

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

فرع : الفيزياء

التخصص: فيزياء إشعاعات, كاشف وبصريات إلكترونية

من إعداد الطالبة: أوليدي كلثوم

بعنوان:

تأثير الفعل الكمومي على حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي  
المجهرية في بلازما ذات مركب واحد

نوقشت يوم: 2017 / 05 / 24

أمام لجنة المناقشة المتكونة من:

|             |             |               |               |
|-------------|-------------|---------------|---------------|
| رئيسا       | جامعة ورقلة | أستاذ مساعد أ | أ. بلة زكية   |
| ممتحنا      | جامعة ورقلة | أستاذ محاضر أ | د. نعمان أمال |
| مقررا       | جامعة ورقلة | أستاذ محاضر أ | د. شهرة ثورية |
| مساعد مقررا | جامعة ورقلة | أستاذ مساعد أ | أ.عباسة حكيمة |

الموسم الجامعي: 2016 / 2017

## شكر و عرفان

الشكر أولا و أخيرا لله عز و جل الذي كان خير عون لي في هذا البحث فوفقت بفضلته لتقديمه على هذه الصورة و من لم يشكر الناس فلم يشكر الله و عليه.

أتقدم بالشكر الخالص للدكتورة شهرة ثورية أستاذة محاضرة بجامعة قاصدي مرباح ورقلة لإشرافها على المذكرة وتوجيهاتها وصبرها لإكمال هذا العمل.

إلى الأستاذة عبابسة حكيمة أستاذة مساعدة بجامعة قاصدي مرباح ورقلة على مساعدتها في الإشراف شكرا جزيلًا.

أقدم شكري للجنة المناقشة المكونة من الأستاذة بلة زكية أستاذة مساعدة بجامعة قاصدي مرباح ورقلة على قبولها ترأس لجنة

المناقشة و أيضا الدكتورة نعام آمال أستاذة محاضرة بجامعة قاصدي مرباح ورقلة على قبولها عضواً ممتحنًا.

أتقدم بالشكر الخالص لأمي وأبي لرضاهم عني السبب الذي أكسبني الثقة بنفسي و الطمأنينة والراحة النفسية أدامكما الله سالمين معافين لرتوي من رضاكما.

تشكراتي الخالصة من الأعماق إلى زوجي الذي كان السبب الأكبر في وصولي إلى هذا المستوى من التعليم و لتجاوزه لكثير من الأخطاء و الانفعالات التي تصيبني و تشجيعه المتواصل و الملح لمواصلة مسيرة الجهاد هاته أدامك الله فوق رؤوسنا سليما معافى و أفضاك عنا.

تشكراتي إلى من آمل أن يباهي بهم النبي عليه الصلاة و السلام الأمم يوم القيامة أبنائي وابنتي.

تشكراتي إلى كل من علمني حرفا عبر كل مراحل تعليمي من المرحلة الابتدائية وصولا حتى مرحلة التعليم العالي.

أشكر الطالب فضيل شاوش على مساهمته في هذه المذكرة بمساعدتي في الترجمة، و أشكر كل زميلاتي في قسم الفيزياء الإشعاعية

اللواتي وسعن الضيق عنا بالمزاح و المرح في الوقت العسير.

## فهرس المحتويات

|    |              |
|----|--------------|
| i  | فهرس الأشكال |
| i  | فهرس الجداول |
| 01 | مقدمة عامة   |

### الفصل الأول: عموميات حول البلازما

|    |                                           |
|----|-------------------------------------------|
| 04 | 1-1 مقدمة                                 |
| 04 | 2-1 ومضة تاريخية                          |
| 05 | 3-1 تعاريف البلازما                       |
| 05 | 4-1 مختلف أشكال البلازما                  |
| 05 | 1-4-1 البلازما الطبيعية                   |
| 06 | 2-4-1 البلازما الصناعية                   |
| 06 | 5-1 بعض خصائص البلازما                    |
| 06 | 1-5-1 التوصيل الكهربائي في البلازما       |
| 06 | 2-5-1 ذبذبات البلازما وحركة الموجة        |
| 07 | 3-5-1 التعادل الكهربائي في البلازما       |
| 07 | 6-1 أهم المقادير في فيزياء البلازما       |
| 07 | 1-6-1 درجة الحرارة                        |
| 07 | 2-6-1 نصف قطر الكرة الالكترونية والايونية |
| 08 | 3-6-1 وسيط الترابط $\Gamma$               |
| 08 | 4-6-1 طول موجة ديروغلي الحرارية           |
| 09 | 5-6-1 نصف قطر ديبي                        |
| 09 | 6-6-1 درجة التكميم                        |
| 09 | 7-1 معالجة البلازما                       |
| 10 | 8-1 خلاصة                                 |

### الفصل الثاني: تفاعل *W.Ebeling* و حساب الدالة القطرية

|    |                                              |
|----|----------------------------------------------|
| 12 | 1-2 مقدمة                                    |
| 12 | 2-2 تفاعل <i>Kelbg</i>                       |
| 13 | 3-2 تفاعل <i>W. Ebeling</i>                  |
| 14 | 4-2 التأثير الكمومي على دالة التوزيع القطرية |
| 15 | 4-2 النتائج والمناقشة                        |
| 17 | 6-2 خلاصة                                    |

## الفصل الثالث: حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري لبلازما ذات مركب واحد

### باستخدام تفاعل *W. Ebeling*

|    |       |                                                   |
|----|-------|---------------------------------------------------|
| 19 | ..... | 1-3 مقدمة                                         |
| 19 | ..... | 2-3 أهمية حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري |
| 20 | ..... | 3-3 النموذج النظري                                |
| 21 | ..... | 4-3 النتائج والمناقشة                             |
| 25 | ..... | 5-3 خلاصة                                         |
| 26 | ..... | خلاصة عامة                                        |
| 28 | ..... | المراجع                                           |

## فهرس الأشكال

- الشكل (1.2) مقارنة بين منحنى تفاعل *W.Ebeling* عند المسافات الصغيرة اقل  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$  من وتفاعل ديبي (كمون *W.Ebeling* عند مسافات أكبر من  $y_1$ ) و إيجاد اقرب نقطة تقارب بينهما في بلازما ذات  $\Gamma = 0.12, \eta = 0.56$  ..... 16
- الشكل (2.2) مقارنة بيانية بين دالة التوزيع القطرية لتفاعل *W.Ebeling* ودالة التوزيع القطرية *Debye* و الدالة القطرية لـ *Deutsch* المحجب من أجل  $y_1 = 0.558, \Gamma = 0.12, \eta = 0.56$  ... 17
- الشكل (1.3) مخطط لسير برنامج الفوترون لحساب دالة توزيع الحقل الكهربائي ..... 22
- الشكل (2.3) مقارنة لدالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري باستخدام تفاعل *W. Ebeling* مع دوال توزيع الحقل الناتجة عن استخدام تفاعل *Deutsch* و *Debye* تحت الشروط  $\eta = 0.56$  و  $\Gamma = 0.12$  ..... 23
- الشكل (3.3) تغيرات دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري الناتجة عن تفاعل من اجل *W. Ebeling* قيم مختلفة لدرجة التكميم  $\eta$  و نقطة التقارب  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$  ونفس القيمة لـ  $\Gamma = 0.12$  ..... 24

## فهرس الجداول

- الجدول (1.3) قيم درجة التكميم بدلالة تغيير قيم درجة الحرارة و الكثافة و  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$  ..... 24

## مقدمة عامة

تعد البلازما من المواضيع الحديثة، فلقد أدخلت الى علم الفيزياء في مطلع القرن العشرين. تعالج البلازما مجهريا لكون ظواهرها تحدث على سلم صغير جدا من الأطوال، تحوي عددا ضخما من الجسيمات لذا يتوجب معالجتها احصائيا، إذ يحلل الطيف الصادر عنها كيفية معرفة تشكل هذه البلازما من تلك، وكميا لمعرفة تراكيزها ودرجات حرارتها.

وحسب المختصين بمطيفية البلازما أن أشكال الخطوط الطيفية الصادرة عن بلازما معزولة تكاد تكون خطأ لا عرض له، أما إذا كانت غير معزولة، أي داخل وسط مادي، فإنها تتفاعل مع بقية جسيمات هذا الوسط مما يجعل الخطوط الطيفية لها عريضة. وكثيرة الأسباب التي تؤدي إلى تعريض الخطوط الطيفية، منها التصادم وتأثير الحقل الكهربائي الموضوعي وهو المعروف بفعل ستارك *Stark* أو تعريض ستارك وهو ما يهمننا في هذه الدراسة.

فتعريض ستارك من الأسباب المهمة التي تؤدي إلى تعريض الخطوط الطيفية، ويدخل هذا الفعل في الصيغة الطيفية بتقريبات ذات رتب مختلفة، فمن الرتبة الأولى يتم بما يعرف بدوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي *microfield distribution function*، و تمثل احتمال أن يكون الحقل الموضوعي عند قيمة ما. بدأت الدراسات الأولى في هذا الموضوع من طرف *Holtmark* سنة 1919 حيث افترض ان البلازما (الوسط) مؤلف من عدد كبير من الجسيمات لا تتفاعل مع بعضها عند درجة حرارة كبيرة جدا حيث تهيمن الطاقة الحركية على الطاقة الكامنة أي ترابط ضعيف وكان هذا التقريب الاولي لدالة التوزيع التي أصبحت فيما بعد نهاية كل النماذج الأخرى.

