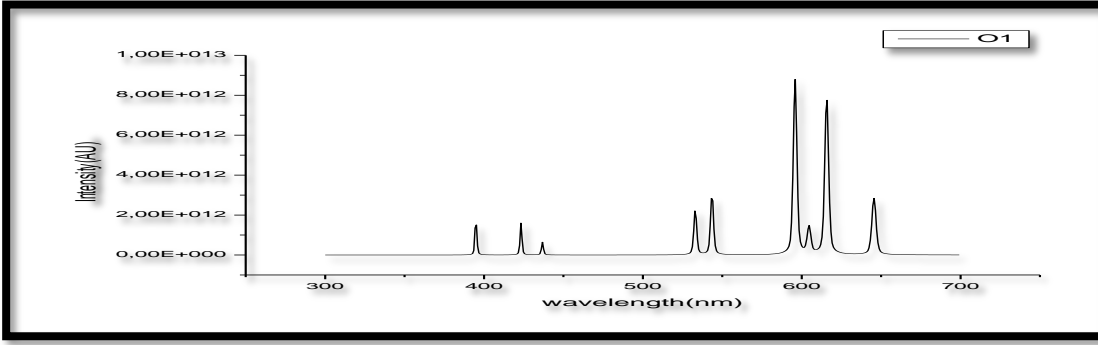
نقوم برسم الأطياف النظرية الخاصة بعنصر الكاديوم وبعض الشوائب الموجودة ، وذلك باستخدام قاعدة المعطيات الدولية المعترف بها والتابعة ل (النيست) [28] وذلك للحصول على المعلومات حول بعض العناصر (الكاديوم، الأكسجين ، النيتروجين) ولكل واحد منهم لديه حالة تأين خاصة به ، وتمثل هذه المعلومات المستخرجة في الطول الموجي و الطاقة بين المستويات.



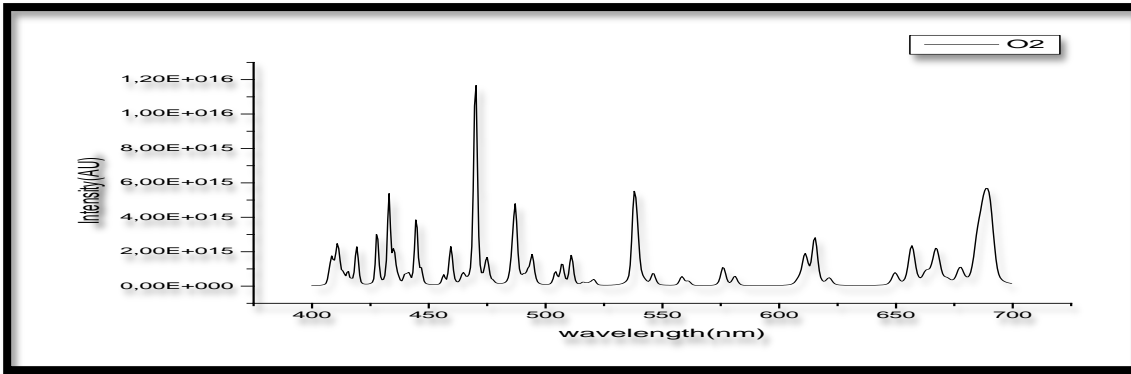
الشكل رقم III. 4 : الطيف النظري للكاديوم CdI.



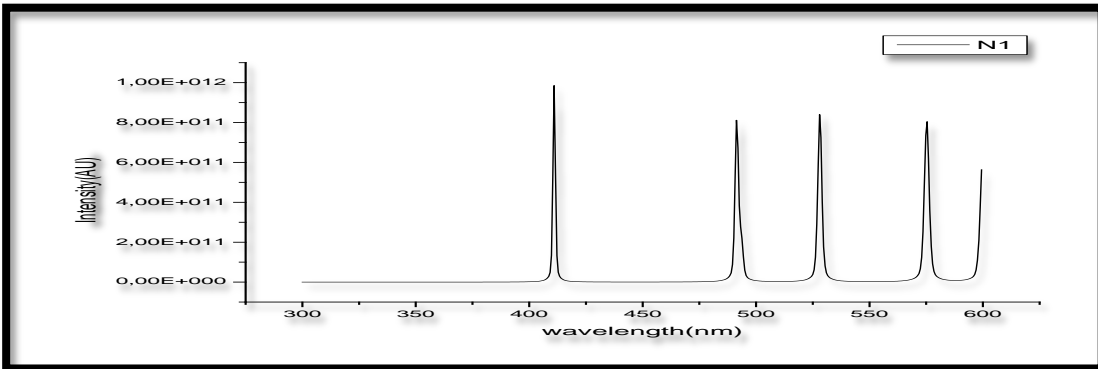
الشكل رقم III. 5 : الطيف النظري للكاديوم CdII.



