الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم: فيزياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

الميدان: علوم المادة

تخصص: فيزياء إشعاعية

من اعداد الطالبتين: خرفي صبرينة – برقيقة علية

بعنوان

دوال الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي والسرعة في البلازما

نوقشت بتاريخ : 2018/06/10

أمام لجنة المناقشة المكونة من :

د. دويس سعيد	أستاذ محاضر أ	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيسا
د. حكيمة عبابسة	أستاذ محاضر ب	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مناقشا
د. شهرة ثورية	أستاذ محاضر	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مشرفا

الموسم الجامعي: 2017/ 2018

شكر وعرفان

أتقدم أولا وأخرا بالشكر لله عز وجل الذي
بنعمته تتم الصالحات فله الحمد حتى يرضى وله الحمد إذا رضي وله الحمد بعد الرضي
كما أتقدم بالشكر الخالص إلى الدكتور مفتاح محمد الطيب أستاذ التعليم العالي بجامعة
قاصدي مرباح ورقلة والدكتورة شهرة ثورية أستاذ محاضر أ بجامعة قاصدي مرباح
ورقلة الذين ساهموا معي في إنجاز هذا العمل.
كما أتقدم بفائق الشكر والتقدير إلى كل أعضاء اللجنة المناقشة
الاستاذة عبابسة حكيمة أستاذ محاضر ب و الدكتور دويس السعيد
استاذ محاضر أ بجامعة قاصدي مرباح ورقلة

الإهداء

أولا وآخرا إلى الله عز وجل الذي وفقتو بفضله

إلى من بلغ الرسالة وأذى الأمانة سيدنا وحبيبنا ونبينا

محمد صل الله عليه وسلم

إلى واحة الحب إلى ينبوع الرحمة والحنان

أمي العزيزة

إلى كل من أحمل إسمه بكل إفتخار أرجو من الله أن يطيل في عمره

أبي الغالي

إلى الزهور العطرة إخوتي وأخواتي

زهرة- محمد وزوجته – أحمد وزوجته - مختار- طاهر –مينو- منال

إلى أزهار الأقحوان كتاكيت المنزل

أكرم- بيجاد- مهدى- إبراهيم

إلى أعمامي وأولادهم وعماتي وأولادمهمإلي أخوالي وخلاتي وأولادهم

كما لاأنسى رفيق دربي الذي كان شمعتي التي أنارت دربي وسندي في هذا المشوار حمزة خوذران وعائلته

إلى إخوتي التي لم تلدهم أمي نعيمة- رقية - زهرة – ليلي

إلي صديقاتي حبيباتي نجاة- مبروكة– فاطمة- مليكة – كريمة –إزدهار– رانية

إلى من تعجز الكلمات عن ذكرها التي صبرت معنا والتي لم تبخل علينا بأي معلومة و أغادتنا بكل صغيرة وكبيرة من أجل إتمام هذا العمل أستاذتي الغالية **(شهرة ثورية)**

إلي الأستاذة الكريمة الفاضلة التي بدلت مجهودا من أجل أعانتنا في هذا العمل (**عبابسة حكيمة)**

خرفي صبرينة

الإهداء

أهدي ثمرة هذا العمل إلى من أوصاني بهم الرحمان إحسانا .
وأخفض لهما جناح الذل من الرحمة وقل رب أرحمهما
كما ربياني صغيرا »
إلى أحبة كثر يسري حبهم في عروقي لأعلم أيهم أقرب لي
إلى من ظلني بالرعاية والحماية وكان سندا في الشدائد والمحن « الغالي أبي »
إلى واحة الحب الفياض في صحرائي إلى ينبوع الرحمة والحنان في الحياة إليك يا صدرا حنونا يضمنا فينسينا جرحنا وآلامنا إليك يا
« أمي الحنونة »
أهدي هذا العمل إلى النجوم الزهراء في سماء حياتي إخوتي الكرام :عبد الحق ومعراج وعبد الباسط
وأخواتي راضية وزوجها وبسملة وأولاد أختي أسيل وأروى وقمر الدين
وهدي عملي إلى أعمامي وعماتي وأخوالي وخلاتي وأولادهن
وإلى كل صديقاتي وإلي كل طلاب قسم الفيزياء الدين قضيت معهم أجمل اللحظات