في هذه المذكرة سنهتم بدراسة دالة توزيع الحقل الكهربائي عند ادخال التأثير الكمومي عند المسافات الصغيرة الذي كنا نقوم بإهماله عند استخدام تفاعل ديباي بين الايونات، حيث نجد بعض الدراسات استخدمت الكمون المقترح من طرف *Deutsch*، وهذا التفاعل لا يعطي نفس القيمة التي يعطيها تفاعل الأصلي لـ *Kelbg* عند الصفر، و نحن من خلال هذا العمل سوف ندخل تفاعلا آخر مقترح من طرف *W. E. beling* مع بعض التصحيحات الذي يعطي نفس القيمة المعطاة من طرف تفاعل *Kelbg* عند الصفر.

قسمت المذكرة الى ثلاث فصول اساسية حيث نعرض في الفصل الأول عموميات حول البلازما ماهيتها، وخواصها وبعض المقادير المهمة. في الفصل الثاني سنهتم بالتفاعل بين الشاتبة وايونات البلازما عند الاخذ بعين الاعتبار التأثير الكمومي عند المسافات

الصغيرة، على ضوء نتائج تفاعل *Kelbg* عند مسافة صفر و وضع واقتراح *W. E. beling* تفاعل يحقق نفس القيمة عند الصفر وينتهي الى تفاعل ديباي عند مالا نهاية، وفي هذا الفصل قمنا بحساب دالة التوزيع القطرية اعتمادا على هذا الاقتراح باستخدام الوسيطين: وسيط الارتباط (التزاوج) ودرجة الكمومية وتحصلنا على نتائج، وينتهي الفصل بالنتائج والمناقشة.

أما الفصل الثاني فنقوم بحساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري اعتمادا على التفاعل المقترح من طرف *W. E. beling* وعرض النتائج والمناقشة.

تنتهي المذكرة بخلاصة عامة وأيضا ببعض الآفاق لهذا العمل.

## الفصل الأول

### عموميات حول البلازما

# الفصل الأول

## عموميات حول البلازما

### 1-1 مقدمة

البلازما عبارة عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة (إلكترونات سالبة الشحنة و أيونات موجبة الشحنة) بتناسب معين يجعل الوسط إجمالاً متعادلاً كهربائياً. وتتشرك كل أنواع البلازما بأنها تخضع وتفسر بنفس الآليات و تديرها نفس القوانين الفيزيائية و ذلك حتى باختلاف مقادير وسائطها، سندرس البلازما من خلال الطيف الصادر عنها.

في هذا الفصل سنعرض عموميات حول البلازما، وبعض المقادير المهم التي نعرضها كمتغيرات بدلا من تغيرات درجة الحرارة و الكثافة مثل وسيط الترابط (*coupling paramter*) و درجة التكميم (*degree of quantization*) ومقادير أخرى التي تعتبر كوحدة في سلم القياس مثل نصف قطر الكرة الالكترونية (*electronic sphere radius*).

### 2-1 ومضة تاريخية

تغزو البلازما الكون نسبة تفوق 99%، كما تشكل البلازما في الطبيعة الحالة الرابعة للمادة [1]، إن أول من اطلق مصطلح الحالة الرابعة للمادة هو الإنجليزي "*Sir William Crookes*" عام 1879 لوصف القسم المتأين من الإنفراغات الغازية. و قد علل مصطلحه على الشكل التالي: تتحول المادة الصلبة بالتسخين الى الحالة السائلة و باستمرار التسخين تتحول الى غاز و عند رفع درجة حرارة الغاز إلى حد معين يصل إلى  $10^6 K$  تزداد طاقته الحركية إلى الحد الذي يؤدي إلى تصادمها مع بعضها البعض إلى انفلاتها إلى إلكترونات و أيونات موجبة الشحنة [3].

أدخل الفيزيائيان *Tonks* و *Langmuir* [5,4]، و لأول مرة عام 1923، مفهوم البلازما، و ذلك للدلالة على حالة الغاز المتأين الموجود داخل أنبوبة انفراغ [1]. لأنه رأى أنها تشبه بلازما الدم، ونظرا للأهمية الكبيرة لفيزياء الأوساط الطبيعية، و التطبيقات الصناعية تم تطويرها بشكل معتبر معتمدين على قوانين الفيزياء الحديثة [6].

### 3-1 تعاريف البلازما

❖ يمكن وصف البلازما بأنها تجمع لجسيمات متأينة، تتفاعل جماعيا بالقوى الكهرومغناطيسية بعيدة المدى و المرتبطة بشحناتها و حركاتها [7].

❖ يمكن القول بأن البلازما غاز متأين يحوي عددا كبيرا وكافيا من جسيمات مشحونة، تحجب نفسها إلكتروناتيكيا عند مسافة صغيرة [8].

❖ البلازما خليط من الذرات المعتدلة كهربائيا والإلكترونات السالبة و الأيونات الموجبة [9].

### 4-1 مختلف أشكال البلازما

يمكن تمييز البلازما انطلاقا من درجة التأين والكثافة ودرجة حرارتها الإلكترونية. و يسمح هذا التقريب الأولي بالقول أن فيزياء البلازما تغطي مجالا من الكثافة الإلكترونية يتراوح ما بين  $10^6 \text{m}^{-3}$  (الفضاء بين الكواكب) الى  $10^{30} \text{m}^{-3}$  (البلازما في المعادن و النجوم)، و من أجل درجات حرارة تتراوح ما بين  $10^2 \text{K}$  (الفضاء بين الكواكب) و  $10^8 \text{K}$  (داخل النجوم و بلازما الإندماج). و هكذا تحتل فيزياء البلازما مكانا مهما في دراسة الأوساط الطبيعية و الغازات المتأينة التي يمكن الحصول عليها في المخبر [1]، و منه يمكننا تمييز أشكال البلازما التالية

#### 1-4-1 البلازما الطبيعية

حيث متوسط الطاقة الحركية الحرارية لمكوناتها يفوق متوسط الطاقة الكامنة الكهربائية المتبادلة بين جسيماتها [8]. وتنقسم إلى نوعين:

بلازما طبيعية كونية: تمثل النسبة الكبيرة في هذا الكون كالبلازما على سطح الشمس؛ فالغيوم المضيفة المحيطة بسطحها المشع تبلغ درجة حرارتها  $5700 \text{k}$ ، أما بلازما مركز الشمس درجة حرارتها  $17$  مليون كلفن، مثال آخر البلازما على سطوح النجوم حيث تبلغ درجة حرارتها  $10^4 \text{k}$  بينما البلازما في جوف النجوم حرارتها تقدر بـ  $10^7 \text{k}$ ، و أيضا بلازما الرياح الشمسية.

بلازما طبيعية أرضية: تحدث على مستوى كوكب الأرض تمثل نسبة أقل من سابقتها من أمثلتها البلازما الموجودة في غلاف جو الأرض والمعروفة باسم الكرة المتأينة (الأيونوسفير)، البرق، الصواعق [6].

## 1-4-2 البلازما الصناعية

وجود البلازما نادرا جدا في محيطنا، لذا لجأ الإنسان لتوليدها صناعيا [6]، يمكننا تمييز ثلاثة أنواع منها:

**البلازما الباردة:** درجات حرارة الأيونات والجسيمات المعتدلة أخفض من  $10^3 K$ ، في حين تكون الإلكترونات ذات درجات حرارة مرتفعة (تستخدم في معالجة السطوح و في تحضير مواد جديدة، و التنقية من التلوث، و توليد الأوزون، و الكيمياء بمساعدة البلازما).

**البلازما الحارارية:** التي تتميز بدرجات حرارة عمل أعلى من  $10^3 K$  (استخدام انقراض القوس الكهربائية في اللحام و القطع و التنقية من التلوث و غيرها).

**البلازما الحارة:** التي توافق درجة حرارة أعلى من  $10^6 K$ ، (و يكمن الهدف في إنتاج الطاقة الكهربائية انطلاقا من الاندماج النووي المتحكم به) [1]

## 1-5-5 بعض خصائص البلازما

### 1-5-1 التوصيل الكهربائي في البلازما

بما أن البلازما غاز على التأين، يضم عددا هائلا من الجسيمات المشحونة المتحركة بحرية داخلها، فأنها تعد موصلا جيدا للكهرباء. تتبادل هذه الجسيمات التأثير مع الحقل الكهرومغناطيسي الموضعي، كما أن الحركة المنظمة لها تحدث تيارات كهربائية و تغيرات لكثافة الشحنة تؤدي إلى نشوء حقول كهرومغناطيسية [8].

### 1-5-2 ذبذبات البلازما وحركة الموجة

من صفاتها المهمة أيضا قابليتها لحمل الذبذبات و بث الموجات. و يمكن أن تحدث أنواع مختلفة من السلوك التذبذبي، إلا أن هذه الذبذبات قد تكون معقدة جدا بسبب الميزة غير الخطية للمعادلات الهيدروديناميكية لها. لقد نوقشت الذبذبات الكهروستاتيكية في البلازما لأول مرة من قبل *Langmuir* و *Tonkes*. في الحقيقة يوجد نوعان محتملان من الذبذبات الكهروستاتيكية، ذبذبات

التردد العالي التي تكون سريعة جدا، إذ يصعب على الأيونات الثقيلة أن تتبعها، وذبذبات الأيونات التي تكون بطيئة جدا، بحيث أن الإلكترونات تتوزع دائما حول الأيونات بنمط إحصائي [9].

### 3-5-1 التعداد الكهربائي في البلازما

إحدى الصفات المهمة في البلازما هي نزعتها لتبقى متعادلة كهربائيا، أي ميلها إلى توازن الشحنة الفراغية السالبة مع الشحنة الفراغية الموجبة في كل جزء من الحجم العيني، و أن أي اختلاف بسيط في كثافة الشحنة الفراغية يسبب نشوء قوى كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التعداد، من جهة أخرى إذا تعرضت البلازما إلى حقل كهربائي خارجي فإن كثافة الشحنات الفراغية ستتنظم نفسها بحيث يحجب الجزء الأعظم من البلازما من تأثيرات هذا الحقل [8].