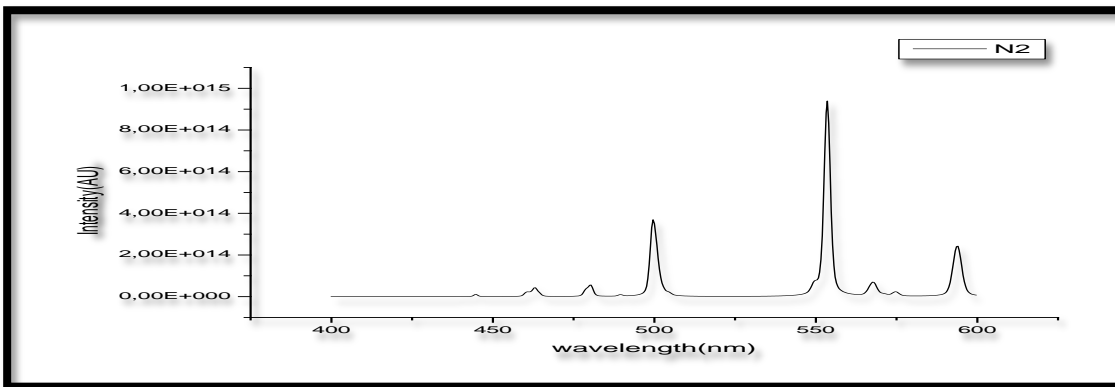
الشكل رقم III. 6 : الطيف النظري للأوكسجين OI.



الشكل رقم III. 7 : الطيف النظري للأوكسجين OII.



الشكل رقم III. 8 : الطيف النظري للنيتروجين NI.



الشكل رقم III. 9 : الطيف النظري للنيتروجين NII.

المقارنة وتحديد الأطياف :

بالمقارنة ما بين الاطياف النظرية و الطيف التجريبي للكاديوم تمكنا من تحديد الانتقالات الطيفية الموضحة

بالمجدول (1-III)

المجدول رقم III. 1 : التطابق ما بين الأطياف النظرية و الطيف التجريبي للكاديوم:

الرقم	طول الموجة (nm)	العنصر
1	340.365	CdI
2	346.619	CdI
3	361.051	CdI
4	467.815	CdI
5	479.991	CdI
6	508.582	CdI
7	533.748	CdII
8	537.813	CdII
9	395.723	CdII
10	438.451	CdII
11	394.759	OI
12	615.598	OI
13	645.598	OI
14	672.139	OII
15	690.787	OII

تحديد الأطياف المرتبطة بمستويات الطاقة المستقر:

من خلال نتائج المقارنة يتضح ان اغلب الاطياف التي تم تحديدها هي تابعة لذرة الكاديوم و هذا شي طبيعي

لان العينة التي تم دراستها هي لعنصر الكاديوم.

وعليه فانه تم تدوين بالجدول رقم (III-2) باقي تفاصيل انتقالات عنصر الكاديوم و بالاخص الشدات التجريبية و النظرية.