إليكم .....أهدي هذا العمل

علية برقيقة

فهرس المحتويات

فهرس الأشكال	I
فهرس الجداول	I
مقدمة عامة	01
الفصل الأول : عموميات حول البلازما	
I-1 مقدمة	04
I-2 لمحة تاريخية	04
I-3 تعاريف البلازما	05
I-4 بعض خصائص البلازما	05
I-4-1 التعادل الكهربائي	05
I-4-2 التوصيل الكهربائي	06
I-4-3 حمل الذبذبات	06
I-4-4 الاندماج النووي	06
I-5 المقادير المهمة في فيزياء البلازما	07
I-5-1 طول لاندو	07
I-5-2طول ديباي	07
I-5-3 طول موجة ديبروغلي	07
I-5-4 درجة الحرارة	07
I-5-5الترددالايوني	07
I-5-6نصف قطر الكرة الايونية	08
I-5-7 معامل التزاوج	08
I-5-8 درجة التكميم	08
I-6 الخاتمة	08
الفصل الثاني : تفاعل ديباي وتفاعل كلبج	
II-1 مقدمة	10
II-2 كمون ديباي	10
II-3 كمون كلبجي المحجب	11
II-4 دالة التوزيع القطرية	12
II-5 نتائج والمناقشة	12

II-6 الخاتمة	15
الفصل الثالث :حساب دوال الارتباط الزمنية ومعامل الانتشار	
III-1 مقدمة	17
III-2 النمودج النظري	17
III-2-1 المعامل الأول ω_0	19
III-2-2 المعامل الثاني ω_1	20
III-2-3 المعامل λ	22
III-2-4 حساب معامل الإنتشار D	23
III-3 المناقشة والنتائج العددية	23
III-4 الخاتمة	26
خاتمة عامة	28
المراجع	30
الملخص	

فهرس الأشكال

الموضوع	الصفحة
الشكل (I.) نموذج مبسط للمقارنة بين الحالات الأربعة	05
الشكل (I.**2**) يمثل اندماج ننوي بين نواتي الدوتيريومو التريتيوم	06
الشكل (II.)يمثل مقارنة بين كمون دالة ديباي وكمون دالة كلبجي االمحجب في بلازما ذات مركب واحد $(Z = 1)$ من اجل قيم مختلفة لمعامل التكميم η ونفس Γ.	13
الشكل (II.)مقارنة بين دالة التوزيع القطرية لتفاعل ديباي ودالة التوزيع القطرية لتفاعل كلبجي االمحجب من أجل قيم مختلفة لη و Γ=0.1	14
الشكل (II.)مقارنة بين دالة التوزيع القطرية لتفاعل كلبجي المحجب من أجل درجة الحرارة مختلفة η= 0.17 و η= 0.39 و Γ=0.1	14
الشكل(I.**III**) مقارنة دالة الإرتباط الزمنية للحقل الكهربائي والسرعة باستخدام تفاعل ديباي وتفاعل كلبجي المحجب في بلازما ذات مركب واحد عندΓ= 0.1 وقيم مختلفة ل η=0.17	26

فهرس الجداول

الموضوع	الصفحة
الجدول(III.**1**): قيم المعاملات ω_0و ω_1و λ من اجل تفاعل كلبجي المحجب وتفاعل ديباي لمختلف المعاملات من المجموعة:Γ=0.1 ، Γ= 0.5 للبلازما ذات مكون واحد.	24
الجدول(III.**2**): قيم معامل الانتشار لقيم مختلفة لمعاملات ارتباط فيما يتعلق بالنتائج كلبح لبلازما ذات مكون واحد $(z = 1)$ و Γ=0.1 ، Γ= 0.5	25

مقدمة

مقدمة عامة

تعد البلازما من المواضيع الحديثة ، فلقد أدخلت إلى علم الفيزياء في مطلع القرن العشرين ، حيث تعالج البلازما مجهريا لكون ظواهرها تحدث على سلم صغير جدا من الأطوال، وتحوي عددا ضخما من الجسيمات لذا يتوجب معالجتها إحصائيا أيضا.