### 6-1 أهم المقادير في فيزياء البلازما

بما ان البلازما عبارة عن غاز مؤين، فإنه تستخدم لوصفها نفس الوسائط المستخدمة لوصف غاز عادي، بالإضافة الى وسائط أخرى انطلقا من تصورات فيزيائية. قبل كل شيء نعرف تركيز جسيمات البلازما المختلفة (عددتها في وحدة الحجم)  $n_e$  للإلكترونات و  $n_i$  للأيونات. بما ان البلازما تحتوي على أصناف مختلفة من المركبات فينبغي معرفة شحنة كل صنف  $q_i = Ze$  للأيون (Z تكرارية التأين) و  $q_e = -e$  للإلكترون، في حالة البلازما أحادية التأين لصنف واحد يكون:  $n_e = n_i$  و  $q_i = e$

### 1-6-1 درجة الحرارة

يمكن لبلازما معينة أن تملك عدة درجات حرارة في نفس الوقت و غالبا ما تملك الإلكترونات و الأيونات توزيعين مختلفين لدرجة الحرارة و هذا ممكن لأن تواتر الصدمات بين الأيونات فيما بينها أو بين أن يكون أكبر من تواتر الصدمات بين الإلكترونات و الأيونات، عندئذ كل نوع من الجزيئات يمكن أن يكون في حالة توازن حراري مستقل عن النوع الآخر. أما عندما يكون لدينا مجال مغناطيسي فإنه حتى النوع الآخر من الجزيئات يمكن أن توجد درجتى حرارة مختلفتين [2].

### 2-6-1 نصف قطر الكرة الإلكترونية والأيونية

نصف قطر الكرة الإلكترونية: يميز نصف قطر الكرة الإلكترونية البعد المتوسط بين الكترونين و يعطى بالشكل التالي [13,8]:

$$r_e = \left( \left( \frac{15}{4} \right) \frac{1}{(2\pi)^{3/2} n_e} \right)^{1/3} \quad (1.1)$$

حيث:  $n_e$  الكثافة الإلكترونية.

نصف قطر الكرة الأيونية: يميز نصف قطر الكرة الأيونية البعد المتوسط بين أيونين تعطى العبارة بالشكل [13،8]،

$$r_i = \left( \left( \frac{15}{4} \right) \frac{1}{(2\pi)^{3/2} n_i} \right)^{1/3} \quad (1.2)$$

$n_i$  : الكثافة الايونية.

### 3-6-1 وسيط الترابط $\Gamma$

يعرف هذا الوسيط على انه النسبة بين الطاقة الكامنة المتوسطة للجسيم لتفاعله مع جسيم آخر و الطاقة الحركية المتوسطة له، لذلك يعتبر مقياس مدى ترابط جسيمات البلازما، عندما يكون  $\Gamma \geq 1$  أي أن التزاوج (الترابط) شديد وهنا الطاقة الكامنة المتوسطة أكبر من الطاقة الحركية ، أما عندما يكون  $\Gamma \ll 1$  فإن للطاقة الحركية الدور الأكبر في وصف سلوك الجسيمات؛ أي أن التزاوج بين هذه الجسيمات ضعيف [14]، حيث تتحرك الجسيمات بحرية كبيرة و بتصادمات قليلة ما يعني أن التأثير البيئي بينها ضعيف [7]، و يقال عن البلازما أنها مثالية [15] .

بالنسبة للأيونات:

$$\Gamma_{ii} = \frac{(ze)^2}{k_B T r_i} \quad (1.3)$$

بالنسبة للإلكترونات

$$\Gamma_{ee} = \frac{e^2}{k_B T r_e} \quad (1.4)$$

أما بالنسبة للإلكترونات و الأيونات

$$\Gamma_{ei} = \frac{ze^2}{k_B T r_{ei}} \quad (1.5)$$

حيث:  $r_{ei} = \frac{r_e + r_i}{2}$  ،  $k_B$  ثابت بولتزمان (Boltzmann constant) ،  $T$  درجة الحرارة .

### 4-6-1 طول موجة ديبروغلي الحرارية

يعطي طول موجة ديبروغلي (de Broglie) الحرارية الالكتروني تقييما للطبيعة الموجية الكمية لجسيمات البلازما و يعرف بالمعادلة

التالية [10]:

$$\lambda_T = \frac{h}{\sqrt{2\pi m_e k_B T}} \quad (1.6)$$

حيث:  $m_e$  كتلة الإلكترون،  $h$  ثابت بلانك (Blanc constant)

### 1-6-5 نصف قطر ديبي

قبل التطرق إلى نصف قطر ديبي لابد من الإشارة إلى ظاهرة مهمة وهي ظاهرة الحجب. و المقصود بها حجب شحنة من البلازما بواسطة سحابة من الشحنات المعاكسة، و من هذه الظاهرة استنتج بعد ديبي الذي يعتبر أحد أهم خصائص البلازما [17] و يمكن فهم هذه المسافة بتصور شحنة موجبة تحيط بها إلكترونات تخضع لقوتين متعاكستين. قوة التجاذب الكولومي التي تؤثر بها الشحنة الموجبة، و قوة أخرى سببها التهييج الحراري. يضمن التوازن بين هاتين القوتين عدم الاتحاد بين الشحنات الموجبة و السالبة في البلازما. و نصف قطر ديبي يشير إلى أقصر مسافة تتحرك فيها الإلكترونات عشوائيا في البلازما و يعطى بالعلاقة التالية [16]:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{k_B T}{4\pi e^2 n_e}} \quad (SI) = 6.9 \sqrt{\frac{T}{ne}} \quad (cgs) \quad (1.7)$$

يمكن ان نعرف أيضا كمون ديبي الناتج عن ايون  $Ze$ ، ويمكن استنتاج صيغته على حل معادلة بواسن في حالة الترابط الضعيف:

$$\phi = \frac{Ze}{r} e^{-r/\lambda_D} \quad (1.8)$$

### 1-6-6 درجة التكميم

تعرف درجة التكميم (*dégré of quantization*) بأنها النسبة بين طول موجة ديبروغلي الحرارية  $\lambda_T$  و نصف الكرة الالكترونية (المسافة المتوسطة بين الالكترونات) أي:

$$\eta = \frac{\lambda_T}{r_e} = \frac{h}{r_e \sqrt{2\pi m_e T}} \quad (1.9)$$

النهاية الكلاسيكية توافق ان المسافة بين الجسيمات المكونة للبلازما كبيرة مقارنة بطول موجة ديبروغلي  $\eta < 1$ .

### 1-7 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 كافي معالجة عينية بحتة، بل من الضروري استخدام النظرية الحركية. إن التعقيد في حالة البلازما بشتى أشكالها، قاد إلى عدد كبير من طرائق التحليل النظري المختلفة تماماً. و مع ذلك توجد ثلاثة صياغات تقريبية توفر لنا النظرة العامة لما يحدث في البلازما:

### نظرية التوازن

تستند إلى افتراض أن التصادمات بين الجسيمات المشحونة تكون كافية لتجعل توزيع الجسيمات في كيان البلازما كافياً لتوزيع بولتزمان - ماكسويل [8]:

$$N_j(\vec{v})dv_xdv_ydv_z = N_{0j} \sqrt{\frac{m_p}{2\pi k_B T}} \text{EXP}\left(\frac{-m_p v^2}{2K_B T}\right) dv_x dv_y dv_z \quad (1.10)$$

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  $T$  درجة الحرارة المطلقة.

### نظرية المدار

وهي تعالج حركة الجسيمات المشحونة في حقول كهربائية و مغناطيسية مفترضة، قد تكون توابع للموضع و الزمن. و تمثل هذه النظرية تقريباً جيداً لحركة جسيم في البلازما عندما لا تؤدي التصادمات الدور الرئيسي، أي عندما يكون متوسط المسار الحر للتصادمات كبيراً مقارنة بالأبعاد المميزة للمدار؛ و تعالج التصادمات في هذه الحالة كاضطراب.

### المعالجة الهيدروديناميكية و مغناطيسية

حيث تستخدم المعادلات الكهرومغناطيسية الكلاسيكية (معادلات ماكسويل)، و تدمج مع المعادلات الكلاسيكية لحركة الموائع، و هي معالجة عينية للبلازما؛ و تعد تقريباً جيداً عندما يكون متوسط المسار الحر للتصادمات صغيراً جداً بالنسبة للمسافات الفيزيائية المهمة في منظومة البلازما [8].

## 8-1 خلاصة

تطرقنا في هذا الفصل عموميات حول البلازما فقدمنا ومضة تاريخية مع بعض التعاريف لها، بالإضافة الى مختلف أشكالها و بعض خصائصها، بالإضافة الى أهم المقادير في فيزياء البلازما و المقادير بدون وحدة.

