



جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

تخصص: فيزياء نظرية

مذكرة ماستر

من إعداد: بالرابح هناء

تحت عنوان:

معامل التصادم الالكتروني في البلازما
(كمون W.Ebling)

نوقشت يوم: 2020/06/08 أمام اللجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر-ب-	حسين إيمان
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ التعليم العالي-	شهرة ثورية
		ب-	
مشرفا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر-أ-	نعام أمال

الموسم الجامعي: 2022/2021

اهداء

الى التي جعل الله الجنة تحت قدميها الى التي تألمت لألمي وفرحت لفرحي، الى من يعجز اللسان عن وصف فضائلها، الى الغالية التي تحن العين وتبكي لرؤيتها، الى اعز وأغلي انسان في الوجود.

امي

الى من مهد لي الطريق من اجل الوصول الى هذا المستوى، الى من سهر على راحتي صغيرة وحرص على مستقبلي كبيرة، الى الذي لم يبخل على بشيء طيلة حياتي الى من ترقب نجاحي.

ابي

الى اخواتي واخواتي وخالاتي وخالي وعمي كل الأقارب.

الى كل الزملاء والصديقات.

الى كل من يعرفني من قريب او بعيد.

الى كل أساتذة والطلبة جامعة قاصدي مرباح ورقلة.

شكر و عرفان

اللهم لك الحمد حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه، ملء السماوات الأرض، وما شئت من شيء بعد،
اهل الثناء والمجد، أحق ما قل العبد، وكلنا لك عبد، اشكرك ربي على نعمك التي لا تعد،
احمدك ربي واشكرك على ان يسرت لي إتمام هذا العمل على الوجه الذي ارجو ان ترضى
به عني.

ثم أتوجه بالشكر الى التي لم تبخل عليا بنصائحها وتوجيهاتها ومهدت لي إتمام هذه المذكرة
استاذتي ومشرفتي الدكتورة نعام امال.

والى التي شرفنتني بحضورها ومناقشتها لمذكرتي الأستاذة والبروفيسورة شهرة ثورية وأتقدم
بشكر الأستاذة والدكتورة حسين ايمان ترؤسها لجنة المناقشة.

فهرس

شكر و عرفان

اهداء

مقدمة عامة

1..... الفصل الأول: عموميات حول البلازما

..... 1- مقدمة

2

..... 2- تعريف البلازما

2

..... 3- درجة التأين البلازما

2

..... 4- تصنيفات البلازما

3

..... 5- معاملات البلازما

4

4..... 1-5- تردد البلازما

4..... 2-5- نصف قطر الكرة الالكترونية

5..... 3-5- نصف قطر الكرة الايوني

5..... 4-5- طول لاندو

5..... 5-5- طول موجة ديبروغلي الحرارية

4..... 6-5- كمون ديبياي (طول ديبياي)

6- التعريضات في

البلازما..... 6

6..... 1-6- التعريض الطبيعي

7..... 2-6- تعريض دوبلر

8..... 3-6- تعريض اجهزة القياس

8..... 4-6- تعريض ستارك

□ 5-6- تعريض زيمان 8.

الفصل الثاني: معامل التصادم الإلكتروني (مقاربة غريم) وسعت التشتت.

- 1- مقدمة 9
- 2- التصادمات في البلازما 9
- 3- أنواع التصادمات في البلازما 9
- 1-3- التصادم المرن 9
- 2-3- التصادم غير المرن 9
- 4- معامل التصادم الإلكتروني (مقاربة غريم H.Griem) 10
- 5- سعت التشتت الكوموية 14

الفصل الثالث: معامل التصادم الإلكتروني (كمون W.Ebeling)

- 1- مقدمة 18
- 2- كمون W.Ebeling 18
- 3- تفاعل W.Ebeling التقريبي 18
- 4- تفاعل W.Ebeling ايون-الكثرون 19
- 5- سعت التشتت لكمون W. Ebeling 19
- 6- معامل التصادم الإلكتروني للتفاعل بكمون W.Ebeling 21
- الفصل الرابع: نتائج ومناقشات

- VI 1- مقدمة 27
- IV-2 معامل التصادم الإلكتروني لكمون كولوم (مقاربة غريم) وبكمون (W.Ebeling) ونسبة التصحيح 27
- IV-2-1 تأثير درجة الحرارة على معاملي التصادم الإلكتروني بكمون كولوم وكمون (W.Ebeling) 28
- IV-2-2 تأثير درجة الحرارة على نسبة التصحيح : 29
- IV-2-3 تأثير الكثافة الإلكترونية Ne على معاملي التصادم الإلكتروني لكمون كولوم وكمون (W.Ebeling) 30
- IV-2-4 تأثير الكثافة الإلكترونية Ne على نسبة التصحيح 31
- IV-2-5 تأثير العدد الذري Z على معاملي التصادم الإلكتروني لكمون كولوم وكمون (W.Ebeling) 32

33.....IV-2-6 تأثير العدد الذري Z على نسبة التصحيح

34IV-3 تأثير نسبة التصحيح على طيف الإشعاع المعزول غير متوالد الخاتمة عامة

فهرس الاشكال

الشكل (1): يمثل تصنيفات البلازما ودرجة الحرارة والكثافة

الشكل (2): تغيرات معامل التصادم الالكتروني لكمون (W. Ebeling) ولكمون كولوم لشاردة الاكسجين O^{+7} بدلالة درجة الحرارة T من اجل كثافة الكترونية $N_e = 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

الشكل (3): تغيرات نسبة التصحيح بين معامل التصادم الالكتروني لكمون (W. Ebeling) ومعامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم لشاردة الاكسجين O^{+7} بدلالة T من اجل $N_e = 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

الشكل (4): تغيرات معامل التصادم الالكتروني لكمون (W. Ebeling) ولكمون كولوم بدلالة الكثافة الالكترونية لشاردة الاكسجين O^{+7} من اجل $T = 11500^\circ \text{K}$ للخط ليمن الفا.

الشكل (5): تغيرات نسبة التصحيح بين كمون (W. Ebeling) وكمون كولوم بدلالة الكثافة الالكترونية لشاردة الاكسجين O^{+7} من اجل $T = 11500^\circ \text{K}$.

الشكل (6): تغيرات معامل التصادم الالكتروني لكمون W. Ebeling ولكمون كولوم بدلالة العدد الذري Z من اجل $T = 11500^\circ \text{K}$ و $N_e = 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

الشكل (7): تغيرات نسبة التصحيح بين معامل التصادم الالكتروني لكمون (W. Ebeling) ومعامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم بدلالة العدد الذري من اجل $T = 11500^\circ \text{K}$ و $N_e = 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

الشكل (8): طيف الإشعاع ليمن الفا لعنصر O^{+7} من اجل معامل التصادم الالكتروني بكمون كولوم ومعامل التصادم الالكتروني بكمون W.Ebeling عند الشروط $T = 1.28 \times 10^4 \text{ }^\circ \text{K}$ و $N_e = 10^{18} \text{cm}^{-3}$.

الشكل (9): طيف الإشعاع ليمان الفا لعنصر O^{+7} من اجل معامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم ومعامل التصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling) عند الشروط $T=1.47 \times 10^4$ °K و $N_e = 10^{18} \text{cm}^{-3}$

مقدمة عامة

تشكل البلازما 99% من المادة الكونية المرئية بين النجوم والمجرات، تعد أحد اهم المواضيع الفيزياء الحديثة إذ يمكننا القول ان البلازما هي الحالة الرابعة للمادة، يستعمل طيف الإصدار والامتصاص للذرات كطريقة لقياس درجة الحرارة والكثافة في البلازما.

قد تمت دراسة الطيف في كثير من الأبحاث في نظرية الكلاسيكية لخطوط الطيف المعزولة، حيث كانت الدراسات مركزة على إيجاد علاقات رياضية لتعريض ستارك.

اعتمدت الكثير من دراسات السابقة لمعامل التصادم الالكتروني على الاخذ بعين الاعتبار التفاعل بين الايون المشع والالكترون المسبب للاضطراب. فضلت بعض الدراسات اعتماد تفاعل كولوم لوصف ظاهرة التصادم، ومن ثم حساب معامل التصادم الالكتروني (الذي يدخل مباشرة في حساب تعريض الالكتروني). دراسات اخرى اخذت بعين الاعتبار فعل الشاشة للإلكترونات وتأثيره على تفاعل (الالكترون - ايون) إضافة للفعل الكمومي.

ديناميك الجسيمات في البلازما يخضع للحقول الكهربائية المطبقة والمنتجة داخل البلازما من طرف الجسيمات المشحونة نفسها، حيث التفاعلات الأساسية بينها هي التفاعلات الكهروستاتيكية، ولكن في الحقيقة هذا التفاعل يظهر التأثير الكمومي عند المسافات الصغيرة جداً، وهذا ما هو موجود بالفعل لذلك توجد عدة تفاعلات أخرى غير تفاعل كولوم وتعتمد على تقريبات واعتبارات معينة.

الدراسات السابقة لغريم (H. Griem) ركز في معظمها على كمون كولوم، أين تلعب القوة الكهربائية الدور الاساسي في التأثير بين الأيون المشع والإلكترون الحر. من خلال هذه الدراسة نحسب معامل التصادم الإلكتروني بالأخذ بعين الاعتبار الفعل الكومومي (الطبيعة الموجية للإلكترون الحر) من جهة، والفعل الكولومي للبلازما من جهة أخرى. ويمكن ترجمت هذه الافعال بكمون يجمعها كمون(W.Ebeling).

-خلال هذه المذكرة نتطرق إلى أربعة فصول:

-في الفصل الأول سنتطرق فيه الى تعريف البلازما تاريخيا وسنصف بعض معاملاتها المهمة وتصنيفاتها وأسباب التعريضات فيها.