كثيرا ما تتم دراسة البلازما من خلال الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر عنها ، عبر الأوساط المختلفة (الفضاء ، الهواء، المواد الصلبة، الأجسام الحية ....)، إذ يحلل الطيف الوارد منها كيفيا لمعرفة العناصر التي تشكل هذه البلازما، وكميا لمعرفة خواصها مثل تراكيزها ودرجات حرارتها، وبصفة عامة يمكننا القول أن تشخيص الإشعاع الوارد منها مهم لمعرفة حالتها[1].

ديناميك الجسيمات في البلازما يخضع إلى حقول الكهربائية المطبقة والمنتجة داخل البلازما من طرف الجسيمات المشحونة، حيث التفاعلات الأساسية بينها هي تفاعلات الكهروستاتيكية (تفاعل كولوم او تفاعل الحجب ديباي)، ولكن في الحقيقة هذا التفاعل لا يظهر التأثير الكمومي عند المسافات الصغيرة جدا، لذلك توجد عدة تفاعلات منها: تفاعل *kelbg* وأيضا تفاعل *Deutsch* ويعتمد كل منها على تقريبات واعتبارات معينة[2].

تطرق العديد من الباحثين إلى موضوع حساب معامل الانتشار في البلازما في العديد من الدراسات في مخابر مختلفة في العالم، باستخدام نماذج و تقريبات مختلفة [3]. في دراستنا سنستخدم نموذج نظري لحساب معامل الانتشار يعتمد على حساب معاملات البنية الديناميكية وأيضا على تحويلات فوريه لدالة الارتباط المباشر في بلازما مكونة من مركب واحد.

ان معرفة معامل الانتشار في البلازما تدخل في تطوير العديد من الدراسات، كحساب الخصائص الديناميكية للشائبة الأيونية مثل: دالة الترابط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري وكذا ودالة الترابط الزمنية لشعاع السرعة.معرفة هذه الأخيرة يعد مكسبا هاما في الحسابات المتعلقة بعلم المطيافية.

تتضمن المذكرة ثلاثة فصول مهمة وخاتمة عامة.

في الفصل الأول سوف نتحدث بإيجاز عن موضوع البلازما عموما، تاريخها وتعريفها ووصفها وبعض خصائصها وبعض المقادير المهمة.

أما في الفصل الثاني سنهتم بالتفاعل بين الشائبة وأيونات البلازما بحيث ندخل الفعل الكمومي عند المسافات الصغيرة وذلك باستخدام تفاعلات كلبجي المحجب *Kelbg* و مقارنة النتائج عند استخدام تفاعل ديباي.

أما بالنسبة للفصل الثالث سنتناول حساب دوال الارتباط الزمنية (*correlation function*): دالة ارتباط السرعة$D(t)$ ودالة ارتباط الحقل الكهربائي المجهري $C(t)$ باستخدام تفاعل كلبجي المحجب *kelbg* وتفاعل *ديباي Debye*، *يعتمد هذا* العمل على حساب معامل الانتشار ، هذا الأخير سنستخدم لحسابة نموذج نظري يعتمد على تفاعل ايون–ايون ايضا معاملات البنية السكوني و الديناميكية. في الأخير نلخص ما قمنا به في خلاصة عامة وأفاق مستقبلية.