الجدول رقم III. 2: الشدات التجريبية و النظرية لاطياف عنصر الكاديوم والمعطيات الذرية

$I_T(\text{UA})$	$I_E(\text{UA})$	$\lambda(\text{nm})$	g_k	g_i	$A_{ki}(s^{-1})$	$E_K(\text{ev})$	$E_i(\text{ev})$	Pic
15	10	340.36521	3	1	7.7e+07	7.3752952	3.73365888	1
19	14	346.61996	5	3	1.2e+08	7.3767954	3.80087034	2
25	42	361.0509	7	5	1.3e+08	7.3790410	3.94603910	3
63	52	467.81500	3	1	1.3e+07	6.3831999	3.73365888	4
10	62	479.99121	3	3	4.1e+07	6.3831999	3.80087034	5
16	61	508.58214	3	5	5.6e+07	6.3831999	3.94603910	6

لتحديد مستويات الطاقة المستقرة بذرة الكاديوم نقوم بتطبيق قانون بولتزمان و ذلك بحساب مختلف نسب

الشدات ما بين جميع الانتقالات بالجدول (III-2). وبعدها نقوم بحساب نسبة الاختلال ما بين النسب النظرية و

النسب التجريبية النتائج المحصل عليها تم تسجيلها بالجدول رقم (III-3)

الجدول رقم III. 3: النسب التجريبية و النظرية لاطياف عنصر الكاديوم ونسب الاختلال

نسبة الشدة لطيفين	النسبة التجريبية (R^E)	النسبة النظرية (R^T)	نسبة الاختلال
R_{21}	1.44	1.26	12.50%
R_{32}	1.31	3.2	18.90%
R_{31}	4.2	1.66	60.47%
R_{43}	1.23	2.52	103.55%
R_{41}	5.2	4.2	19.23%
R_{42}	3.71	3.31	10.78%

عتمد تحديد الانتقالات الطيفية المستقرة على مدى استقرار التوزيع الالكتروني لكلي مستويات الطاقة الانطلاق و الوصول و الذي ينبغي ان يكون خاضع توزيع ماكسويل-بولتزمان.

ومن خلال نتائج الجدول رقم (III-3) اعلاه نلاحظ ان :

• النسبة $R_{42}(10.78\%)$ ذات نسبة اختلال اقل و بالتالي يمكننا اعتبار مستويات الطاقة المرتبطة

بالانتقالين الطيفيين هي مستقرة نسبيا اي مستوى طاقة الانطلاق الطيف رقم 2

$$(4d^{10}5s6s(^3S)1) \text{ رقم 4 و مستوى طاقة الانطلاق الطيف رقم } (4d^{10}5s5d(^3D)2)$$

• والنسبة $R_{21}(12.50\%)$ تاتي بالدرجة الثانية من ناحية نسبة الاختلال بعد النسبة

$R_{42}(10.78\%)$ حيث نلاحظ ان الطيف رقم 2 مشترك بينهما و اعتبرناه سابقا ان طاقة مستوى

الانطلاق لانتقاله مستقرة نسبيا، فبالاضافة الى ذلك يمكننا ايضا اعتبار ان مستوى طاقة الانطلاق

الطيف رقم 1 $(4d^{10}5s5d(^3D)1)$ هو مستقر نسبيا.

• كما نلاحظ ان باقي النسب تعكس مدى الاختلال الكبير عن حالة التوازن الثرموديناميكي و بالتالي

يمكننا اعتبار الانتقالات المرتبطة غير مستقرة ولا تخضع للتوزيع الاحصائي لماكسويل-بولتزمان.

وعليه يمكننا الاعتماد على الانتقالات الطيفية رقم 1 ، 2 و 4 في تطبيق قانون بولتزمان من اجل حساب بعض

وسائط بلازما باعتبارها مرتبطة بمستويات طاقة مستقرة نسبيا و ذلك في فرضية التوازن الثرموديناميكي المحلي

(ETL).

ومن بين أهم وسائط البلازما سنقوم فيما يلي بحساب درجة الحرارة و الكثافة الالكترونية للوسط الناتج.