- في الفصل الثاني سندرس التصادمات في البلازما (تعريفها وانواعها) ومعامل التصادم الإلكتروني (مقاربة غريم) وكذا سعت التشتت الكومومية.

- أما في الفصل الثالث فنستعرض التفاعل بين إلكترون وأيون مشع وسنتطرق إلى حساب معامل التصادم الإلكتروني في البلازما لكمون (W.Ebeling).

- وأخير الفصل الرابع سنتطرق الى تبين مدى أهمية التصحيح في الكمون على معامل التصادم الإلكتروني، وذلك بإجراء مقارنات بين معامل التصادم الإلكتروني لكمون (W.Ebeling) وكمون كولوم بدلالة الشروط الفيزيائية (درجة الحرارة T والكثافة الإلكترونية N_e والعدد الذري Z)، سنرسم كذلك نسبة التصحيح المثوية بدلالة نفس الشروط السابقة.



الفصل الأول
عموميات حول البلازما

□ 1- مقدمة

تعتبر البلازما الحالة الرابعة من حالات المادة إذ انها تملك صفات مقاربة للحالة الغازية في حين انها تتكون من جسيمات مشحونة، الكترولونات وايونات موجبة مكونة بذلك وسط معتدل. سنقدم في هذا الفصل مدخل حول البلازما وذلك من حيث تعريفها وتاريخها ومعاملاتها وأسباب تعريضها.

□ 2- تعريف البلازما

البلازما هي غاز حار جدا مؤين وهي عبارة عن خليط من الذرات المتعادلة كهربائيا والالكترولونات السالبة والايونات الموجبة، حيث تتناسب درجة التأين طرديا مع درجة الحرارة. للبلازما صفة جد مهمة وهي أن التأثيرات الجماعية للجسيمات فيما بينها أكثر أهمية من التأثيرات البنية القريبة (قوة كولوم).

يمكن ان نقول ان البلازما الحالة الرابعة للمادة والتي تأتي بعد الحالة الصلبة والسائلة والغازية في ترتيب ارتفاع درجة الحرارة. تعود تسمية البلازما إلى العالم إرفينغلانغمرير (Dr. Irwing Ingmuir) عام 1928 [1-2].

□ 3- درجة التأين البلازما

درجة التأين في البلازما هي احدى المعايير لتصنيفها وتعرف بأنها النسبة بين كثافة الجسيمات المتأينة وكثافة الجسيمات المتعادلة تعطي ب [1-2]:

$$(1 - I)\alpha = \frac{N_{i,e}}{N_n + N_{i,e}}$$

حيث:

$N_{i,e}$: الكثافة العددية للإلكترونات أو الأيونات.

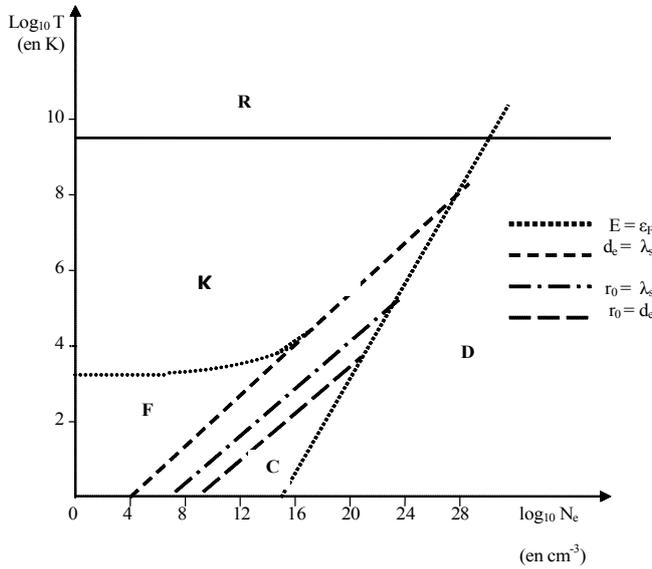
N_n : الكثافة العددية لذرات المتعادلة.

تتغير درجة التأين عمليا بين 1 و 10^{-2} فمن أجل كل غاز حددت درجة تأين معيارية α_0 [11]. فإذا كان $\alpha > \alpha_0$ نقول عن الغاز انه شديد التأين، وإذا كان $\alpha < \alpha_0$ فإنه يكون ضعيف التأين.

□ 4-تصنيفات البلازما

يمكن تقسيم البلازما الى ثلاث فئات حسب درجة حرارتها، وذلك بقياس الطاقة الحركية للإلكترونات والأيونات، وتتوافق الفئة الأولى مع ما يسمى بالبلازما (الساخنة)، ودرجة حرارة هذا النوع من البلازما هي من الدرجة الأولى. فهي تتوافق بشكل عام مع البلازما النجمية (الشمس، إلخ). الفئة الثانية تمثل البلازما المعروفة باسم (الحرارية) أو في التوازن الديناميكي الحراري المحلي وهي بلازما تتميز بدرجة حرارة متساوية لجميع الأنواع (الإلكترونات، الأيونات، الجزيئات). الفئة الثالثة تمثل البلازما المعروفة باسم (الباردة) أو خارجة من التوازن الديناميكي الحراري. في هذا النوع من البلازما، تكون درجة حرارة الأيونات والعناصر المحايدة قريبة من درجة الحرارة المحيطة، وهي أقل بكثير من درجة حرارة الإلكترونات (10^{-10} كلفن) [2].

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{\epsilon_0 K_B T}{q^2 N_e + q_i^2 N_i}}$$



منحنى (1): يمثل تصنيفات البلازما وفق درجة الحرارة والكثافة

I-5- معاملات البلازما

لوصف الظواهر الفيزيائية التي تحدث في البلازما يجب علينا ذكر اهم معاملاتهما.

I-5-1 تردد البلازما

عند حدوث اهتزاز داخلي او خارجي في البلازما فانه يؤدي الى إزاحة جسيماتها (إلكترونات، أيونات)، تواتر هذا الاهتزاز يعرف ب[3]:

$$(3 - I) \omega_{pe} = \sqrt{\frac{q^2 N_e}{\epsilon_0 m_e}}$$

حيث:

N_e : الكثافة الالكترونية.

m_e : كتلة الإلكترون.

q : شحنة الإلكترون.

ϵ_0 : السماحية الكهربائية في الفراغ.

I-5-2 نصف قطر الكرة الالكترونية

نصف القطر الكرة الالكترونية هو البعد المتوسط بين الكترينين في وسط البلازما. ويعطى بالعلاقة التالية[4]:

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

N_e : كثافة الالكترونية.

I-5-3 نصف قطر الكرة الايوني

هو البعد بين ايونين متجاورين في غاز مؤين وهو مقدار يستخدم لوصف التفاعلات البلازما ويسمى بنصف قطر الكرة الايوني ويرتبط بالكثافة الايونية N_i ويعطى بالعلاقة التالية[5]:

$$r_i = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi N_i}} \quad (5 - I)$$

□ 4-5- طول لانداو

يستخدم طول لانداو في تحليل ظواهر التصادمات وارتباطات الموضع في البلازما وهو عبارة عن مقدار تتساوى فيه الطاقة الكامنة الكولومية المتوسطة للتفاعل الثنائي مع الطاقة الحركية المتوسطة [6].

$$r_0 = \frac{e^2}{K_B T} \quad (6 - I)$$

K_B : ثابت بولتزمان.

e : الشحنة الإلكترونية.

T : درجة الحرارة.

□ 5-5- طول موجة ديبروغلي الحرارية

يعطي هذا الطول تقديرا للطبيعة الموجية الكمية لجسيمات البلازما ويعرف ب[7]:

$$\lambda_T = \left(\frac{2\pi \hbar^2}{m K_B T} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7 - I)$$

m : كتلة الجسيم

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$: ثابت بلانك المختزل

□ 6-5- كمون ديبياي (طول ديبياي)

طول ديبياي هو المسافة التي يتم عندها الحجب الكولومي لأي شحنة كهربائية في البلازما التوزيع المكاني للشحنات يعطي تصحيحا لصيغة الكمون الكهربائي يسمى بكمون ديبياي معرف ب[8]:

$$\varphi = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 T} \exp\left(-\frac{r}{\lambda_D}\right) \quad (8 - I)$$

ϵ_0 : ثابت السماحية الكهربائية في الفراغ.

الطول المتوسط الذي إبتداء منه تحجب جسيمات الوسط التأثير على الشحنة يسمى بطول ديبي حيث:

$$\lambda_D = 6.9 \sqrt{\frac{T_e}{N_e}} \quad (\text{cm}) \quad (9 - I)$$

T_e : درجة الحرارة بالكلفن

N_e : كثافة الإلكترون.

□ 6-التعريضات في البلازما

من الصعب استعمال أدوات قياس في وسط البلازما: بسبب ارتفاع درجة حرارتها، بالتالي تم اكتشاف طريقة بديلة لمعرفة خصائص ومميزات البلازما من خلال دراسة تعريض طيفها. الخطوط الطيفية للبلازما لا تكون رفيعة إنما لها عرض ناتج عن عدة أسباب نذكر أهمها:

□ 1-6- التعريض الطبيعي

يرتبط التعريض الطبيعي بمبدأ هنريغ الزمن - الطاقة الذي يسبب ارتياب في التواتر او طول الموجة [9].

$$(10 - I) \Delta\nu = \frac{A_{21}}{2\pi}$$

حيث:

A_{21} : معامل أينشتاين للانبعاش التلقائي.

التعريض الطبيعي غالبا ما يكون مهملًا أمام أسباب التعريض الأخرى وبالتالي فهو عرض ضعيف جيداً.