الفصل الأول

عموميات حول البلازمـــا

I-1 المقدمة

البلازما عبارة عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز، إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة (إلكترونات سالبة وأيونات موجبة الشحنة) بتناسب معين يجعل الوسط إجمالا متعادل كهربائيا، وتشترك كل أنواع البلازما بأنها تخضع وتفسر بنفس الآليات وتديرها نفس القوانين الفيزيائية، وذلك حتى باختلاف مقادير وسائطها.

في هذا الفصل سنعرض عموميات حول البلازما، وبعض المقادير المهمة التي نفرضها كمتغيرات بدلا من تغيرات درجة الحرارة والكثافة، مثل وسيط الترابط، ودرجة التكميم، ومقادير أخرى تعتبر كوحدة في سلم القياس، مثل نصف قطر الكرة الإلكترونية وتردد البلازما.

I-2 لمحة تاريخية

تحتل البلازما نسبة تفوق99% من الكون، وهي تشكل في الطبيعة الحالة الرابعة للمادة [4]، حيث ان الحالة الأولى هي الصلبة ثم الحالة السائلة عن طريق رفع درجة الحرارة ثم تأتي الحالة الغازية (هذه الحالات الثلاثة المعروفة للعامة) بمواصلة رفع درجة الحرارة يحدث تأين للغاز لنحصل على حالة الغاز المؤين او بصفة اعم البلازما . إن أول من أطلق مصطلح الحالة الرابعة للمادة العالم الإنجليزي *Willam Crookes* في عام1879 لوصف القسم المتأين من الإنفراغات الغازية، وقد علل مصطلحه على الشكل التالي: تتحول المادة الصلبة بالتسخين إلى الحالة السائلة وباستمرار التسخين تتحول إلى غاز وعند رفع درجة الحرارة الغاز إلى حد معين يصل إل $10^6 K$ تزداد طاقته الحركية إلى الحد الذي يؤدي إلى تصادمها مع بعضها البعض إلى إنفلاتها إلى إلكترونات وأيونات موجبة الشحنة [5].

وفي عام 1897 اكتشف العالم البريطاني *Joseph Thomson* خصائص البلازما وطبيعتها [6].كما أدخل الفيزيائيون *Tonks* و*Languir* [8.7] و لأول مرة عام 1923 مفهوم البلازما، وذلك للدلالة على حالة الغاز المتأين الموجود داخل أنبوب التفريغ[4]. ونظرا للأهمية الكبيرة لفيزياء الأوساط الطبيعية والتطبيقات الصناعية تم تطويرها بشكل معتبر معتمدين على قوانين الفيزياء الحديثة [9].

I–3 تعاريف البلازما

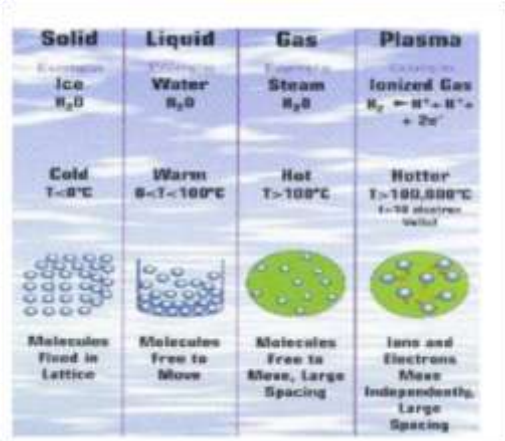
البلازما نادرة جدا في محيطنا هذا، غير أنه من الممكن توليدها صناعيا مثل الغاز في المصابيح النيون، تفلور البلازما، وأيضا القوس الكهربائي المستخدم في عمليات اللحام، سنحاول الآن تحديد مفهوم البلازما بشكل تعاريف بسيطة[5].

1: غاز متأين يحتوي على عددا كبيرا وكافيا من جسيمات مشحونة تحجب نفسها الكتروستاتيكيا عند مسافة صغيرة [1].