## الفصل الثاني

تفاعل *W.Ebeling* و حساب الدالة القطرية

## الفصل الثاني

### تفاعل *W.Ebeling* و حساب الدالة القطرية

#### 1-2 مقدمة

تفاعل كولوم (ديباي في حال إضافة الحجب) هو الكمون الوحيد المعروف في الترموديناميك الإحصائية بين الشحنات. لكن عند اخذ التأثير الكمومي بعين الاعتبار لا يصبح كمون كولوم هو الوحيد في ذلك بل يتعدى الى ما يسمى الكمون الفعال. حيث أدخلت فكرة الكمون الفعال أول مرة في الكيمياء الكمية من طرف *Hellman* و *Gombas* و في الفيزياء الإحصائية من طرف *Morita* منذ 1962 تم تطوير هذه النظرية إلى أداة طاقوية في فيزياء البلازما من طرف *Kelbg* و مساعديه في جامعة *Rostock* [19]. فكرة *Kelbg* قامت بتعويض كمون كولوم بالكمون الفعال عند الصفر بسبب الآثار الكمومية. أصل نظرية *Kelbg* تقوم على نظرية الاضطرابات الكمومية للعناصر القطرية لمصفوفة الكثافة، و قد نجح في الحصول على العبارة الصحيحة من أجل الدرجة الأولى ل  $e^2$ . و قد قامت مجموعة من جامعة روستوك بمن فيهم (*Hoffmann*, *Hetzheim*, *Ebeling* ...) بتطوير نظريته. تشكلت مدرسة روستوك في الإحصاء الكمي من طرف *Kelbg* و تركزت في الحساب التحليلي الخاص بدوال الترموديناميك القائمة على الكمون الفعال [19]. بعض الباحثين قاموا بحساب مصفوفة الكثافة لجسيمين من خلال دوال موجة معروفة متضمنة تقريبات عديدة [19]. و قام كل من *Zelener*, *Zamalin*, *Norman*, *Filinov*, بإعطاء أول التطبيقات بصيغة شكلية *Monte Carlo*. و بدأ *Deutsch* بتقريبات عملية. أما كل من *Hansan*, *McDonald*, *Pollock*, قاموا بإعطاء أول التطبيقات الخاصة بالديناميكية الجزئية DM.

#### 2-2 تفاعل *Kelbg*

طاقة التفاعل بين جسيمين  $i$  و  $j$  تفصلهما المسافة  $r$  حسب عبارة *Kelbg* [19]:

$$U_{ij}(r) = \frac{Z_i Z_j e_i e_j}{r} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-r^2}{\lambda_T^2}\right) + \frac{\sqrt{\pi} r}{\gamma_{ij} \lambda_T} \left(1 - \operatorname{erf}\left[\gamma_{ij} \frac{r}{\lambda_T}\right]\right) \right] \quad (2.1)$$

حيث:  $\text{erf}(x)$  تسمى دالة الخطأ (*error function*)، و  $\gamma_{ij}$  تساوي الواحد في الصيغة الاصلية لـ *Kelbg*. قيمة هذا التفاعل عند الصفر معرفة وتعطى بالمعادلة التالية:

$$U_{ij}(r=0) = \frac{Z_i Z_j e_i e_j \sqrt{\pi}}{\lambda_T} \quad (2.2)$$

نستخدم المعامل  $\gamma_{ij}$  لتعديل المسافة من المرجع (المبدأ). لأن عبارة *Kelbg* معقدة جدا. فقد اقترحت عدة عبارات مبسطة كعبارة *Zelener* الذين استعمل كمون كولوم من اجل شحنتين متساويتين ومتعاكستين في الاشارة وفق العلاقة:

$$U_{\pm} = -\frac{e^2}{r} \quad r > r_e, \quad U_{\pm} = \varepsilon \quad r < r_e = \frac{e^2}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

في المحاكاة بـ *MC* من اجل بلازما مكثفة غالبا ما تستخدم عبارة أخرى مبسطة لحساب الكمون الفعال و هي عبارة *Deutsch* [19]:

$$U_{ij} = \frac{Z_i Z_j e_i e_j}{r} [1 - \exp(-\alpha r)], \quad \alpha \approx \frac{1}{\lambda_T} \quad (2.4)$$

هذا التفاعل استخدم غالبا في الكيمياء الكمية من طرف *Kramers* و *Hellmann* و في نظرية التحليل الكهربائي من طرف *Glauber* و *Juchnovskii*. وفي المحاكاة بـ *MD* من طرف *Hansen*. سنشرح حاليا التصحيحات الإرشادية في الأبعاد الصغيرة. نتيجة لتقريب *Kelbg* (الدرجة الأولى في  $e^2$ )، الكمون الفعال ليس صحيحا عند  $r=0$ . و المشتق الأول لـ *Kelbg* عند  $r=0$  و عند  $r \rightarrow \infty$  صحيحة صحيحا، و موافق لميكانيك الكم. و هذا ما يقودنا إلى الأفكار المتضمنة لترتب اعلى لـ  $e^2$  عبر تكييف العامل  $\gamma_{ij}$  الداخلة في المعادلة (2.1)، حيث:

$$\gamma_{ij} = U_{ij}^{Kelbg}(0) / U_{ij}^{exact}(0) \quad (2.5)$$

و بأخذ  $U_{ij}^{exact}$  من الميكانيك الكم يمكن تحسين عبارة *Kelbg* جوهريا. هذا التقريب يسمى كمون *Kelbg* القطري المحسن (*IDKP*).

### 3-2 تفاعل *W.Ebeling*

و على ضوء ما سبق قام *W.Ebeling* باقتراح عبارة بسيطة تتضمن أيضا القيمة الدقيقة عند النقطة  $r=0$ . هذه العبارة يمكن استعمالها للمحاكاة [19]:

$$U_{ij}(r) = \begin{cases} \frac{e_i e_j}{\lambda_T} \left( \frac{\sqrt{\pi}}{\gamma_{ij}} - \frac{r}{\lambda_{ij}} \right) & r < r_1 \\ \frac{e_i e_j}{r} & r > r_1 \end{cases} \quad (2.6)$$

حيث  $r_1$  يحسب من شروط استمرارية الكمون عند  $r_1$ . هذه المقاربة تقودنا إلى القوى الجذ بسيطة. عندما تكون ثابتة في الأبعاد الصغيرة و كولومية من أجل الأبعاد الكبيرة.

و بناء على ما اقترح *W.Ebeling* الذي اعتمد على كمون *Kelbg* عند  $r = 0$  و كمون كولوم في ما لا نهاية ستكون دراستنا على نفس الكمون المقترح إلا أننا ادخلنا بعض الاضافات حيث اضفنا عليه الحجب. و فرضنا أن كل أيون ذو الشحنة  $ze$  و السحابة الإلكترونية المحيطة به تتفاعل كل منها مع أيون مركزي (شائبة)  $z_1 e$ ، و في هذا العمل سناخذ الأيون المركزي نفس النوع مع الأيونات المولدة للكمون أي ( $z_1 = z = 1$ ) و منه تصبح المعادلة (2.6) من الشكل:

$$U(r) = \begin{cases} \frac{e^2}{\lambda_T} \left( \frac{\sqrt{\pi}}{\gamma_T} - \frac{r}{\lambda_T} \right) \exp\left(-\frac{r}{\lambda_D}\right) & r < r_1 \\ \frac{e^2}{r} \exp\left(-\frac{r}{\lambda_D}\right) & r > r_1 \end{cases} \quad (2.7)$$

مع اخذ المعامل  $\gamma_T = 1$  من أجل  $T > 10^6 K$  و  $r_1$  يحسب عن طريق شروط استمرارية الكمون عند  $r_1$ ، حيث

وجدنا أنه يحقق معادلة من الدرجة الثانية بالصيغة التالية:

$$\gamma_T r_1^2 - \lambda_T \sqrt{\pi} r_1 + \lambda_T^2 \gamma_T = 0 \quad (2.9)$$

سوف نطبق هذا التفاعل على حساب دالة التوزيع القطرية.

## 4-2 التأثير الكمومي على دالة التوزيع القطرية

تلعب دالة التوزيع القطرية دورا جوهريا في العديد من علاقات البلازما؛ فهي تدخل في حساب الخصائص الستاتيكية مثل دالة توزيع الحقل الكهربائي، معاملات الانتشار و المعاملات الترموديناميكية، وفي حساب الخصائص الديناميكية مثل دوال الارتباط للحقل والسرعة. حساب دالة التوزيع القطرية يتعلق بالتفاعل المتبادل بين مكونات البلازما، لذلك فإدخال التأثير الكمومي على هذه الدالة عند المسافات الصغيرة جدا عنصر مهم في حساب كل الخصائص السابقة.

نعرف  $P(\vec{r}_1, \vec{r}_2) d\vec{r}_1 d\vec{r}_2$  احتمال وجود جسيمان متموضعين عند  $\vec{r}_1$  و  $\vec{r}_2$  في الفضاء حيث (20) :

$$\iint P_s(\vec{r}_1, \vec{r}_2) d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 = 1 \quad (2.10)$$

ندخل دالة الترابط  $g(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$  و المعرفة في الحجم  $V$  بالعلاقة التالية:

$$g(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = V^2 P_s(\vec{r}_1, \vec{r}_2) \quad (2.11)$$

عندما تكون إحدى الجسيمات في مبدأ الإحداثيات تصبح العلاقة السابقة:

$$\frac{1}{V} \int g(r) d\vec{r} = 1 \quad (2.12)$$

دالة الترابط القطرية يمكن التعبير عنها بعلاقة بسيطة بدلالة طاقة التفاعل بين الجسيمين  $U(r)$  [20]:

$$g(r) = \exp(-\beta U) \quad (2.13)$$

$$\beta = \frac{1}{K_B T} \text{ علما أن}$$

و باستخدام التفاعل السابق المعرف بالعلاقة (2.7) و (2.8)، و لدينا في هذه الحالة:  $n_e = n_i$  و  $n_e = r_0$

مع المقادير بدون وحدة التالية  $v = \frac{r_0}{\lambda_D}$  و  $v' = \frac{r_0}{\lambda_T}$  و  $y = \frac{r}{r_0}$ ، تصبح صيغة التفاعل:

$$U(y) = \begin{cases} \frac{e^2}{r_0} v' (\sqrt{\pi} - yv') \exp(-yv) & , \quad y < y_1 = \frac{r_1}{r_0} \\ \frac{e^2}{r_0 y} \exp(-yv) & , \quad y > y_1 = \frac{r_1}{r_0} \end{cases} \quad (2.14)$$