□ 2-6- تعريض دوبلر

يؤثر تعريض دوبلر على شكل خط الطيف في البلازما الذي يكون ضعيف الكثافة تحت درجة الحرارة عالية الذي يعطى ب [10]:

$$(11 - I) \Delta v = v_0 - v = v_0 \frac{V}{C}$$

حيث:

v_0 : تمثل تواتر الاصدار في حالة سكون.

C : سرعة الضوء.

شكاطيف الاشعاع المتشنت بفعل دوبلر هو غاوس مع نصف العرض الموافق لنصف الطول يعطي بالعلاقة التالية:

$$(12 - I)(HZ) \Delta v = v_0 \sqrt{\frac{2K_B T_e \text{Ln} 2}{mC^2}}$$

K_B : تمثل ثابت بولتزمان.

T_e : هي درجة الحرارة بالكلفن.

m : هي الكتلة معبر عنها بوحدة الكتل الذرية $m = AM_p$ بحيث A هو العدد الذري M_p كتلة البروتون

وتصاغ علاقة تعريض دوبلر رياضيا كالتالي:

□ 3-6- تعريض اجهزة القياس

التعريض الناتج عن الأجهزة القياس الطيفية المستعمل يؤخذ بعين الاعتبار اثناء القياس طيف اشعاع البلازما[11].

□ 6-4-تعريض ستارك

التصادمات بين جسيمات البلازما ينشأ عنها عرض في خطوط الطيفية، يسمى التحريض بتصادمات الجسيمات المشحونة بتعريض ستارك. نعتبر تعريض دوبلر هو التعريض المهيمن في حالة البلازما الحارة، لكن إذا كانت الكثافة عالية فان التعريض بفصل التصادمات بين الجسيمات يكون هو المهيمن بسبب الاحتمالية العالية لحدوثه[12].

يتم دراسة تعريض تصادم الجسيمات المشحونة في البلازما بتقريبين:

- 1- تقريب الصدم: وهو تقريب صالح من اجل الجسيمات السريعة (الالكترونات) التي يكون حقلها الكهروستاتيكي متغيرا بشكل سريع اثناء التصادم.
- 2- تقريب شبه ساكن: وهو تقريب مناسب للجسيمات الثقيلة البطيئة (الايونات) والتي يكون حقلها تقريبا ثابت اثناء التصادم.

□ 6-5 تعريض زيمان:

ينتج الاضطراب عن تفاعل مجال مغناطيسي مع اللحظات الحركية للذرة (حركة النواة والإلكترونات)، وهذا الاضطراب يجعل من الممكن رفع توالد مستويات الطاقة، وهذا يحدث تعريضا في طيف الاشعاع الصادر[6].

ملخص:

قدمنا في هذا الفصل تعريف للبلازما ثم اهم معاملاتها التي تصف الظواهر الفيزيائية الحدث في البلازما، حيث تعرفنا على بعض التعريضاات فيها التي تعتبر كالبديل لمعرفة خصائص ومميزات البلازما.

الفصل الثاني

معامل التصادم الالكتروني (مقاربة غريم) و سعت التشتت

□-1 مقدمة

لفهم فيزياء البلازما لابد من دراسة التصادمات وأنواعها اذ نتطرق في هذا الفصل الى علاقات المقطع الفعال وسعة التشتت بالأخذ بعين الاعتبار الفعل الكمومي لتصادم البلازما. من جهة أخرى نفصل في معامل التصادم الإلكتروني المعطى من طرف غريم (H.Griem).

□-2 التصادمات في البلازما

البلازما وسط معقد جدا يحتوي على عدد كبير من الجسيمات ذات طبيعية مختلفة (ذرة، أيون، إلكترون). نعتبر أن جميع جزيئات البلازما تتفاعل مع بعضها البعض بقوى تعتمد على مواضعها، فإذا اقتربت جسيمتين أو أكثر من بعضها البعض بمسافات صغيرة نسبيا بحيث تصبح طاقة التفاعل تقارن بالطاقة الحركية، أمكن القول إنه حدث تصادم للجسيمات ويتجلى ذلك في تغيير مساراتها، كما أنها تستأنف مسارها المستقيم بعد التصادم. تحدث الاصطدامات المتعددة داخل البلازما بسبب الإثارة الحرارية، مما يسمح بتغيير الطاقة وتحويل كمية الحركة بين الجسيمات، هذه التغيرات تسمح للبلازما بالوصول إلى حالة توازن

□-3 أنواع التصادمات في البلازما:

يمكن تقسيم التصادمات إلى فئتين:

□-3-1 التصادم المرن

التصادم المرن بين جسيمين لا يغير من الحالة الداخلية للجسيمات وكذا طاقتها لكن يحدث تغير في مسارها ويتم تحويل الطاقة الحركية وتغير كمية الحركة [9].

□-3-2 التصادم غير المرن

التصادم غير المرن بين جسيمين يحدث تغير في الحالة والطاقة الداخلية للجسيمات عن طريق فقدان جزء كبير من الطاقة الحركية للجسيمات الواردة نتيجة التفاعل [9].

II-4 معامل التصادم الإلكتروني (مقاربة غريم H.Griem)

نقوم باستعراض علاقة معامل التصادم الإلكتروني تبعا للفرضيات المعتمدة من طرف غريم (H. Griem)، ومن أجل أيون مشع شبه هيدروجيني. حيث تنشئ البلازما حقل كهربائي في الموضع الذي يوجد فيه الأيون المشع. قام غريم (H. Griem) بحساب معامل التصادم الإلكتروني من أجل الخطوط الطيفية المعزولة، حيث أهمل البنية الدقيقة للأيون المشع. إذا اعتبرنا الاضطرابات الناشئة عن التصادمات مستقلة عن بعضها البعض، فإن الحقل الناشئ عن الإلكترونات يكون كولومي [13-14-15]. بما أن الإلكترونات سريعة جدا فإنها تنشئ حقلًا تغيره سريع جدا، والاضطراب الناشئ عنها يحسب باستعمال نظرية التصادمات الفردية [17-18]. ويجب الأخذ بعين الاعتبار عزم ثنائي الاقطاب للأيون المشع.

من أجل أيون شبه هيدروجيني، وضمن نظرية التصادم، أعطى غريم (H. Griem) مؤثر التصادم الإلكتروني [16]:

$$\Phi_{\alpha\beta} = -\frac{N_e}{\hbar^2} \iint 2\pi v f(v) d v \rho d \rho \times \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 \vec{d}_\beta \cdot \vec{E}(t_1) \int_{-\infty}^{t_1} dt_2 \vec{d}_\beta \cdot \vec{E}(t_2) + \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 \vec{d}_\alpha \cdot \vec{E}(t_1) \int_{-\infty}^{t_1} dt_2 \vec{d}_\alpha \cdot \vec{E}(t_2) - \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 \vec{d}_\beta \cdot \vec{E}(t_1) \int_{-\infty}^{+\infty} dt_2 \vec{d}_\alpha \cdot \vec{E}(t_2) + \dots \right\}$$

$\vec{d} = eR$ هو مؤثر عزم ثنائي القطب للمشع، الحقل الكهربائي الناشئ عن الإلكترون المسبب للاضطراب، يعرف ب:

$$(15. II) \quad \vec{E}(t) = -ke\vec{r}(t) \left| \vec{r}(t) \right|^{-3}$$

نستعمل تقريب ثنائي القطب حيث يكون التفاعل بين الأيون المشع والحقل الكهربائي للإلكترون المسبب للاضطراب $E(t)$ هو:

$$(16. II) \quad V(t) = \vec{d} \cdot \vec{E}(t) = eR \cdot \vec{E}(t) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} R \cdot \vec{r}(t) \left| \vec{r}(t) \right|^{-3}$$

$\vec{r}(t)$ البعد بين الأيون المشع والإلكترون الحر.

باستعمال العلاقة (16. II) يمكننا تبسيط العلاقة (14. II) إلى الشكل التالي:

$$\Phi_{\alpha\beta} = -2\pi \frac{N_e}{\hbar^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \int_0^{\rho_{\max}} \int_{\rho_{\min}}^{\infty} \rho v f(v) d\rho v d\rho \times \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 \frac{\vec{R}_\beta \cdot \vec{r}(t_1)}{|\vec{r}(t_1)|^3} \int_{-\infty}^{t_1} dt_2 \frac{\vec{R}_\beta \cdot \vec{r}(t_2)}{|\vec{r}(t_2)|^3} + \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 \frac{\vec{R}_\alpha \cdot \vec{r}(t_1)}{|\vec{r}(t_1)|^3} \int_{-\infty}^{t_1} dt_2 \frac{\vec{R}_\alpha \cdot \vec{r}(t_2)}{|\vec{r}(t_2)|^3} - \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 \frac{\vec{R}_\beta \cdot \vec{r}(t_1)}{|\vec{r}(t_1)|^3} \int_{-\infty}^{+\infty} dt_1 \frac{\vec{R}_\beta \cdot \vec{r}(t_1)}{|\vec{r}(t_1)|^3} + \dots \right\}$$

نهمل البنية الدقيقة للأيون المشع فيكون مسار الإلكترون المسبب للاضطراب محددًا بمعادلة الحركة التالية:

$$(18. II) \quad m\ddot{\vec{r}}(t) = - \frac{(z-1)e^2}{4\pi\epsilon_0} \vec{r}(t) |\vec{r}(t)|^{-3}$$

وبعد التكامل نجد [23]:

$$\Phi_{\alpha\beta} = -2\pi \frac{N_e}{\hbar^2} \frac{m^2}{(z-1)^2} \int_0^{\rho_{\max}} \int_{\rho_{\min}}^{\infty} \rho v f(v) d\rho v d\rho \left\{ \frac{1}{2} \left[\vec{R}_\beta \left(\vec{r}(+\infty) - \vec{r}(-\infty) \right) \right]^2 - \vec{R}_\beta \cdot \left(\vec{r}(+\infty) - \vec{r}(-\infty) \right) \vec{R}_\alpha \cdot \left(\vec{r}(+\infty) - \vec{r}(-\infty) \right) + \frac{1}{2} \left[\vec{R}_\alpha \left(\vec{r}(+\infty) - \vec{r}(-\infty) \right) \right]^2 + \dots \right\} \quad (19. II)$$