2: حالة مائعة مشابهة للغاز.

3: جسيمات مشحونة (ايونات و الكترونات حرة).

4: يمكن وصف البلازما عموما بأنها جملة إحصائية تحمل شحنات متحركة[10].



الشكل$(1 - I)$نموذج مبسط للمقارنة بين حالات الأربعة للمادة

I–4 بعض خصائص البلازما

I–4–1 التعادل الكهربائي

أهم شيء في البلازما هو أنها متعادلة كهربائيا، أي أن هناك توازن بين الشحنة الفراغية الموجبة والشحنة الفراغية السالبة. ومن جهة أخرى إذ تعرضت البلازما إلى حقل كهربائي خارجي فان كثافات الشحن الفراغية ستنظم نفسها [1].

I-4-2 التوصيل الكهربائي

بما أن البلازما تضم عددا هائل من الجسيمات المشحونة التي بداخله ، كما أن الحركة المنظمة لها تحدث تيارات كهربائية فإنها تعد موصلا جيدا للكهرباء[11].

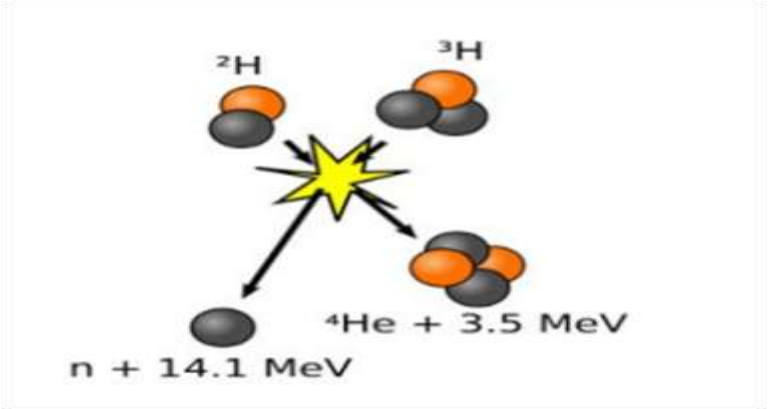
I-4-3 حمل الذبذبات

تعد قابلية البلازما لحمل الذبذبات وبث الموجات، من أهم صفاتها [12]، وهناك عدة أنواع أهمها:

- **الذبذبات الهايدرومغناطسية**: هي موجات حقيقية تنتشر موصل خاضع لتأثير حقل مغناطيسي ثابت.
- **الذبذبات الكهروستاتيكية**: وهي نوعان ذبذبات التردد العالي، والتي تكون سريعة جدا وذبذبات التردد المنخفض.

I-4-4 الاندماج النووي

إن عملية الاندماج النووي هي الوحيدة التي يمكن أن تؤمن الطاقة للنجوم في الطبيعة. فعندما تندمج النوى الخفيفة مشكلة نوى أثقل وتطلق أثناء ذلك طاقة هائلة فان هده العملية تسمى اندماج نووي[6].



الشكل(I – 2)يمثل اندماج ننوي بين نواتي الدوتيريوم و التريتيوم

I-5 المقادير المهمة في فزياء البلازما

I-5-1طول لاندو: ويعرف على انه المقدار الذي تتساوى فيه الطاقة الكولومبية المتوسطة للتفاعل الثنائي مع الطاقة الحركية الحرارية المتوسطة و يعطى بالعلاقة التالية [9]:

$$K_B T = \frac{e^2}{L} \rightarrow L = \frac{e^2}{K_B\, T} \qquad (I.5)$$

حيث e شحنة الالكترون. K_B هو ثابت بولتزمان و T درجة الحرارة للاكترون

I-5-2 طول ديباي: ويعرف على انه المسافة الحرجة التي عندها تقريبا يحدث حجب لتأثير الشحنة(حجب الكمون الكهربائي المطبق عليها).ويعطى طول ديباي بالعلاقة التالية [2]:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{K_B T}{4\pi e^2\, n_e}} = 6.9\sqrt{\frac{T}{n_e}}\,(\mathbf{CGS}) \qquad (I.6)$$

حيث n_e هي كثافة الالكترونات وهي مساوية الى كثافة الايونات في دراستنا وهي تمثل عدد الالكترونات او الايونات في وحدة الحجم.