و بتعويض (2.14) في (2.13) تصبح صيغة  $g(y)$  كالآتي:

$$g(y) = \begin{cases} \exp[-\Gamma v' (\sqrt{\pi} - yv') \exp(-yv)] & , \quad y < y_1 = \frac{r_1}{r_0} \\ \exp\left[-\frac{\Gamma}{y} \exp(-yv)\right] & , \quad y > y_1 = \frac{r_1}{r_0} \end{cases} \quad (2.15)$$

## 2-5 النتائج و المناقشة

الفكرة الأساسية في تطبيق تفاعل  $W.Ebeling$  لحساب دالة التوزيع القطرية او أي حساب اخر هو إيجاد حدود التأثير

الكمومي أي إيجاد  $r_1$  الذي عنده يتساوى كمون  $W.Ebeling$  عند المسافات الصغيرة وكمون ديبياي (شروط استمرارية الكمون)

لذلك المفروض ان نجد حلول المعادلة رقم (2.9) وهي معادلة من الدرجة الثانية، لكن نلاحظ أنه من أجل حالتنا وهي وضع

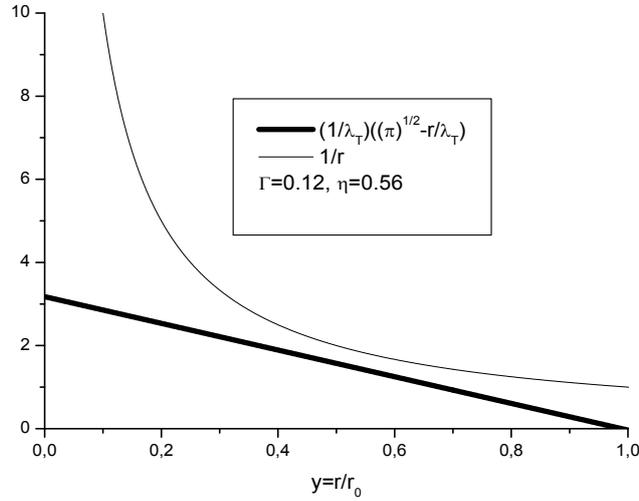
المعامل  $\gamma = 1$  حسب الاعمال الاصلية لـ  $Kelbg$  عند  $T > 10^6 k$  نحصل على  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$  عدد مركب دائما، لذلك اتجهنا

إلى المقارنة البيانية بين المعادلة (2.7) و (2.8)، و إيجاد أقرب نقطة تقارب بين المنحنيين.

يمثل الشكل (1.2) مقارنة بين منحنى  $W.Ebeling$  عند المسافات الصغيرة اقل  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$  من وكمون ديبياي (كمون

$W.Ebeling$  عند مسافات اكبر من  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$ ، حيث تحصلنا اقرب نقطة بين المنحنيين  $y_1 = 0.558$  وذلك من اجل

$\eta = 0.56$  و  $\Gamma = 0.12$ ، وهما الوسيطان اللذان يحددان المعطيات الفيزيائية للبلازما بدل من درجة الحرارة والكثافة.



الشكل (1.2) مقارنة بين منحنى تفاعل *W.Ebeling* عند المسافات الصغيرة اقل  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$  من وتفاعل ديبي (كمون لتفاعل *W.Ebeling* عند مسافات أكبر من  $y_1$ ) و إيجاد أقرب نقطة تقارب بينهما في بلازما ذات  $\Gamma = 0.12, \eta = 0.56$ .

بعد أن تحصلنا على أقرب نقطة تقارب سنقوم بحساب الدالة القطرية باستعمال تفاعل *W.Ebeling* و نقارنها بالدالة القطرية لتفاعل *Debye* او لتفاعل *Deutsch* المحجب ذوي الصيغتين التاليتين على الترتيب:

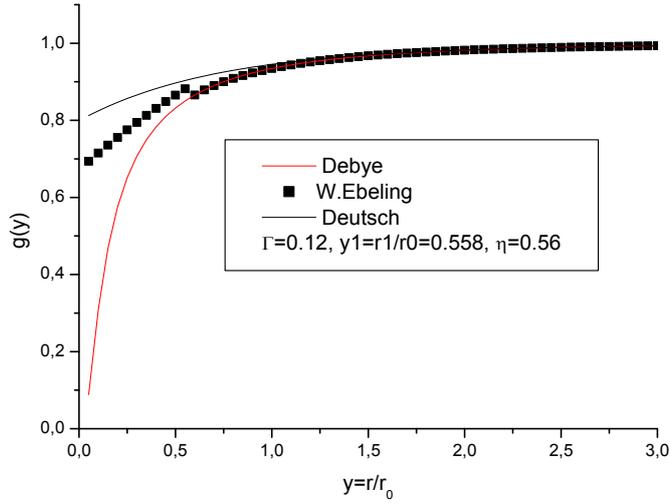
$$g(y) = \exp\left[-\frac{\Gamma}{y} \exp(-yv)\right] \quad \text{Debye}$$

$$g(y) = \exp\left[-\frac{\Gamma}{y}(1 - \exp(-vy))\right] \exp(-yv) \quad \text{Deutsch}$$

يوضح الشكل (2.2) تغيرات الدالة القطرية  $g(r)$  بدلالة  $r$  في الوحدة ( $r_0$ )، حيث نلاحظ أن استعمال تفاعل ديبي لحساب الدالة القطرية غير صالح عند المسافات الصغيرة جداً لأنه لا يظهر التأثير الكمومي.

كما اشرنا سابقاً يوجد عدة نماذج مقترحة لإدخال الفعل الكمومي سواء بتصحيح تفاعل *Debye* مثل كمون *Deutsch* الموضح في الشكل بخط مستمر أسود وأيضا النموذج المقترح من *W.Ebeling* موضوع دراستنا، الموضح في الشكل بخط متقطع.

حيث نلاحظ التأثير الكمومي عند المسافات الصغيرة بانزياح المنحنيين *Deutsch* و *W.Ebeling* على منحنى *Debye*. نلاحظ أيضاً أن نموذج دوتش يعطي انزياح أكبر و مسافات أكبر في حين يبقى اختيار أحسن النماذج رهن المقارنة مع التجربة أو محاكاة. لذلك و بالمقارنة مع دوتش نموذج *W.Ebeling* مقبول.



الشكل (2.2) مقارنة بيانية بين دالة التوزيع القطرية لتفاعل *W.Ebeling* ودالة التوزيع القطرية *Debye* و

الدالة القطرية لـ *Deutsch* المحجب من أجل  $\Gamma = 0.12$ ,  $\eta = 0.56$ ,  $y_1 = 0.558$ .

## 6-2 خلاصة

تطرقنا في هذا الفصل الى طاقة التفاعل الكمومي و كيف أدخلت هذه الفكرة كيف تم تطويرها، و أيضا تفاعل *Kelbg* والتقريبات و التصحيحات التي اجريت عليه.

تطرقنا إلى التفاعل الناتج عن شحنة نقطية تحت التأثير الكمومي اعتمادا على اقتراح *W.Ebeling* مع بعض التصحيحات وهو موضوع دراستنا، حيث قمنا بتطبيق هذا التفاعل على حساب دالة التوزيع القطرية مع مقارنتها مع تلك الناتجة عن تفاعل *Debye* و تفاعل *Deutsch*. و توصلنا إلى أنه نموذج مقبول *W.Ebeling*، الأمر الذي شجعنا على تطبيقه في حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري و هو موضوع الفصل الثاني.

## الفصل الثالث

حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري

لبلازما ذات مركب واحد باستخدام تفاعل

*W. Ebeling*

## الفصل الثالث

### حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري لبلازما ذات مركب

#### واحد باستخدام تفاعل *W. Ebeling*

##### 3-1 مقدمة

تتعلق دالة التوزيع الحقل الكهربائي المجهري لبلازما ذات مركب واحد مباشرة بالتفاعل بين الشائبة الايونية و الايونات الأخرى المكونة للبلازما، وأيضا الحقل الكهربائي المجهري الناتج عند الشائبة الايونية الذي هو تدرج لكمون التفاعل. بالتأكيد التأثير الكمومي الذي يظهر في التفاعل عند المسافات الصغيرة جدا سيؤثر على حساب دالة التوزيع الحقل الكهربائي وسيبدأ عند الحقول الكبيرة.

خلال هذا الفصل سنستخدم التأثير الكمومي عن طريق تطبيق تفاعل *W. Ebeling*، الذي تم دراسته في الفصل الثاني، في حساب دالة التوزيع الحقل الكهربائي المجهري لبلازما ذات مركب واحد عند شائبة ايونية من نفس النوع.

##### 3-2 أهمية حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي المجهري

إن دراسة الإشعاع الصادر عن البلازما تتطلب معرفة معلومات عن بعض المقادير الفيزيائية المرتبطة بشكل مباشر أو غير مباشر، و ببعض الأفعال التي تؤثر في شكل الخطوط الطيفية الصادرة عن الشوائب الأيونية، سواء بتعريضها أو بإزاحتها أو بعدم تماثلها. يعتبر فعل الحقول الكهربائية الموضعية الأيونية فعلا من بين هذه الأفعال المهمة التي تساهم في تعريف الخطوط الطيفية. يتم ادخال هذا الفعل في الصيغة التحليلية للخط الطيفي باستخدام ما يعرف بدوال توزيع الحقل الكهربائي الموضعي الأيوني، و التي تعني كيفية توزع مقادير الحقل الكهربائي الناشئ عن الأيونات عند موضع الشائبة، على مجال مستمر من القيم.