سرعة الإلكترون بعد التصادم بدلالة زاوية الانحراف θ ، تكون كمايلي:

$$\vec{r} \cdot (+\infty) = \vec{r} \cdot (-\infty) \cos \theta + \vec{\rho} \left(\frac{v}{\rho} \right) \sin \theta \quad (20. II)$$

ويكون مربع الفرق بين السرعتين الحديتين كالآتي:

$$(21. II) \quad (\vec{v}_{+\infty} - \vec{v}_{-\infty})^2 = 4v^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

ولكن:

$$(22. II) \quad \left| \dot{\vec{r}} \cdot (+\infty) \right| = \left| \dot{\vec{r}} \cdot (-\infty) \right| = v$$

بتعويض العلاقة (21-II) في التكامل تصبح عبارة معامل التصادم كالآتي:

$$\Phi_{\alpha b} = -\frac{4\pi N_e}{3} \frac{m^2}{\hbar^2} \frac{1}{(z-1)^2} \int_0^{\rho_{\max}} \int_{\rho_{\min}}^{\rho} \rho v^3 f(v) dv d\rho \sin^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) \times$$

$$(23. II) \quad (R_b R_b - 2R_b R_\alpha + R_\alpha R_\alpha) + \dots$$

العلاقة بين زاوية الانحراف θ ومعامل الصدم ρ في حالة التجاذب الكولومي (مسار قطع زائد) يكون:

$$(24. II) \quad \rho = \rho_0 \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

حيث ρ_0 هو نصف طول المحور الأكبر للقطع الزائد، ويعرف بالعلاقة [24].

$$\rho_0 = \frac{(z-1)e^2}{4\pi\epsilon_0 m v^2} \quad (25. II)$$

حيث v هي السرعة الابتدائية للإلكترون.

التكامل على معامل الصدم يمكن أن يؤول إلى تكامل زاوية الانحراف θ :

$$\Phi_{\alpha b} = -\frac{2\pi N_e}{3} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \int_0^\infty \frac{f(v)}{v} dv \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \cot\left(\frac{\theta}{2}\right) d\theta \times$$

$$(R_b R_b - 2R_b R_\alpha - R_\alpha R_\alpha) + \dots \quad (26. II)$$

بعد التكامل على θ نحصل على تكامل بالنسبة ل v فقط :

$$\Phi_{\alpha b} = -\frac{4\pi}{3} N_e \frac{e^4}{\hbar^2} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \int_0^\infty \frac{dv}{v} f(v) \text{Ln} \frac{\sin \frac{\theta_{\max}}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} \times$$

$$(27. II) (R_b R_b - R_b R_\alpha - R_\alpha R_\alpha) + \dots$$

نستعمل الان توزيع ماكسويل للسرعات $f(v)$ ، المعروف ب:

$$(28. II) f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi K_B T}\right)^{3/2} v^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2K_B T}\right)$$

بتعويض توزيع ماكسويل للسرعات ، تصبح علاقة مؤثر التصادم الإلكتروني بالشكل الآتي:

$$\Phi_{\alpha b} = -\frac{4\pi}{3} N_e \frac{e^2}{\hbar^2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{1}{K_B T}\right)^{3/2} \int_0^\infty v dv \exp\left(-\frac{mv^2}{2K_B T}\right) \times$$

$$\text{Ln} \frac{\sin \frac{\theta_{\max}}{2}}{\sin \frac{\theta_{\min}}{2}} \times (R_b R_b - R_b R_\alpha + R_\alpha R_\alpha) + \dots \quad (29. II)$$

ومنه يمكننا استنتاج سعة معامل التصادم الإلكتروني [18]:

$$\phi_{\alpha b}(0) = -\frac{4\pi N_e e^4}{3\hbar^2} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{m}{K_B T}\right)^{3/2} \int_0^\infty v dv \exp\left(-\frac{mv^2}{2K_B T}\right) \text{Ln} \frac{\sin \frac{\theta_{\max}}{2}}{\sin \frac{\theta_{\min}}{2}}$$

$$(30. II)$$

من خلال العلاقة (24-□)، يتضح لنا أن زاوية الانحراف θ تتناسب عكسا مع معامل الصدم P وهذا يعطينا:

$$\theta_{\max} = 2 \arctan\left(\frac{\rho_0}{\rho_{\min}}\right) \quad (31. II)$$

$$\theta_{\min} = 2 \arctan\left(\frac{\rho_0}{\rho_{\max}}\right) \quad (32. II)$$

ρ_{\min} و ρ_{\max} يمثلان حدود التكامل علي معامل الصدم.

II- 5 سعت التشتت الكمومية

تصادم جسمين يحدد من خلال سرعتهما وكذا معامل الصدم في ميكانيك الكلاسيكي اما في ميكانيك الكم فدراسة التصادم مختلفة اذ لا يوجد معنى للمسار وكذا معامل الصدم. الهدف من هذه النظرية هو حساب احتمال انحراف الاجسام المتصادمة عن بعضها البعض بعد التصادم واستنتاج زاوية الانحراف. نخص بالدراسة التصادم المرن حيث لا يحدث خلاله تغير في حالات الطاقة الداخلية للجسميات المتصادمة [4]. ولكن يحدث فقط انحراف بسيط لمساري الجسمين مع نقل للطاقة الحركية وتبادل كمية الحركة.

مسألة التصادم بين الجسمين تؤول إلى دراسة انحراف جسم واحد ذا كتلة مختزلة m في كمون $u(r)$ متوضع في مركز الكتلة للجسمين. زاوية الانحراف لهذا النظام نسميها ϵ . وهي متعلق بالزوايا θ_1 و θ_2 زاويتا انحراف الجسمين بافتراض أن الجسم الثاني يكون ساكنا قبل التصادم:

$$\tan\theta_1 = \frac{m_2 \sin\theta}{(m_1 + m_2 \cos\theta)}, \quad \theta_2 = \frac{1}{2}(\pi - \theta) \quad (1. II)$$

حيث:

m_1 و m_2 هي كتل الجسمين. إذا كان للجسمين نفس الكتلة $m_1 = m_2$ نحصل على التبسيط التالي:

$$\theta_1 = \frac{1}{2}\theta, \quad \theta_2 = \frac{1}{2}(\pi - \theta) \quad (2. II)$$

ومن أجل $\theta_1 + \theta_2 = \frac{\pi}{2}$ يتباعد الجسمين بزواوية قائمة.

نختار في هذه الدراسة نظاما للإحداثيات بحيث يبقى مركز الكتلة ساكن و m هي الكتلة المختزلة للجسيمين. الجسم الحر يتحرك في الاتجاه الموجب للمحور z ونصفه بالموجة المستوية من الشكل $(\psi = \exp(ikz))$ ، والكثافة الحالية للموجة تساوي سرعة الجسم. يوصف الجسم المنحرف على مسافة بعيدة من مركز التشتت

بموجة كروية من الشكل:

$$\Psi_1 = \frac{f(\theta) \exp ikr}{r} \quad (3.II)$$

حيث $f(\theta)$ هي دالة لزاوية

(سعة التشتت) الانحراف θ (الزاوية المحصورة بين المحور z ومنحني الجسم المنحرف). وهذه الدالة تسمى بسعة الانحراف، وتعطي هذه الدالة بشكل تقريبي من خلال حل معادلة شرودنغر بكمون $u(r)$ على مسافات بعيدة:

$$\psi \approx \exp ikz + \frac{f(\theta) \exp ikr}{r}$$

ليكن Ω سطح عنصري تعبر من خلاله الأجسام المنحرف، يمكن كتابته بالشكل الآتي:

$$ds = r^2 d\Omega$$

حيث Ω هي الزاوية الصلبة العنصرية.

دالة احتمال عبور الجسم المنحرف

عبر السطح Ω خلال أكبر حجما و

$$P = \frac{v}{r^2} |f(\theta)|^2 ds = v |f(\theta)|^2 d\Omega$$

وحدة الزمن هو:

نسبة دالة الاحتمال إلى الكثافة

الحالية للموجة الواردة:

$$d\sigma = \frac{P}{v} = |f(\theta)|^2 d\Omega$$

(7.II)

هذا المقدار الأخير له وحدة السطح، ويسمى المقطع الفعال للتصادم.

نأخذ عبارة الزاوية الصلبة بالشكل الآتي:

$$d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta \quad (8.II)$$

إذا نستنتج عبارة المقطع الفعال:

$$d\sigma = 2\pi \sin\theta |f(\theta)|^2 d\theta$$

حيث زاويا العبور المنحرف تتراوح

بين θ و $\theta + d\theta$

سعة التشتت تعطى بالعلاقة التالية:

$$(10.II) f(q) = -\frac{m}{2\pi\hbar^2} \int U \exp(-iqr) dV$$

حيث الفرق الموجي هو:

$$\vec{q} = \vec{k}_1 - \vec{k}$$

وكذلك:

\vec{k} : شعاع موجة الجسيم قبل الانحراف.

\vec{k}_1 : شعاع موجة الجسيم بعد التصادم، إذا $\vec{k}_1 = k\vec{n}_1$

طويلة \bar{C} هي:

$$q = 2k \sin \frac{\theta}{2}$$

و هنا تمثل الزاوية بين الشعاعين \vec{k} و \vec{k}_1 وهي زاوية

الانحراف.