حساب درجة الحرارة الالكترونية للوسط:

بالاعتماد على معطيات الجدول (III-2) وبتطبيق قانون بولتزمان التالي العلاقة (III-2) (III-3) نجد

$$\frac{I_4}{I_2} = \frac{g_4.A_4.\lambda_2}{g_2.A_2.\lambda_4} \exp\left(\frac{E_2-E_4}{k_B T}\right) \quad (1-III)$$

نجد ان:

$$K_B T = \frac{E_2 - E_4}{\ln\left(\frac{R_{42} \cdot g_2 \cdot A_2 \cdot \lambda_4}{g_4 \cdot A_4 \cdot \lambda_2}\right)} \quad (2-III)$$

$$R_{42} = \frac{I_4}{I_2} \quad \text{حيث:}$$

ومن خلال تعويض معطيات الجدول (2-III) في العلاقة (2-III) نجد $K_B T = 0.229 \text{ eV}$

وهي حوالي 2655 كالفن وهي مقبولة جدا و تقع ضمن الحدود الدنيا لدرجات الحرارة الالكترونية لبلازما المعادن.

حساب الكثافة الالكترونية للوسط:

يمكننا استنتاج الكثافة الالكترونية للوسط من خلال معادلة ساها التالية:

$$\frac{N_e N_i}{N_0} = 2.4 \times 10^{21} T^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{E_{ion}}{K_B T}\right) \quad (3-III)$$

حيث:

E_{ion} طاقة تايين الذرة

N_e الكثافة الالكترونية

N_i كثافة الايونات

N_0 كثافة الذرات الحيادية

وذلك بالاعتماد على المعطيات الذرية لخطي طيفين احدهم للكاديوم في الحالة الاساسية و الاخر للكاديوم المؤين مرة واحدة.

الجدول رقم (4-III): يتضمن معطيات الطيفين اللذين تم اختيارهم لتطبيق قانون ساها.

الجدول رقم III. 4: معطيات الفيزياء الذرية للانتقالات المختارة

I	$\lambda(\text{nm})$	$A_{Kf}(S^{-1})$	g_k	$E_K(\text{ev})$	العنصر
52	467.815	1.3×10^7	3	6.383	CdI
24	537.813	1.82×10^8	8	13.443	CdII

مع العلم ان طاقة تاين الكاديوم هي:

$$E_{\text{ion}} = 8.9937(\text{ev})$$

وكما لدينا سابقا درجة الحرارة الالكترونية التالية: $T = 0.229 \text{ (ev)}$ أي $T = 2655 \text{ K}$

ومن خلال حساب نسبة الشدة مابين طيفين لكل من الكاديوم في الحالة الأساسية و كذا الكاديوم المؤين مرة

واحدة نتحصل على معادلة بولتزمان التالية :

$$\frac{I_{CdI}}{I_{CdII}} = \frac{N_0 g_{mCdI} A_{mn} \lambda_{CdII}}{N_i g_{iCdII} A_{if} \lambda_{CdI}} \exp\left(\frac{E_{iCdI} - E_{mCdII}}{K_B T}\right) \quad (4\text{-III})$$

$$R = \frac{I_{CdI}}{I_{CdII}} = 2.167 \quad \text{حيث:}$$

وبالاعتماد على معطيات الجدول (4-III) والتعويض بمعادلة ساها التالية (5-III):

$$N_e = 2.4 \times 10^{21} T^{\frac{3}{2}} \times R \times \frac{g_{iCdII} A_{if} \lambda_{CdI}}{g_{mCdI} A_{mn} \lambda_{CdII}} \exp\left(\frac{E_{mCdI} - E_{iCdII} - E_{ion}}{K_B T}\right) \quad (5\text{-III})$$

نتحصل على الكثافة الالكترونية التالية للوسط:

$$N_e = 9.96 \times 10^{18} (\text{cm}^{-3}) \quad \text{اي} \quad N_e = 9.96 \times 10^{24} (\text{m}^{-3})$$

وهي كذلك ضمن حدود تصنيف بلازما الباردة الخاصة بالمعادن.

الخاتمة

في هذا العمل قمنا بالكشف عن مستويات الطاقة المستقرة في البلازما الغير متوازنة ثرموديناميكيًا وذلك لتحديد خصائص البلازما المتمثلة في درجة الحرارة والكثافة الالكترونية، ولتسهيل هذه الدراسة قسمنا عملنا الى ثلاثة فصول بداية بتعريف البلازما وذكر أنواعها وخصائصها وبعض مقاديرها المهمة وكذلك أهم قوانين التوازن الثرموديناميكي.

ثم تطرقنا الى مفهوم الطيف وذكر أنواعه وتعريضات الخطوط الطيفية وأسبابها كما ذكرنا الطرق المستعملة لتحليل الأطياف.