### 3-3 النموذج النظري

ضروري معرفة الحقل الكهربائي المجهرى على الشائبة الايونية (1) شحنتها  $Z_1 e$  موضوعة عند  $r_1$ ، هذا الحقل ناتج عن مجموع  $(N - 1)$  أيون المكون للبلازما بلازما ذو الشحنة  $Ze$  نأخذ الحالة ( $Z_1 = Z$ ) الموجودة عند  $r_i$ ، هذه الايونات موجبة الشحنة مغمورة داخل خلفية متجانسة سالبة (الالكترونات). يوصف التفاعل بين الشائبة الايونية والايونات الأخرى المكونة للبلازما بتفاعل  $W. Ebeling$  وذلك لإدخال التأثير الكمومي عند المسافات الصغيرة.

طاقة التفاعل المؤثرة على الشائبة الايونية والناجئة على مجموع الايونات الأخرى المكونة للبلازما تعطى:

$$U_1 = \begin{cases} \sum_{i=2}^N \frac{Z_1 Z e^2}{\lambda_T} \left( \sqrt{\pi} - \frac{r_{i1}}{\lambda_T} \right) \exp\left(-\frac{r_{i1}}{\lambda_D}\right), & r_{i1} < r_1 \\ \sum_{i=2}^N \frac{Z_1 Z e^2}{r_{i1}} \exp\left(-\frac{r_{i1}}{\lambda_D}\right), & r_{i1} > r_1 \end{cases} \quad (3.1)$$

الحقل الكهربائي الأيوني عند الشائبة:

$$\vec{E} = -\frac{1}{Z_1 e} \vec{\nabla} U_1 = \begin{cases} \sum_{i=2}^N \frac{Ze}{\lambda_T^2} \left[ 1 + \frac{\lambda_T}{\lambda_D} \left( \sqrt{\pi} - \frac{r_{i1}}{\lambda_T} \right) \right] \exp\left(-\frac{r_{i1}}{\lambda_D}\right), & r_{i1} < r_1 \\ \sum_{i=2}^N \frac{Ze}{r_{i1}^2} \left( 1 + \frac{r_{i1}}{\lambda_D} \right) \exp\left(-\frac{r_{i1}}{\lambda_D}\right), & r_{i1} > r_1 \end{cases} \quad (3.2)$$

نعرف دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهرى  $W(\vec{E})$  على أنها كثافة الاحتمال لإيجاد الحقل الكهربائي  $\vec{E}$  يساوي  $\vec{E}$  عند  $r_1$ . إذا

اعتبرنا أن النظام يوصف بالميكانيك الإحصائي الكلاسيكي فإن  $W(\vec{E})$  تكتب:

$$W(\vec{E}) = \langle \delta(\vec{E} - \vec{E}) \rangle \quad (3.3)$$

حيث المعترض  $\langle \dots \rangle$  يمثل القيمة الوسطى عند التوازن.

نأخذ تحويل فورييه  $F(\vec{k})$  لـ  $W(\vec{E})$ ، المعرف بالعلاقة:

$$F(\vec{k}) = \int \exp(i\vec{k} \cdot \vec{E}) W(\vec{E}) d\vec{E} = \int \exp(i\vec{k} \cdot \vec{E}) \langle \delta(\vec{E} - \vec{E}) \rangle d\vec{E} \quad (3.4)$$

$$F(\vec{k}) = \langle \exp(i\vec{k} \cdot \vec{E}) \rangle \quad (3.5)$$

و التحويل العكسي:

$$W(\vec{E}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int \exp(-\vec{k} \cdot \vec{E}) F(\vec{k}) d\vec{k} \quad (3.6)$$

يسمى  $F(\vec{k})$  طيف الدالة و يساوي [21] :

$$F(\vec{k}) = \exp(nh(\vec{k})) \quad (3.7)$$

حيث  $nh(k)$  توزيع الحقل المجهري الفعلي:

$$nh(k) = n \int (\exp(i\vec{k} \cdot \vec{E}) - 1) d\vec{r} = n2\pi \int (\exp(ikE \cos \theta) - 1) r^2 dr d \cos \theta$$

$$nh(k) = 2\pi n \int_0^\infty \left( \frac{\sin(kE)}{kE} - 1 \right) r^2 dr \quad (3.8)$$

بأخذ  $Z = 1$  و وضع المتغيرات بدون بعد  $E_0 = \frac{e}{r_0}$ ,  $E = \frac{E}{E_0}$ ,  $x = kE_0$ ,  $y = \frac{r}{r_0}$ , نحصل:

$$\bar{E} = \frac{E}{E_0} = \begin{cases} v'^2 \left[ 1 + \frac{v}{v'} (\sqrt{\pi} - v'y) \right] \exp(-vy) & y < \frac{r_1}{r_0} \\ \frac{1}{y^2} (1 + vy) \exp(-vy) & y > \frac{r_1}{r_0} \end{cases} \quad (3.9)$$

$$nh(k) = \frac{15}{2} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \int_0^\infty \left( \frac{\sin \bar{E}x}{\bar{E}x} - 1 \right) y^2 dy \quad (3.10)$$

$$F(x) = \exp(nh(x)) = \exp \left[ \frac{15}{2} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \int_0^\infty \left( \frac{\sin(\bar{E}x)}{\bar{E}x} - 1 \right) y^2 dy \right] \quad (3.11)$$

باستخدام الإحداثيات الكروية و وضع  $\beta = \frac{E}{E_0}$  تصبح علاقة التحويل العكسي  $W(\vec{E})$ :

$$W(\vec{E}) = \frac{2\pi}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_0^\pi \exp(ikE \cos \theta) F(x) k^2 \sin \theta d\theta dk \quad (3.12)$$

$$W(\vec{E}) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^\infty \frac{\sin(kE)}{kE} F(x) k^2 dk \quad (3.13)$$

$$W(\vec{E}) = \frac{1}{E_0^3 (2\pi)^2} \int_0^\infty \frac{\sin(x\beta)}{x\beta} F(x) x^2 dx \quad (3.14)$$

ندخل كثافة الاحتمال للحقل الكهربائي:

$$P(\vec{E}) = 4\pi E^2 W(\vec{E}) = \frac{4\pi E^2}{E_0^3} \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^\infty \frac{\sin(x\beta)}{x\beta} F(x) x^2 dx \quad (3.15)$$

$$H(\beta) = E_0 P(\vec{E}) = \frac{2\beta}{\pi} \int_0^\infty \sin(x\beta) F(x) x dx \quad (3.16)$$

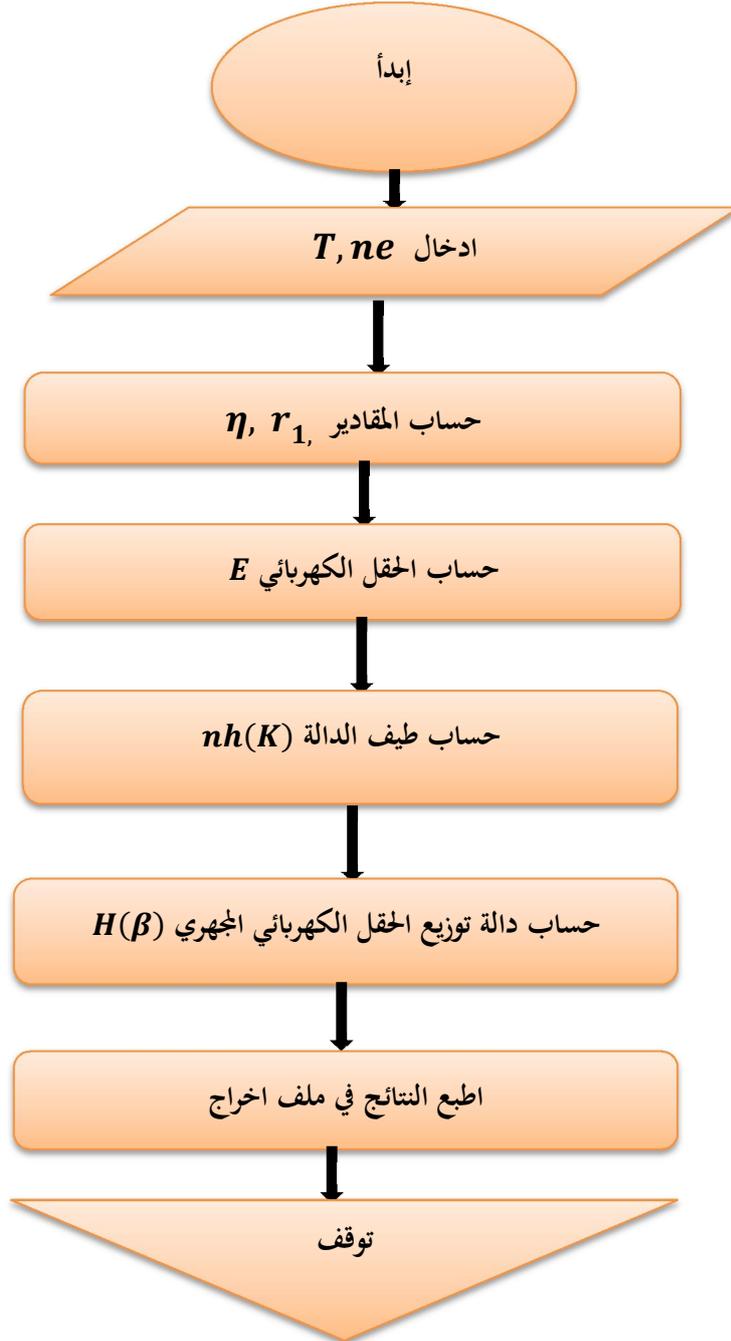
### 3-4 النتائج و المناقشة

نقوم بحساب  $nh(x)$  من العلاقة (3.10) بعد تعويض الحقل الكهربائي المحسوب من الكمون المقترح لـ *W.Ebeling* المعطى