وأخيرا نقوم بتربيع طويلة سعة التشتت ونعوضها في عبارة المقطع الفعال نجد:

$$d\sigma = \frac{m^2}{4\pi^2\hbar^4} |f(q)|^2 2\pi \sin\theta d\theta \quad (13.II)$$

من خلال العلاقة الأخير نلاحظ ان عبارة المقطع الفعال متعلقة ب: \vec{q} و \vec{r} و θ

ملخص:

درسنا في هذا الفصل أهمية التصادمات في البلازما وأنواعها، نقومنا باستعراض علاقة معامل التصادم الالكتروني تبعا للفرضيات المعتبرة من طرف غريم (H. Griem) و سعت التشتت الكمومية .

الفصل الثالث

معامل التصادم الالكتروني (كمون W.Ebeling)

III-1 مقدمة:

سنقدم في هذا الفصل دراستنا لحساب معامل التصادم الإلكتروني في البلازما الذي اختلفت الدراسات حوله فنأخذ بعين الاعتبار الفعل الكمومي كمون جديد (كمون W.Ebeling) ولحساب سعة التشتت ثم نقوم بحساب معامل التصادم الإلكتروني لهذا الكمون.

III-2 كمون W.Ebeling

كمون W.Ebeling هو كمون يجمع بين كمونيهما:

- الكمون الأول عند المسافات الكبيرة هو كمون كولوم إذا يمثل التفاعل بين جسيمتين حرتين مشحونتين.

- الكمون الثاني هو Kelbg كمون الذي يأخذ بعين الاعتبار الفعل الكمومي عند المسافات الصغيرة.

$$u_{ij}(r) = \begin{cases} \left(\frac{z_i z_j e^2}{\gamma} \right) \left[1 - e^{-\frac{r^2}{\lambda_i^2}} + \left(\frac{r\sqrt{\pi}}{\lambda_i \gamma_{ij}} \right) \left(1 - \operatorname{erf} \left[\gamma_{ij} \frac{r}{\lambda_i} \right] \right) \right] & r < R \\ \frac{z_i z_j e^2}{r} & r > R \end{cases} \quad (1-III)$$

او z جسمان و r مسافة بينهما ، حيث $\operatorname{erf}(x)$ تسمى دالة الخطأ و $\gamma_{\{ij\}} = 1$.

III-3 تفاعل W.Ebeling التقريبي:

اقترح W.Ebeling تبسيطاً للكمون (1-III) وذلك باستعمال نشر تايلور عند $r=0$ كتقريب، علاقة كمون كليبيج المعممة هي:

$$u_{ij}(r) = \left(\frac{z_i z_j e^2}{r} \right) \left[1 - e^{-\frac{r^2}{\lambda_i^2}} + \left(\frac{r\sqrt{\pi}}{\lambda_i \gamma_{ij}} \right) \left(1 - \operatorname{erf} \left[\gamma_{ij} \frac{r}{\lambda_i} \right] \right) \right] \quad (2-III)$$

III-4- تفاعل W.Ebeling ايون – الكترون:

التصادمات في البلازما هي أهم العوامل التعريض، حيث تلعب التصادمات بين الجسيمات المشحونة الدور الأهم في عرض طيف الإشعاع الصادر عن البلازما. التفاعل المدروس في عملنا هذا التفاعل بين الإلكترون المسبب للاضطراب، والايون المشع في البلازما.

جاء W.Ebeling بفكرة الجمع بينها لإظهار الفعل الكمومي تفاعل kelbg عند المسافات الصغيرة من جهة، وفعل كولوم عند مسافات الكبيرة.

نخص دراستنا على كمون W.Ebeling عند المسافات الصغيرة ($r < R$) حيث نعتبر كمون التفاعل ايون-الكترون بالصيغة التالية:

$$(7 -)$$

حيث نعتبر المشع شبه هيدروجيني و:

5- سعت التشتت لكمون W. Ebeling

من اجل معالجة مسألة تصادم الكترون –ايون نعتبر الاالكترتون متحرك وايون شبه هيدروجين ثابت في وسط البلازما. نفرض ان الصدم يعتبر ثنائي (الكترون –ايون) والتأثير المتبادل يتمثل في تفاعل W.Ebeling المعرفة في العلاقة (7-).

نستعمل علاقة (10-) من اجل إيجاد علاقة سعت التشتت:

$$f(q) = -\frac{m}{2\pi\hbar^2} \int u(r) e^{-iq\vec{r}} d\vec{r} \quad (9 -)$$

كمون W. Ebeling المعرفة بالعلاقة (7 -).

العنصر التفاضلي لشعاع البعد بين الايون المشع والالكترتون هو:

$$d\vec{r} = r^2 \sin\theta d\theta dr d\varphi \quad (10 - \square)$$

الجداء السلمي بين الفرق الموجي والبعد r هو:

$$\vec{q} \cdot \vec{r} = qr \cos\theta \quad (11 - \square)$$

حيث θ الزاوية المحصورة بين q و r

بتعويض العلاقة (11-□) و (10-□) في (9-□) نتحصل على:

$$f(q) = -\left(\frac{m}{2\pi\hbar^2}\right) \int_0^R \int_0^\pi \int_0^{2\pi} u(r) e^{-i\vec{q} \cdot \vec{r}} r^2 \sin\theta d\theta dr d\varphi \quad (12 - \square)$$

نفصل متغير التكاملي:

$$f(q) = \left(\frac{m\alpha}{2\pi\hbar^2\lambda_t}\right) \int_0^R r^2 \left(\sqrt{\pi} - \frac{r}{\lambda_t}\right) \int_0^\pi e^{-iqr\cos\theta} \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \quad (13 - \square)$$

ثم نكامل على الزاوية θ نجد:

$$(14 - \square)$$

فنتحصل على:

$$(15 - \square)$$

نقوم بحساب التكامل على r فنجد سعة التشتت لكمون (W.Ebeling):

وبعد التبسيط يكون:

III-6 معامل التصادم الإلكتروني للتفاعل بكمون W.Ebeling

نقوم بحساب معامل التصادم الإلكتروني في البلازما بالأخذ بعين الاعتبار الفعل الكمومي في التفاعل بين الإلكترون الحر والأيون المشع ونستعين خلال ذلك بعلاقة H.Griem لمعاملات تصادم الإلكترون في البلازما.

لدينا علاقة مؤثر معامل التصادم الإلكتروني:

$$\phi = \phi_0 \int \int v^3 F(v) dv \rho d\rho \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (18 -)$$

حيث:

نأخذ السرعات تبعاً لتوزيع ماكسويل للسرعات حيث تعطى ب:

$$F(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi k_B T}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2K_B T}\right) \quad (19 -)$$

باستعمال العلاقة (III-18) يصبح معامل التصادم كالتالي:

$$\phi = 4\pi\phi_0 \left(\frac{m}{2\pi k_B T}\right)^{\frac{3}{2}} \int v^5 \exp\left(-\frac{mv^2}{2K_B T}\right) dv \int \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \rho d\rho \quad (20 -)$$

لدينا المقطع الفعال الكلاسيكي المعروف ب:

$$d\sigma = 2\pi\rho \frac{d\rho}{d\theta} d\theta$$

علاقة المقطع الفعال بسعة التشتت تكتب كالتالي:

بدلاً من استعمال العلاقة (III-20) نستعمل في هذا العمل عبارة المقطع الفعال الكومومي بسعة التشتت والتي تكتب كالتالي:

$$d\sigma = |f(\theta)|^2 d\Omega \quad (22 -)$$

حيث $d\Omega$ تمثل الزاوية الصلبة.

لإيجاد علاقة $\rho d\rho$ نقارن بين العلاقتين (20-□) و(21-□) فنحصل على:

$$\rho d\rho = |f(\theta)|^2 \sin\theta d\theta \quad (23 - \square)$$

حيث:

$$\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \rho d\rho = |f(q)|^2 \sin\theta \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (24 - \square)$$

نستعمل العلاقة بين زاوية الانحراف والفرق الموجي $q = 2k \sin\frac{\theta}{2}$

حيث:

وبعد تعويض مربع سعة التشتت يكون:

عبارة الطول الموجي هي:

$$k = \frac{mv}{\hbar}$$

نعوض هذه العلاقتين الاخيرتين في عبارة معاملالتصادم (III-11) فنحصل على:

$$G = 4\pi\phi_0 \left(\frac{m}{2\pi K_B T}\right)^{\frac{3}{2}} \quad \text{حيث:}$$

نحسب التكامل على q فنحصل على عبارة معامل التصادم الالكتروني لتصادم أيون-إلكترون بكمون

(W.Ebeling) للمسافات الصغيرة:

حيث:

الفرق الموجي يتغير بين القيمتين:

$$q_{\min} = 2k \sin \frac{\theta_{\min}}{2}$$

$$q_{\max} = 2k \sin \frac{\theta_{\max}}{2}$$

تتغير زاويتي الانحراف القصوى والدنيا عكسيا مع معامل الصدم:

$$(39 - \square)$$

$$(39 - \square)$$

حيث قمنا بختيار الشروط الحدية التالي على غرر كثير من الاعمال السابقة:

$$\rho_{\min}(v) = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{\hbar(n_b^2 - n_a^2)}{mZv}$$

$$\rho_{\max} = \lambda_D$$

$$(41 - \square) \quad 1$$

$$\rho_0 = \frac{\alpha}{mv^2}$$

n_b/n_a : العدد الرئيسي الكمي للمستويين الأدنى والأعلى على التوالي (للأيون المشع).

في الفصل التالي نقوم بإجراء مقارنات بين معامل التصادم الالكتروني بكمون كولوم ومعامل التصادم الالكتروني المعرف بالعلاقة (III-27) وذلك من خلال برنامج رقمي.

ملخص

قدمنا تعريفاً لـ W.Ebeling في هذا الفصل لحساب كل من سعت التشتت ومعامل التصادم الالكتروني له.