I-5-3طول موجة ديبروغلي الحرارية:ويعطى هذا الطول تقديرا للطبيعة الموجية الكمية لجسيمات البلازما. ويحدد ب [4]:

$$\lambda_T = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{n_e K_B T}} \qquad (I.7)$$

حيث $\hbar$: تابت بلانك.

I-5-4درجة الحرارة : غالبا ما تملك الالكترونات والايونات في البلازما نوعين مختلفين لدرجة الحرارة بسبب تواتر الصدمات بين الالكترونات أو الايونات فيما بينهما [9].

I-5-5 التردد الايوني للبلازما:ويحدد [9] :

$$W_p = \sqrt{\frac{4\pi(ze)^2 n}{m}} \qquad (I.8)$$

حيث Zeشحنة الايون،m كتلة الايون.

I–5–6 نصف قطر الكرة الأيونية: وهو يميز البعد المتوسط بين ايونين ويعطى بالشكل:

$$r_0 = \left(\frac{3}{4\pi n_i}\right)^{1/3} \qquad (I.10)$$

حيث $n_e = n = n_i$ يمثل الكثافة الأيونية [1].

حيث n_e يمثل الكثافة الالكترونية [2].

I–5–7 معامل التزاوج: ويمثل النسبة بين الطاقة الكامنة المتوسطة و الطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات[6] ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\Gamma = \frac{e^2}{K_B T r_0} \qquad (I.12)$$

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

اذا كان $\Gamma \leq 1$فإن ذلك يدل على أن التزاوج ضعيف(وهو محور الدراسة).

I–5–8 درجة التكميم : وهي النسبة بين طول موجة ديبروغلي الحرارية على المسافة المتوسطة للإلكترونات. وتعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$\eta = \frac{\lambda_T}{r_0} = \frac{h}{r_0\sqrt{2\pi m_e K_B T}} \qquad (I.15)$$

اذا كان $\eta<<1$ يعني أن درجة الحرارة مرتفعة و تعالج الوسط كلاسيكيا.

اذا كان $\eta>>1$ يعني أن درجة الحرارة منخفضة وتعالج الوسط كموميا .

I–6 الخاتمة

ناقشنا في هذا الفصل تعريف البلازما، وقدمنا نبذة تاريخية حول مصطلح البلازما، كما تطرقنا أيضا إلى أهم المقادير التي لها دور هام في فهم البلازما.لأنه من الضروري معرفة وسطنا المعالج وتحدد معاملاته ووحداتها.

الفصل الثاني

تفاعل كلبجي المحجب *kelbg* وتفاعل ديباي *Debye*

II–1 مقدمة

تتكون البلازما من أيونات موجبة الشحنة وأيضا الكترونات و ذرات متعادلة، تربطها تفاعلات مختلفة، وهذه التفاعلات مع بعضها تلعب دورا هاما في تحديد هويتها وخصائصها الديناميكية و السكونية.

سنهتم بالتفاعل بين الايونات ذات الشحنة الموجبة على اعتبارها هي المتفاعلة التي تسبح داخل خلفية مستمرة سالبة الشحنة، وأول تفاعل معروف هو تفاعل كولوم وعندما نأخذ تأثير الحجب يصبح تفاعل ديباي هو الكمون الوحيد المعروف في الترموديناميك الإحصائية بين الشحنات، لكن عند أخذ التأثيرات الكمومتي بعين الاعتبار عند المسافات الصغيرة لا يصبح كمون كولوم هو الوحيد في ذلك بل يتعدى إلى ما يسمى الكمون كلبجي المحجب الذي تعتمد عليه دراستنا.