وأخيرا تطرقنا الى البرنامج العددي للحساب النظري للأطياف الذرية الناتجة عن البلازما وقمنا بالمقارنة ما بين الأطياف النظرية والأطياف التجريبية للكاديوم Cd مما مكننا من تحديد مستويات الطاقة المستقرة نسبيا كما قمنا بحساب درجة الحرارة الالكترونية للوسط ($T=0.229\text{eV}$) وكذلك حساب الكثافة الالكترونية للوسط الناتج ($N_e=9.96 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$). وكانت هذه النتائج متوفقة مع تصنيفات البلازما الناتجة عن المعادن.

[1] *Basic Principles of Plasma Physics*, Cummings Publishing, Reading, Massachusetts, 1973

[2]- وليد مصطفى صهيوني ، مقدمة في البلازما ، يونيو 2006 ، سلطنة عمان .

[3]- إسماعيل شيعي ، حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي ومشتقاتها داخل البلازما باستخدام المحاكاة العددية مونت كارلو تطبيق على طيف الهيليوم ، رسالة دكتوراه دولة ، جامعة منتوري ، قسنطينة 2005 .

[4]- سهيلة عسكري ، " حساب دوال توزيع مشتقات الحقول الموضوعية وتطبيق على طيف الهيليوم " رسالة ماجستير ، المركز الجامعي بالوادي 2011 .

[5] : *David Parker Kilcrease, Ph-D Thesis, University of Florida, (1991)*

[6] *BENMEBROUK, Lazhar; KHELFAOUI, Fethi. Simulation Numérique des Spectres de l'Hélium Emis dans les Chambres Cathodiques pour la Détermination de la Densité et la Température Electroniques. PhD Thesis*

[7] : محاضرات في فيزياء البلازما للدكتور رعد العزاوي الربيعي .

[8] : *Michael S. Murillo, Jon C. Weisheit, Physics Reports 302 (1998) 1-65.*

[9] : *Plasma Physics: an Introductory Course (Cambridge University Press, 1993).*

[10]: "اساسيات النظرية الكهرومغناطيسية" ريتز- ميلفورد ترجمة يحيى عبد الحميد حاج علي والدكتور رحمن رستم عبد الله ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي . جامعة الموصل العراق

[11] : *Tonks and I. Langmuir, Physical Review 33, 195(1929).*

[12] <http://www.plasmas.org/powers.htm>

- [13] : H. R. Griem, *Phys. Fluids, B 4*, 2346 (1992).
- [14] : Jean-Loup Delcroix *Physique des plasmas nterEditions , CNRS Editions, 1994*).
- [15] : <http://public.lanl.gov/alp/plasma/nature.universe.html>
- [16] : *Introduction to Plasma Theory, 'John Wiley and Sons, New york', 1983.*
- [17] BENMEBROUK, Lazhar. *Nouvelle Méthode de Diagnostique des Plasmas: Hors l'équilibre thermodynamique. Éditions universitaires européennes, 2017.*
- [18] DAOUI, Hafsa, et al. *Simulation study of a fluorine spectrums induced by laser sublimation. Journal of Physics Communications, 2020.*
- [19]: سميحة بضياف ، "دراسة تركيب الجزيري للرمول كثنان منطقة ورقلة باستخدام مطيافية الامتصاص ما تحت الحمراء وحيود الأشعة السينية" ، ماستر فيزياء جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2012.
- [20] BEN MABROUK, Lazhar. *Etude des spectres d'emission d'ions de déposition sur couches minces. 2003. PhD Thesis. Université de Ouargla-Kasdi Merbah.*
- [21] BENMEBROUK, L.; KHELFAOUI, F.; MOHAMMEDI, L. *Spectroscopic determination of the electrical parameters of a micro-wave discharge in helium plasma. International Journal of Physical Sciences, 2016, 11.2: 19-22.*
- [22]: M. Carnes et al (2009) *ASablet et raalky complese of Nikel (IV).*"(Angewandte chemie International Edition 3384.48doi M0.1002 anie 200804435)".