الفصل الرابع
نتائج و مناقشات

IV-1 مقدمة

في هذا الفصل سنتطرق الى تبين مدى أهمية التصحيح في الكمون على معامل التصادم الالكتروني، وذلك بإجراء مقارنات بين معامل التصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling) ومعامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم بدلالة الشروط الفيزيائية (درجة الحرارة T والكثافة الالكترونية N_e والعدد الذري Z)، سنرسم كذلك نسبة التصحيح المئوية بدلالة نفس الشروط السابقة.

IV-2 معامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم (مقاربة غريم) وبكمون (W.Ebeling) ونسبة التصحيح:

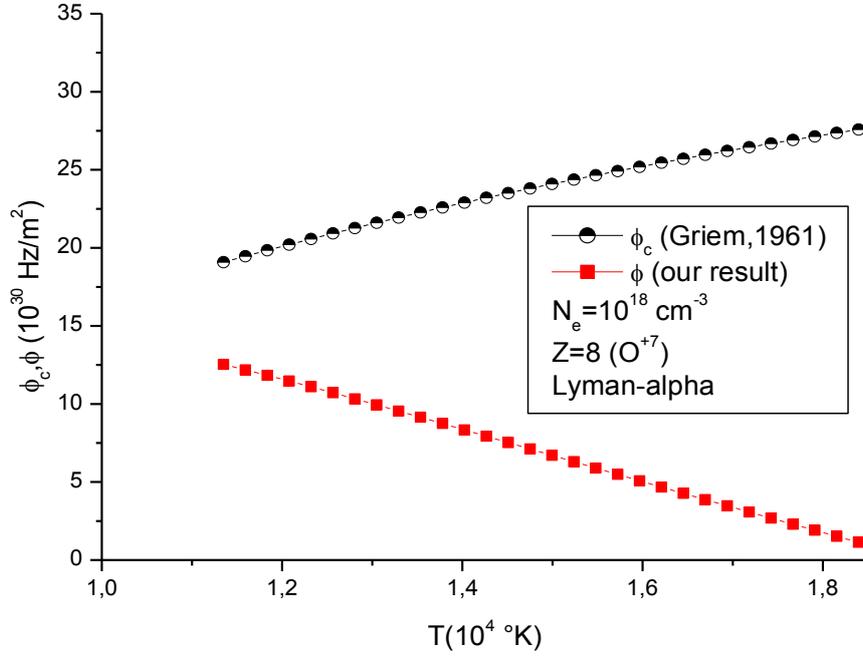
نقارن بين المعاملين التاليين:

$$(IV-1)$$

$$(IV-2)$$

حيث: ϕ هو عامل الصدم في معامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم، ϕ_0 هو عامل الصدم في معامل التصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling) الذي طورنه في الفصل 03.

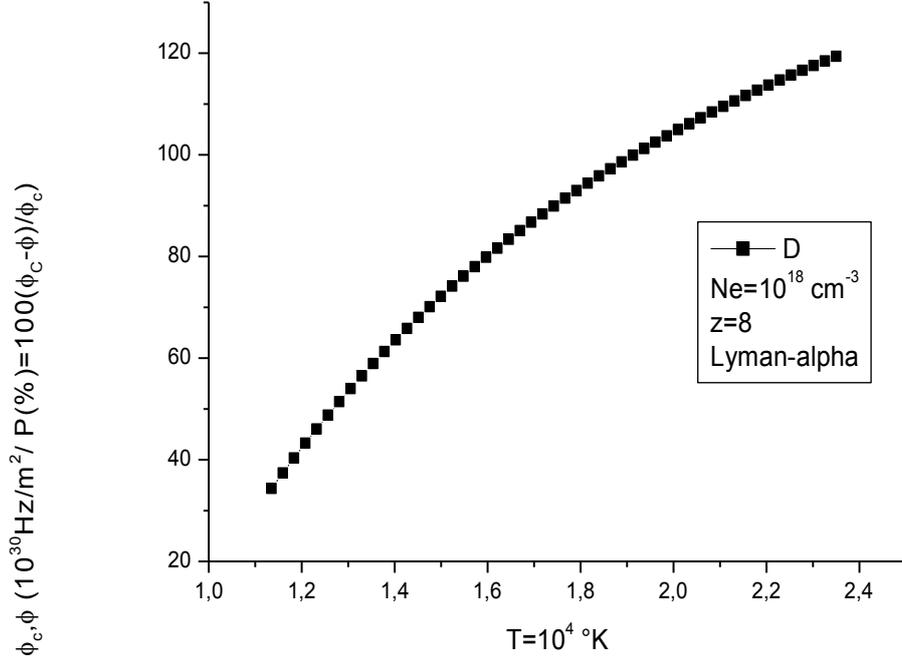
1-2-IV تأثير درجة الحرارة على معاملي التصادم الإلكتروني بكمون كولوم وكمون (W.Ebeling):



المنحنى (1): تغيرات معامل التصادم الإلكتروني لكمون (W. Ebeling) وكمون كولوم لشاردة الأكسجين O^{+7} بدلالة درجة الحرارة T من أجل كثافة الكترونية $N_e = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

المنحنى (1) يمثل تغيرات معامل التصادم الإلكتروني لكمون (W. Ebeling) وكمون كولوم لشاردة الأكسجين O^{+7} بدلالة درجة الحرارة T من أجل $N_e = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ، كلما زادت درجة الحرارة نقص معامل التصادم الإلكتروني لكمون W. Ebeling وبينما يتزايد معامل التصادم الإلكتروني لكمون كولوم. معامل كمون (W. Ebeling) يقع تحت معامل كمون كولوم مهما غيرنا في درجة الحرارة .

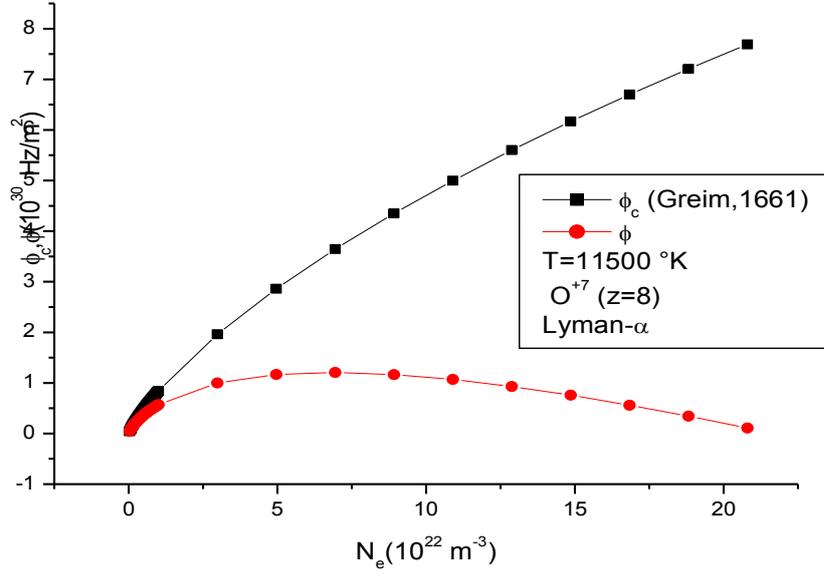
2-2-IV تأثير درجة الحرارة على نسبة التصحيح :



المنحنى (2): تغيرات نسبة التصحيح بين معامل التصادم الالكتروني لكمون (W. Ebeling) ومعامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم لشاردة الاكسجين O^{+7} بدلالة T من اجل $N_e = 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ، $Z=8$.

المنحنى (2) يمثل تغيرات نسبة التصحيح لشاردة الاكسجين O^{+7} بدلالة درجة الحرارة T، حيث نلاحظ انه كلما زادت درجة الحرارة زادت P لتتجاوز نسبة 100%.

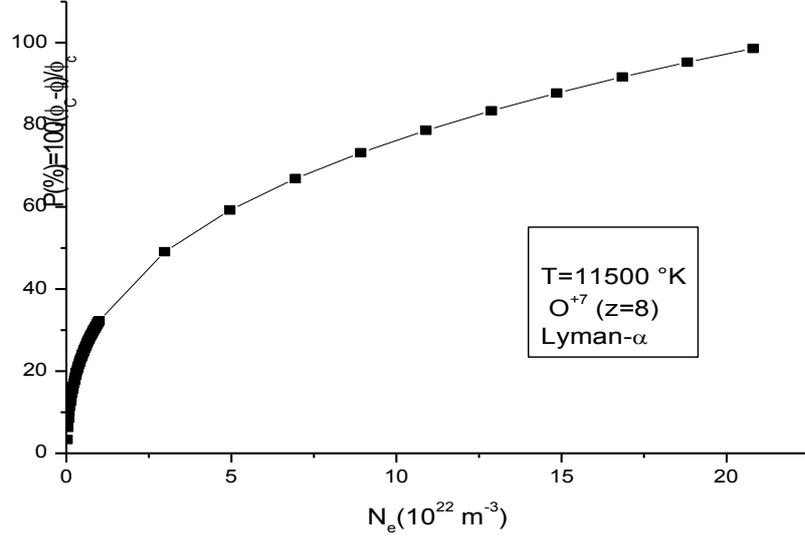
3-2-IV تأثير الكثافة الالكترونية N_e على معاملي التصادم الالكتروني لكمون كولوم وكمون (W.Ebeling):



المنحنى (3): تغيرات معامل التصادم الالكتروني لكمون (W. Ebeling) و لكمون كولوم بدلالة الكثافة الالكترونية لشاردة الاكسجين O^+ من اجل $T = 11500^\circ K$ للخط ليما ن الفا.