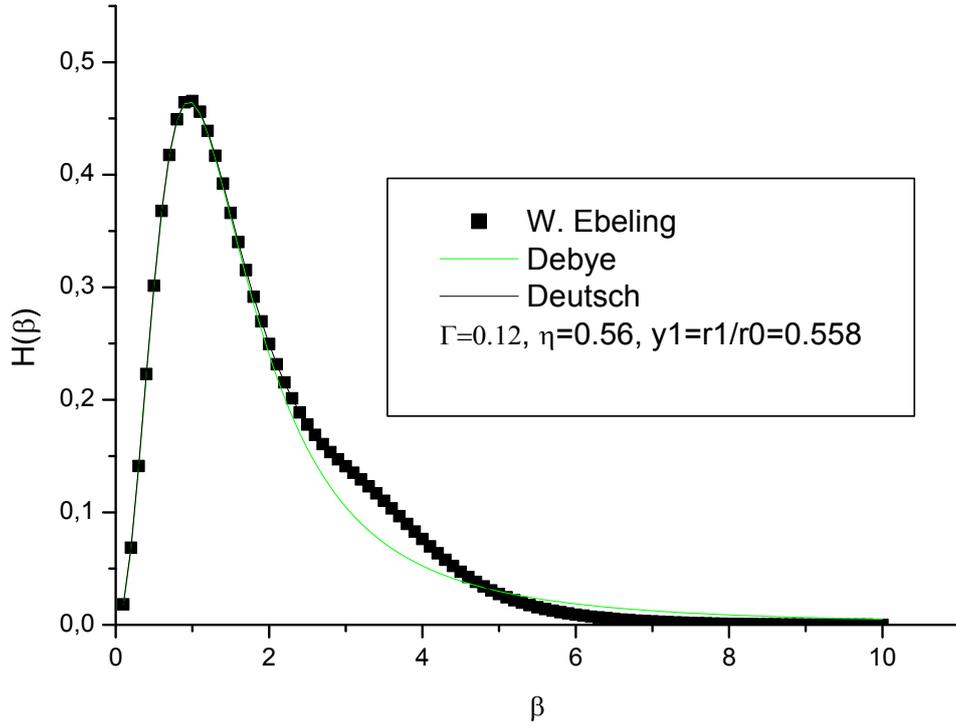
بالعلاقة (3.9) في العلاقة (3.13) لحساب  $H(\beta)$  و مقارنته بدالتي التوزيع الناتجتين من استخدام تفاعل *Debye* و

*Deutsch* كل هذه الخطوات موضحة في الشكل (1.3) الذي يمثل مخطط لسير برنامج الفوترون لحساب دالة توزيع الحقل

الكهربائي.



الشكل (1.3) مخطط لسير برنامج الفورترون لحساب دالة توزيع الحقل الكهربائي.



الشكل (2.3) مقارنة لدالة توزيع الحقل الكهربائي المجهرى باستخدام تفاعل *W. Ebeling* مع دوال توزيع الحقل الناتجة عن استخدام تفاعل *Debye* و *Deutsch* تحت الشروط  $\Gamma = 0.12$  و  $\eta = 0.56$  و  $y_1 = 0.558$

النتائج المتحصل عليها الموضحة في الشكل (2.3) الذي يمثل مقارنة بيانية لدالة توزيع حقل الكهربائي المجهرى الناتجة عن استخدام تفاعل *W.Ebeling*، الذي يظهر التأثير الكومومي عند المسافات الصغيرة من اجل شروط معينة للوسائط  $y_1 = 0.558$ ،  $\eta = 0.56$  و  $\Gamma = 0.12$  ومقارنته مع دوال توزيع الحقل الكهربائي المجهرى في حالة تفاعل *Deutsch* و تفاعل *Debye* فيظهر الشكل انطباق واضح للتوزيع الناتج عن تفاعل *W.Ebeling* مع تفاعل *Deutsch* عند الحقول الضعيفة و عند الحقول الكبيرة.

وانفصال واضح للتوزيع الناتج عن تفاعل *W.Ebeling* الموضح في الشكل بخط أسود متقطع عن التوزيع الناتج عن تفاعل ديبياي عند الحقول الكبيرة أي وجود فرق و يرجع هذا لوجود تأثير كومومي. نعتبر نموذج *W.Ebeling* مقبول في الشروط المفروضة.

سنوضح تأثير درجة التكميم  $\eta$  على دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري، نذكر ان درجة التكميم  $\eta = \frac{\lambda_T}{r_0}$  و هو وسيط يحدد

المعطيات الفيزيائية للبلازما حسب [8]:

$$\begin{cases} \Gamma = 0.002691325 \frac{n_e^{1/3}}{T} \\ \eta = 0.000012024 \frac{n_e^{1/3}}{\sqrt{T}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T = 50099.61127 \frac{\eta^2}{\Gamma^2} \\ n_e = 6.4506671 \frac{\eta^6}{\Gamma^3} \\ \Gamma = 223.8294245 \frac{\eta}{T} \end{cases}$$

لمعرفة تأثير درجة التكميم على دالة توزيع الحقل الكهربائي قمنا في كل مرة بتغيير درجة الحرارة و الكثافة و حساب  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$

فحصلنا على النتائج الموضحة في الجدول التالي:

| $T(K)$            | $n(cm^{-3})$          | $y_1$ | $\eta$ |
|-------------------|-----------------------|-------|--------|
| $2.5 \times 10^6$ | $1.52 \times 10^{24}$ | 0.87  | 0.87   |
| $10^6$            | $10^{23}$             | 0.56  | 0.56   |
| $6.5 \times 10^6$ | $2.68 \times 10^{22}$ | 0.28  | 0.28   |

الجدول (1.3) قيم درجة التكميم بدلالة تغيير قيم درجة الحرارة و الكثافة و  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$ .

يظهر في الجدول (1.3) تغير درجة الحرارة والكثافة من اجل نفس قيمة وسيط الارتباط  $\Gamma = 0.12$  نحصل على نقطة التقارب

$y_1 = \frac{r_1}{r_0}$  مساوية لقيمة درجة التكميم  $\eta$ ، يعني هذا ان درجة التكميم هي الحد الفاصل بين الحدود الكلاسيكية والحدود الكمومية.

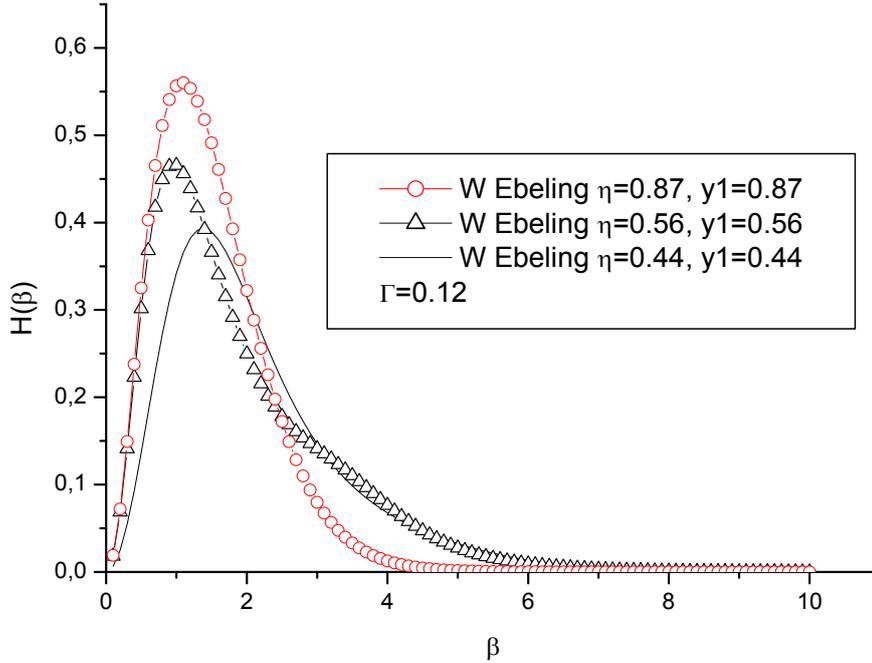
قمنا بحساب الحقل و حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري عند الشروط الموضحة في الجدول بتطبيق التفاعل المقترح فحصلنا على النتائج الموضحة في الشكل (3.3).

يوضح الشكل (3.3): تغيرات دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري الناتجة عن تفاعل *W. Ebeling* من اجل قيم مختلفة لدرجة التكميم  $\eta$  و

نقطة التقارب  $y_1 = \frac{r_1}{r_0}$  ونفس القيمة ل  $\Gamma = 0.12$ ، ويظهر في المنحنى أنه بازياد درجة التكميم يضيق التوزيع و ترتفع قمته و تنزاح

نحو الحقول الضعيفة و تسرع بالاضمحلال جهة الحقول الكبيرة أي أن احتمال الحقول الضعيفة يكبر و التأثير الكومومي ينقص.

في ظل هذه الشروط المذكورة فإنه لدرجة التكميم مساهمة فعالة على التأثير الكمومي، أي أنه من أجل حدوث تأثير كمومي يجب أن تكون قيمة درجة التكميم أقل من الواحد.