[23] A.Dinklage .Tklinger .GMark.I.Schweikhard .plasma physic
Springer .Berlin 2005

[23] W.Demtōder, *Atoms Molecules and photons*, Springer – Verlag ,
2006, Berlin Heidelberg.

[24]: <http://www.encyco.blogs.com>, 14:30 19/04/2018.

[25]: W.Demtōder, *Atoms Molecules and photons*, Springer-Verlag,
2006, Berlin Heidelberg.

[26] Moussa O. cheibetta, *contribution à la théorie d'élargissement des raies Spectrales émise par les plasma : Application la raie Ly- α de L'atome de l'hydrogène*, Doctorat de 3^{ème} cyle, Université cheikh Anta Diop de Dakar-Sénégal, 2004 .

[27]: MOHMMED S.MAHDE, “Diagnostic study of copper plasma in air by laser induced breakdown spectroscopy(LIBS)”, JUTB, 2015.

[28]: https://physics.nist.gov/phsRefData/ASD/lines_form.html.

ملخص:

في اطار دراسة البلازما الناتجة عن التسامي بالليزر بواسطة تقنية (LIBS) تمكنا خلال هذا العمل من دراسة بلازما الكاديوم و ذلك من خلال الاطياف الذرية الناتجة، حيث بين النموذج العددي الذي يعتمد على المحاكات العددية ان هناك مستويات طاقة مستقرة نسبيا يمكن الاعتماد عليها لدراسة خصائص بلازما الكاديوم. و هي $(4d^{10}5s5d(3D)2)$ ، $(4d^{10}5s6s(3S)1)$ و $(4d^{10}5s6s(3S)1)$. كما تمكنا من حساب درجة الحرارة الالكترونية لبلازما الكاديوم (eV) (0.229) ; وذلك بتطبيق قانون بولتزمان. وكذا حساب الكثافة الالكترونية للوسط الناتج. $(9.96 \times 10^{18} \text{cm}^{-3})$. بتطبيق قانون ساها. حيث ان كلا قيم المحسوبة تندرج ضمن التصنيف المعتمد للبلازما المخبرية الناتجة عن المعادن.

الكلمات المفتاحية: البلازما، الكاديوم، الأطياف الذرية، مستويات الطاقة المستقرة، قانون بولتزمان، قانون ساها.

Résumé:

Dans le cadre de l'étude du plasma issu de la sublimation laser par la technique (LIBS), nous avons pu au cours de ce travail étudier le plasma de cadmium à travers les spectres atomiques résultants, car le modèle numérique basé sur des simulations numériques a montré qu'il existe des niveaux d'énergie relativement stables sur lesquels on peut s'appuyer pour étudier les propriétés du plasma de cadmium. Ce sont $(4d105s5d(3D)2)$, $(4d105s6s(3S)1)$ et $(4d105s6s(3S)1)$. Nous avons également pu calculer la température électronique du plasma de cadmium (eV 0,229) en appliquant la loi de Boltzmann. Ainsi que le calcul de la densité électronique du milieu résultant $(9.96 \times 10^{18} \text{cm}^{-3})$ en appliquant la loi de Saha. Comme les deux valeurs calculées relèvent de la classification approuvée du plasma de laboratoire produit par des minéraux.

Mots clés: plasma, cadmium, spectres atomiques, niveaux d'énergie stables, loi de Boltzmann, loi de Saha.

Abstract:

In the context of studying plasma resulting from laser sublimation by LIBS technique, we were able during this work to study cadmium plasma through the resulting atomic spectra, as the numerical model based on numerical simulations showed that there are relatively stable energy levels that can be relied upon to study the properties of cadmium plasma. These are $(4d105s5d(3D)2)$, $(4d105s6s(3S)1)$ and $(4d105s6s(3S)1)$. We were also able to calculate the electronic temperature of the cadmium plasma (eV 0.229) by applying Boltzmann's law. As well as the calculation of the electronic density of the resulting medium $(9.96 \times 10^{18} \text{cm}^{-3})$ by applying Saha's law. As both of the calculated values fall within the approved classification of laboratory plasma produced by minerals.

Key words: plasma, cadmium, atomic spectra, stable energy levels, Boltzmann's law, Saha's law.