يوضح المنحنى (3) تغيرات كمون (W. Ebeling) وكمون كولوم بدلالة N_e لشاردة الاكسجين O^+ من اجل $T=11500^\circ K$ حيث نلاحظ في مجال الكثافة المنخفضة معامل تصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling) و لكمون كولوم متطابقين تقريبا اما في مجال الكثافة المرتفعة تزايد كبير لمعامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم مقارنة بمعامل التصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling).

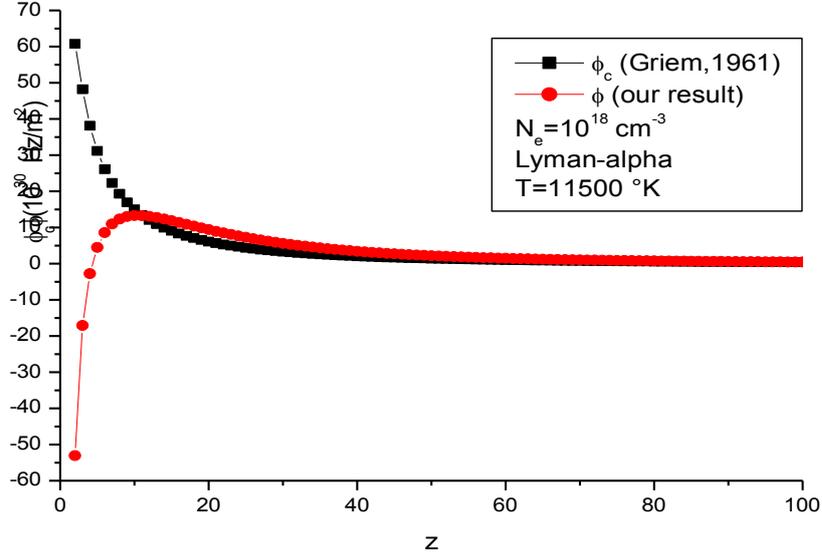
4-2-IV تأثير الكثافة الالكترونية N_e على نسبة التصحيح:



المنحنى (4): تغيرات نسبة التصحيح بين كمون (W. Ebeling) وكمون كولومبدلالة الكثافة الالكترونية لشاردة الاكسجين O^+ من اجل $T=11500^\circ K$.

يبين المنحنى (4) تغيرات النسبة P بدلالة الكثافة الالكترونية لشاردة الاكسجين O^+ من اجل $T=11500^\circ K$ ، نلاحظ ان النسبة تتزايد بتزايد الكثافة الالكترونية حتي تصل الى 100%.

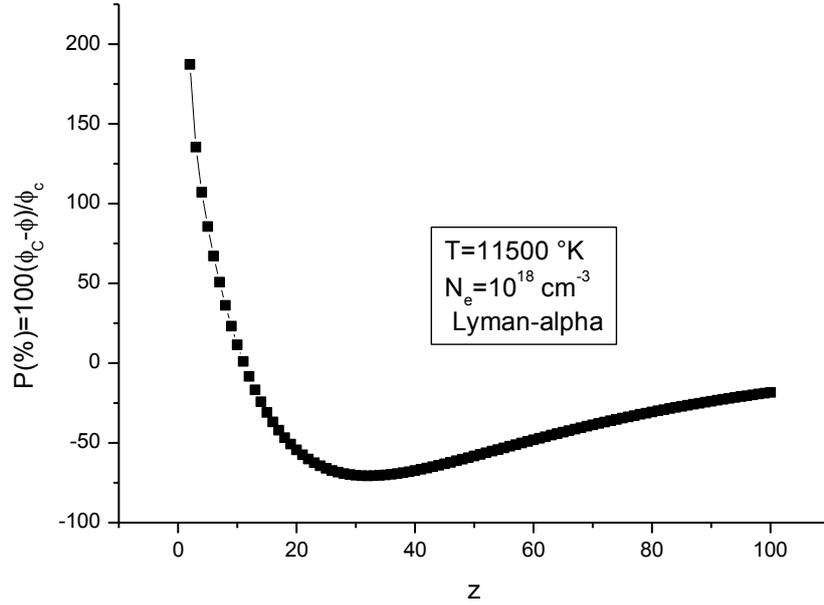
5-2-IV تأثير العدد الذري Z على معاملي التصادم الإلكتروني لكمون كولوم ولكمون (W.Ebeling):



المنحنى (5): تغيرات معامل التصادم الإلكتروني لكمون W. Ebeling ولكمون كولوم بدلالة العدد الذري Z من اجل $T = 11500^\circ\text{K}$ و $N_e = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

يمثل المنحنى (5) تغيرات معامل التصادم الإلكتروني لكمون (W. Ebeling) ولكمون كولوم بدلالة العدد الذري Z من اجل $T = 11500^\circ\text{K}$ و $N_e = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ، نلاحظ ان الفرق بين المعاملين يكون كبير من اجل الأعداد الذرية الصغيرة ، بينما يكاد ينطبق المعاملين من اجل الشوارد الثقيلة .

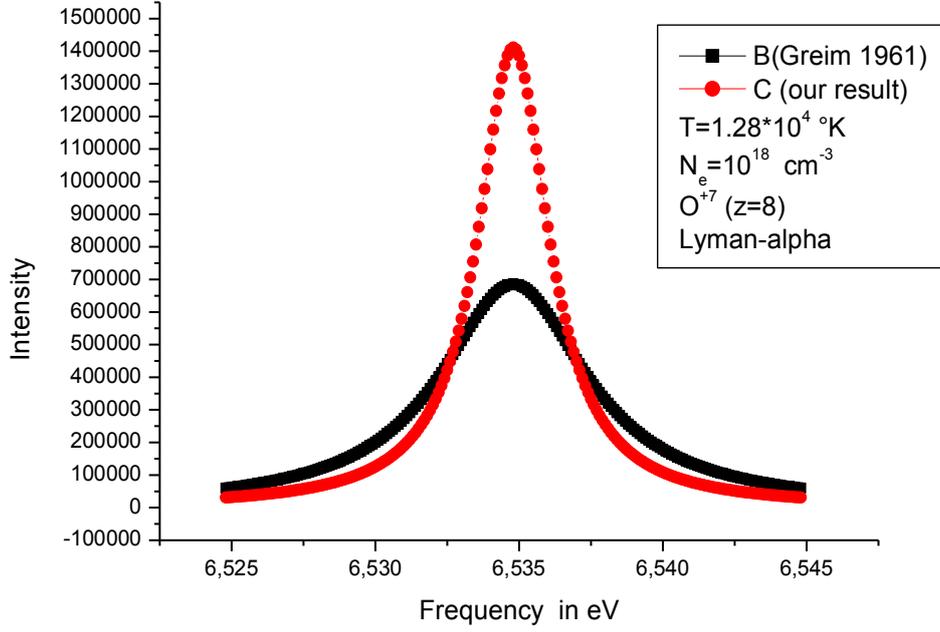
IV-2-6 تأثير العدد الذري Z على نسبة التصحيح :



المنحنى (6): تغيرات نسبة التصحيح بينمعامل التصادم الالكتروني لكمون (W. Ebeling) ومعامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم بدلالة العدد الذري من اجل $T=11500^{\circ}K$ و $N_e = 10^{18}cm^{-3}$

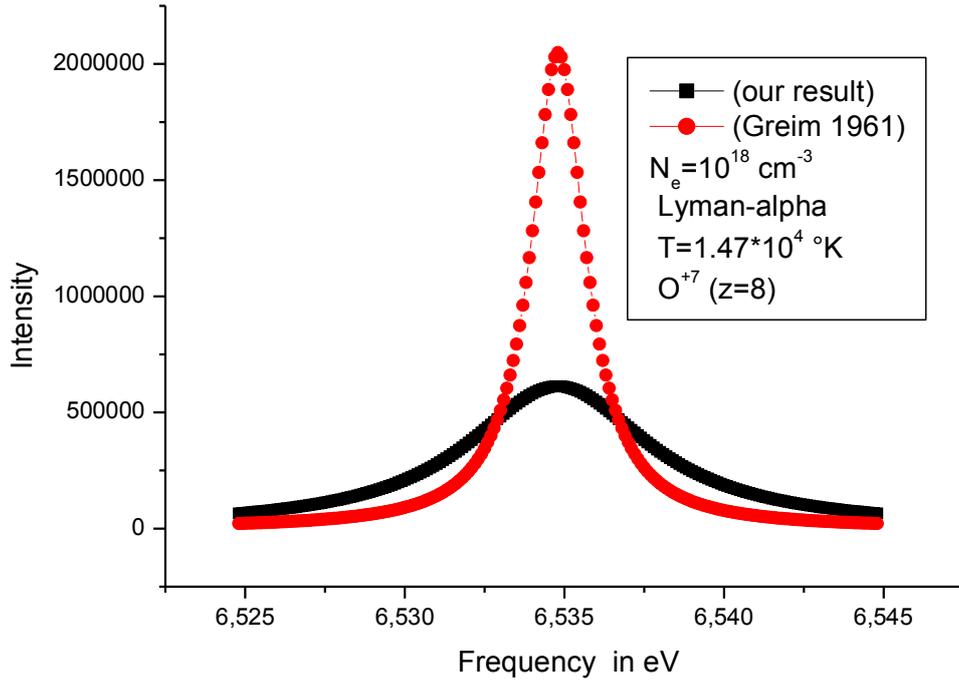
المنحنى (6) تغيرات نسبة التصحيح بينمعامل التصادم الالكتروني لكمون W. Ebeling ومعامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم بدلالة العدد الذري من اجل $T=11500^{\circ}K$ و $N_e = 10^{18}cm^{-3}$. حيث نسبة التصحيح تكون كبيرة من اجل الشوراد الخفيفة و تكاد تكون منعدمة عند الشوراد الثقيلة.