الشكل (3.3) تغيرات دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهرى الناتجة عن تفاعل *W. Ebeling* من اجل قيم

$$\text{مختلفة لدرجة التكميم } \eta \text{ و نقطة التقارب } y_1 = \frac{r_1}{r_0} \text{ ونفس القيمة لـ } \Gamma = 0.12.$$

### 5-3 خلاصة

قمنا في هذا الفصل بحساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهرى عند نقطة التقارب الناتجة عن تفاعل *W.Ebeling*، و تمت مقارنتها بدوال التوزيع الناتجة عن تفاعلات اخرى فأظهرت النتائج أن هناك تأثيرا كموميا عند المسافات الصغيرة ويعكس عند دالة التوزيع فيصبح التأثير الكمومي عند الحقول الكبيرة.

ثم أكدنا فعالية درجة التكميم و الدور الذي تلعبه في التحكم في دوال التوزيع و بالتالي لها دور فعال في شروط التأثير الكمومي على الحقول المجهرية.

## الخلاصة العامة

حين يعجز الميكانيك الكلاسيكي في تفسير الكمون و الحقل الكهربائي عند المسافات الصغيرة جدا عندها يجب اخذ الآثار الكوانتية بالحسبان. و نحن بدورنا قمنا بإدخال التأثير الكمومي لحساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري في بلازما ذات مركب واحد و قسمنا عملنا إلى جزأين:

الجزء الأول: و هو ادخال التأثير الكمومي عن طريق كمون يعتمد على كمون *Kelbg* عند الصفر و كمون *Debye* في ما لا نهاية اقترح من طرف *W.Ebeling*، و أضفنا عليه الحجب، المسافة  $r_1$  التي تحسب عن طريق شروط استمرارية الكمون، حيث وجدنا أنها تحقق معادلة من الدرجة الثانية لها حلول مركبة في حالة أخذ  $\gamma = 1$  من أجل درجة الحرارة أكبر من  $10^6 k$ . الأمر الذي دفع بنا للمقارنة البيانية بين الكمون *W.Ebeling* عند المسافات الصغيرة الأقل من  $r_1$  و الكمون عند المسافات الأكبر من  $r_1$  و إيجاد أقرب نقطة تقارب.

ادخلنا هذا التفاعل من أجل حساب دالة التوزيع القطرية و مقارنتها بدوال توزيع محسوبة بعدة كمونات منها كمون *Deutsch* و كمون *Debye*، فكان هناك اختلاف واضح بين الكمونات الثلاثة عند المسافات الصغيرة جدا. أي أن هناك تأثير كمومي على دوال التوزيع القطرية واضح يتعلق بقيمة  $\Gamma$  و  $\eta$ .

يتضمن الجزء الثاني من عملنا هذا هو الحساب النظري لدالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري بتطبيق التفاعل السابق، اعتمادا على حساب دالة الطيف و هي بدورها تعتمد على الحقل الكهربائي الناتج من مقترح *W.Ebeling* بين أيونات البلازما و الشائبة التي اعتبرناها من نفس النوع، النتائج المتحصل عليها تم مقارنتها بدوال توزيع الحقول الكهربائية الناتجة بتطبيق تفاعل *Deutsch* و تفاعل *Debye*. فكانت النتائج ايجابية عند الحقول الكبيرة مما يدل على التأثير الكمومي عند المسافات الصغيرة، و منه أن الحقل المدروس من طرفنا مقبول.

وقمنا بمعالجة الدور الذي تلعبه درجة التكميم على دوال توزيع الحقل الكهربائي *W.Ebeling* فتحصلنا على أنه من أجل حدوث التأثير الكمومي يجب أن تكون درجة التكميم أقل من الواحد.

النتائج المتحصل عليها من تطبيق تفاعل *W.Ebeling* الذي يظهر التأثير الكمومي كانت مشجعة جدا، يمكن تحسين هذا النموذج بإعطاء قيمة ل  $\gamma$  الموجودة في علاقة *Kelbg* وهذا يعتبر كأفاق مستقبلية.

أيضا كأفاق مستقبلية، يمكن حساب الخصائص الترموديناميكية باستخدام هذا التفاعل وأيضا دوال الارتباط (الخواص الديناميكية للبلازما).

يمكن استخدام هذا التفاعل لإظهار التأثير الكمومي على مؤثر التصادم وكذا الطيف او حتى عند حساب المشتقات الجزئية لدوال التوزيع.

دراسة التأثير الكمومي في بلازما ذات عدة مركبات.

## المراجع

- [1] B.Held, *physique des plasmas froid*, Mossonparis, 1994 .
- [2] مقدمة في فيزياء البلازما، لوليد صهيوني، يونيو 2006، سلطنة عمان.
- [3] محمودي منال، دراسة التعريض الإلكتروني في حالة القيم الصغيرة لوسيط الصدم في البلازما، 2013/2014.
- [4] DELCROIX J.L. *physique des plasmas . Monographies, Dunod, 1963* .
- [5] DELCROIX J.L. *physique des gaz et des plasmas, Encyclopaedia universalis*.
- [6] مفتاح طه، بعض الطرق التقنية لقياس قرينة الانكسار في البلازما، 2013/2014.
- [7] محاضرات الأستاذ الدكتور ابراهيم سعد الله في فيزياء البلازما السنة الأولى ماستر 2012، جامعة الوادي.
- [8] اسماعيل شبيحي، حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي و مشتقاتها داخل البلازما باستخدام المحاكاة العددية موني كارلو تطبيق على طيف الهيليوم، رسالة دكتوراه دولة، جامعة منتوري، 2005 قسنطينة.
- [9] قريشة سليمة، مساهمة في دراسة توزيعات المشتقات الفضائية للحقول الكهربائية الموضوعية في البلازما، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مباح، 2008 ورقة.
- [10] عبيد سعيدة، دراسة في ثلاثة أبعاد للمقادير الكهربائية في جهاز الرش المهبطي باستعمال طريقة الحجم المنتهية، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مباح، 2003 ورقة.
- [11] T.J.M.BOYD ,J.JSANDERSON, *The physics of plasmas*, Cambridge university press, 2003, New york.
- [12] D. SALZMANN, *Atomic physics in Hot plasmas*, oxford university press , 1998, Newyork .
- [13] يحي عبد الحميد الحاج علي \_ رحمان رستم عبد الله، أساسيات النظرية الكهرومغناطيسية، جامعة الموصل، 1959 العراق.
- [14] الفيزياء العامة (الجزء الثاني \_ الحقول و الأمواج ) ترجمة بوجانة عاشور الطبعة الثانية 1989.
- [15] د. يحي مصطفى سليمان، كتاب الضوء الهندسي و ط 1 جامعة تشرين، عام 1984.
- [16] سهيلة عسكري، حساب دوال توزيع مشتقات الحقول الموضوعية و تطبيق على طيف الهليوم، رسالة ماجستير، المركز الجامعي بالوادي، 2011.

[17] *A. Dinklag, T. Klinger, G. Marx, L. Schweikhard. plasmas physics, springer, 2005, Berlin.*

[18] قريشة سليمة، استخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال توزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الأيوني الموضوعي في البلازما، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح، 2013 ورقة.

[19] *W.E. Beling, A. Filinov and all; J. phys. A Math. Gen. 39(2006), 4309 – 4317.*

[20] تجاجنة ربيعة، حساب دالة التوزيع للحقل الكهربائي المجهرى في بلازما ذات مركب واحد باستخدام تفاعل ديباي غير الخطي، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح ورقة، (2015).

[21] *C. Cereceda and J. Puerta: New Calculation of the Electrical Microfield Distribution in Plasma. Journal of Astrophysics and Space Science, (1998)*

## ملخص

الهدف الأساسي من هذه المذكرة هو معرفة تأثير الفعل الكومومي على حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري في بلازما ذات مركب واحد ( $Z=1$ )، لذلك استخدمنا التفاعل المقترح من طرف *W.E beling*، الذي يعتمد على تفاعل *Kelbg* عند 0 و تفاعل ديبي عند مالا نهاية. حيث قمنا بحساب الحقل الكهربائي من هذا التفاعل لشائبة أيونية، وتعويضه في حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي. الطريقة المتبعة في المذكرة هي نموذج نظرية. النتائج المتحصل عليها تشجع الباحثين على تطوير هذا النموذج.

الكلمات المفتاحية: تفاعل *Kelbg*، الحقل الكهربائي المجهري، دالة توزيع الحقل الكهربائي، بلازما.

## Résumé

*Le but principal de ce mémoire est de connaître l'effet quantum sur le calcul de la fonction de distribution du microchamp électrique dans un plasmas à une seule composante de ( $z = 1$ ), donc nous avons utilisé l'interaction proposée par W. Ebeling, qui conte sur l'interaction de Kelbg au zéro et l'interaction de Deby à l'infinité. Et nous allons calculer le champ électrique de cette interaction pour un ion impureté, Ensuite le compenser afin de calculer la fonction de distribution de microchamp électrique. La méthode utilisée est un modèle théorique. Les résultats obtenus encouragent les chercheurs à améliorer ce modèle.*

*Les mots clés : Interaction de Kelbg, la fonction de distribution de microchamp électrique, Plasmas.*

## Abstract

*The main objective of thesis Memory is to know the quantum effect on the calculation of the microfield distribution function of the impurity the one ionic component plasma of ( $z=1$ ), There for we used the suggested interaction of W.Ebeling, Which counts on the Kelbg interaction at zero, and the Debye ne at (infinity). And we will be calculating the electric field from this interaction, and then compensate for this field to calculate the microfield distribution function. The method used is a theories model. The results obtained encourage researchers to improve this model.*

*Key Words: Kelbg interaction, the microfield distribution function, plasma.*