3-IV تأثير نسبة التصحيح على طيف الإشعاع المعزول غير متوالد :



المنحنى (7): طيف الإشعاع ليمان الفا لعنصر O^+ من اجل معامل التصادم الالكتروني بكمون كولوم ومعامل التصادم الالكتروني بكمون W.Ebeling عند الشروط $T=1.28 \times 10^4 \text{ } ^\circ K$ و $N_e = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

رسم المنحنى (7) طيف الإشعاع ليمان الفا لعنصر O^+ من اجل معامل التصادم الالكتروني بكمون كولوم ومعامل التصادم الالكتروني بكمون W.Ebeling عند الشروط $T=1.28 \times 10^4 \text{ } ^\circ K$ و $N_e = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. نلاحظ ان تعريض يقل عند استعمال كمون W. Ebeling عوض كمون كولوم، بينما سعة الخط تزداد .



المنحنى (8): طيف الإشعاع ليمان الفا لعنصر O^+ من اجل معامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم ومعامل التصادم الالكتروني لكمون W.Ebeling عند الشروط $T=1.47 \times 10^4 \text{ °K}$ و $N_e = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

يبين المنحنى (8) طيف الإشعاع ليمان الفا لعنصر O^+ من اجل معامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم و لكمون W.Ebeling عند الشروط $T=1.47 \times 10^4 \text{ °K}$ و $N_e = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ، عند استعمال كمون في حساب معامل التصادم الالكتروني يقل التحريض وتزداد شدة الخط الطيفي .

ملخص:

قمنا بإجراء مقارنات بين معامل التصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling) ومعامل التصادم الالكتروني لكمون كولوم بدلالة الشروط الفيزيائية (درجة الحرارة T والكثافة الالكترونية N_e والعدد الذري Z)، رسمنا كذلك نسبة التصحيح المئوية بدلالة نفس الشروط السابقة.

خاتمة عامة

قمنا في دراستنا بحساب معامل التصادم الالكتروني في البلازما الذي اختلفت الدراسات حوله حيث اخدنا بعين الاعتبار الفعل الكمومي بكمون جديد (كمون W.Ebeling) لحساب سعة التشتت ثم نقوم بحساب معامل التصادم الالكتروني لهذا الكمون.

كمون W.Ebeling هو كمون يجمع بين كمونين هما: الكمون الأول عند المسافات الكبيرة هو كمون كولوم إذا يمثل التفاعل بين جسيمتين حرتين مشحونتين، الكمون الثاني هو Kelbg الذي يأخذ بعين الاعتبار الفعل الكمومي عند المسافات الصغيرة.

قدمنا أربع فصول:

الفصل الأول: تقديم عموميات البلازما ومعاملاتها وتصنيفاتها والتعريض فيها.

الفصل الثاني: درسنا أهمية خطوط الطيف، التصادمات في البلازما، سعت التشتت الكمومية ومعامل التصادم الالكتروني (مقاربة غريم).

الفصل الثالث: حسبنا سعة التشتت ومعامل التصادم الالكتروني بكمون (W.Ebeling).

الفصل الرابع: ناقشنا نتائج نسبة التصحيح على معامل التصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling) ولكمون كولوم بدلالة الشروط الفيزيائية (درجة الحرارة T والكثافة الالكترونية N_e والعدد الذري Z) وكذا تأثير نسبة التصحيح على خط الطيف.

استنتجنا من خلال هذا العمل انه إذا زادت درجة الحرارة نقص معامل التصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling) بينما تزايد معامل Griem اما النسبة المئوية للتصحيح النسبي فتزداد بزيادة درجة الحرارة لتجاوز نسبة 100%.

تطور معامل غريم مع الكثافة الالكترونية يكون طرديا، لكن معامل التصادم الالكتروني لكمون (W.Ebeling) يتزايد في الكثافات الضعيفة حتى يبلغ قيمة قصوى عند الكثافة $N_e = 8 \times$

10^{22}m^{-3} (في الشروط $T=11500^\circ\text{K}$ ومن اجل O^+) ثم يبدأ في التناقص. في هذه الحالة نسبة التصحيح تتزايد بزيادة الكثافة الالكترونية لتصل الى 100%.

نسبة التصحيح تكون كبيرة من اجل الشوراد الخفيفة وتكاد تكون منعدمة عند اشباه الهيدروجين الثقيلة. وجدنا كذلك ان نسبة التصحيح تؤثر على الطيف فتتقص عرضه بينما تزيد في شدته.

تبعاً لهذه النتائج تبين انه لا يمكن اهمال الفعل الكمومي اذ انه يكون مهم جداً في درجات الحرارة العالية وكثافات الضعيفة نسبياً لأشباه الهيدروجين الخفيفة.

- [1] -J. L. Delcroix et A. Bers; Physique des Plasmas, inter édition, CNRS éditions, paris, (1994).
- [2] -I. Langmuir; Proc. Nat. Acad. Sci, U. S, **14**, 627, (1928).
- [3] N. Crouseilles; Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, (2004).
- [4] -D.Boland; Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, France, (2012).
- [5] -S.Douis; Thèse de doctorat, Université KasdiMerbah de Ouargla, Algérie, (2013).
- [6]- A. K. Touati; Thèse de doctorat, Université de Provence, France, (2003).
- [7] -K.Chénini; Thèse de Magister, Université de Ouargla, (2000).
- [8] - L. Ben mebrouk; Mémoire de Magister, Université de Ouargla, (2003).
- [9] -S.Ichimarū; Plasma Physics, Benjamin/Cummings. Publishing Company, Inc, Menlo Park. California, (1986).
- [10] -K. Chenini; Thèse de doctorat, Université KasdiMerbah, Ouargla, Algérie, (2011).
- [11] -M. T. Meftah; Thèse de doctorat, Université de Provence, France, (1996).
- [12]- S. Sahal-Bréchet; Astron. Astrophys. **2**, 322, (1969).
- [13] -H. R. Griem, A. Kolb, and Y. Shen; Phys. Rev. **116**, 4 (1959).
- [14] -H. R. Griem; Plasma Spectroscopy, McGraw-Hill, New York (1964).
- [15] -H. R. Griem, M. Baranger, A. C. Kolb, et G. Oertel; Phys. Rev. **125**, 177 (1962).
- [16] -H. R. Griem, K. Y. Shen; Rev. Mod. Phys. **122**, 1490 (1961).
- [17] -S.Sahal-Bréchet, et H. Van Regemorter; C.R.A.S. **256**, 609 (1963).
- [18] -S.Sahal-Bréchet; Astron. Astrophys. **2**, 322 (1969).
- [19] -A.Naam; mémoire de Doctorat Université de Ouargla, (2015).

ملخص

يجيب طيف الخطوط بتعريض أو إزاحة على مختلف التفاعلات بين المشع والجسيمات المسببة للاضطراب، التي تسبق أو تزامن الإشعاع. فغالبا ماتعوض القيمة المتوسط للفعل الإلكتروني بمعامل التصادم الإلكتروني. في هذا المذكرة، قمنا بحساب هذا المعامل من أجل الخطوط المعزولة دون وجود البنية الدقيقة، حيث نأخذ متوسط التصادمات وفق معامل الصدم والسرعات الابتدائية. كما اعتبرنا أن التصادمات تتم بشكل ثنائي بين الإلكترون والايون المشع في البلازما، أين يكون التفاعل المأخوذ بين كل ثنائية يحوي الفعل الكمومي، وهذا يتمثل في كمون يسمى كمون W.Ebeling. توصلنا في هذا العمل إلى عبارة معامل التصادم الإلكتروني في البلازما أين الكمون الفاعل بين جسيماتها هو كمون W.Ebeling. في الأخير قمنا بإجراء بعض المقارنات للتصحيح الكمومي في معامل التصادم الإلكتروني و فيطيفالإشعاع حسب الكثافة الإلكترونية والعدد الذري ودرجة الحرارة.

الكلمات المفتاحية: التصادم الإلكتروني، تعريض ستارك، كمون W.Ebeling.

Résumé

Le spectre de raies répond par exposition ou décalage aux différentes interactions entre l'émetteur et les particules perturbatrices, qui précèdent ou accompagnent le rayonnement. La valeur moyenne de l'action électronique est souvent substituée au coefficient de collision électronique. Dans cette note, nous calculons ce paramètre pour des lignes isolées sans la structure fine, en prenant la moyenne des collisions en fonction du facteur de collision et des vitesses initiales. Nous avons également considéré que les collisions ont lieu en binaire entre l'électron et l'ion émetteur dans le plasma, où l'interaction prise entre chaque binaire contient l'action quantique, et celle-ci est représentée dans un potentiel appelé potentiel de W.Ebeling. Dans ce travail, nous sommes arrivés à l'expression du coefficient de collision électronique dans le plasma, où le potentiel effectif entre ses particules est le potentiel W.Ebeling. Enfin, nous avons effectué des comparaisons pour la correction quantique sur l'opérateur de collision électronique et du spectre de rayonnement en fonction de la densité électronique, du numéro atomique et de la température.

Mots clés : Collision électronique, élargissement Stark, potentiel W.Ebeling.

Abstract

The line spectrum responds by exposure or shift to the various interactions between the emitter and the disturbing particles, which precede or accompany the radiation. The average value of the electronic action is often substituted for the electronic collision coefficient. In this note, we calculate this parameter for isolated lines without the fine structure, taking the average of the collisions as a function of the collision factor and the initial velocities. We also considered that the collisions take place in binary between the electron and the emitter ion in the plasma, where the interaction taken between each binary contains the quantum action, and this is represented in a potential called potential of W.Ebeling. In this work, we arrived at the expression of the electronic collision coefficient in the plasma, where the effective potential between its particles is the W.Ebeling potential. Finally, we performed comparisons for the quantum correction on the electron collision operator and the radiation spectrum as a function of electron density, atomic number, and temperature.

Keywords: Electronic collision, Stark enlargement, W.Ebeling potential.