هناك العديد من نماذج التفاعلات لإدخال التأثيرات الكمومية منها الكمون الفعال، أدخلت فكرته لأول مرة في الكيمياء الكمية من طرف *Hellman* و *Gonnbas* وفي الفيزياء الإحصائية من طرف *Morita* مند 1962 ثم تطوير هذه النظرية إلى أداة طاقوية في فيزياء البلازما من طرف *Kelbg* ومساعديه في جامعة *Rostock*[15].

اعتمادا على نظرية الاضطرابات الكمومية للعناصر القطرية لمصفوفة الكثافة، نجح *Kelbg* في الحصول على العبارة الصحيحة من أجل الدرجة الأولى لe^2.وقد قامت مجموعة من الجامعة روستوك بمن فيهم (*Hetzheim*، *Ebeling*، *Hoffamann*.....) بتطوير نظريته، تشكلت مدرسة روستوك في الإحصاء الكمي من طرف Kelbg، وتركزت في الحساب التحليلي الخاص بالدوال الترموديناميكية القائمة على الكمون الفعال [15].

سوف ندرس في هذا الفصل الصيغة الاصلية لتفاعل كلبجي مع إضافة الحجب (صيغة كلبجي المحجب) ومقارنتها بتفاعل ديباي لملاحظة التأثيرات الكمومتي وشروطه.

II–2 كمون ديباي

ديناميك البلازما لا يعتمد فقط على فيزياء الايون الشائبة ، بل يتعلق أيضا على فيزياء البلازما المحيطة بها، وهذا التعلق ناتج عن تفاعل بين الايون الشائبة والايونات القريبة.

الكمون الكهربائي عند الموضع r الناتج عن الشحنة النقطية $Z_0\mathrm{e} = q_0$ عند المبدأ في البلازما يختلف عن كمونها في الفراغ المعطي بعلاقة كولوم [2]:

$$\mathrm{V}(r) = \frac{q_0}{r} = \frac{Z_0\mathrm{e}}{r} \qquad (\mathrm{II}.1)$$

من الملاحظ أن الكمون الكهربائي في البلازما يتناقص أسيا مع المسافة ، ويعود ذلك إلى الالكترونات المشحونة بإشارة مخالفة للأيونات التي تتجمع حول الشحنة، وهو ما يؤدي إلى حجب كمون الشحنة النقطية Z_0e على المسافات الكبيرة $(r < \lambda_D)$أما عند المسافات الصغيرة $(r > \lambda_D)$ فهو لا يختلف عن كمونها في الفراغ.

نفرض أن كل ايون ذو الشحنة Ze والخلفية المستمرة المنتظمة من الا لكترونات تتفاعل مع الايون الشائبة Z_0e بواسطة الكمون $V(r)$، وبإهمال الفعل الكمومي، فان هذا الكمون يعطى اعتمادا على معادلة بواسون لكثافة الشحنة $\rho(r)$ التالية:

$$\Delta V = -4\pi\rho(r) = 4\pi Z e n_i(r) - 4\pi Z_0 e\delta(r) \qquad (II.2)$$

وهي معادلة تفاضلية حلها في الافتراضات الاعتيادية ، أين الطاقة الكامنة صغيرة جدا مقارنة بالطاقة الحركية (ارتباط ضعيف) ، يعطى الكمون الفعلي ل *Debye*. واستخدم أول مرة في الكيمياء التحليلية سنة 1923. كمون ديباي المتولد على شحنة q_0 في الموضع يبعد المسافة r :

$$V_i^D(r) = \frac{Z_0 e}{r}\exp(-r/\lambda_D) \qquad (II.3)$$

وتصبح طاقة التفاعل بين جسيمين i و j تفصلهما المسافة r بالمعادلة:

$$U_{ij}^D(r) = Z_j e V_i(r) = \frac{Z_i Z_j e^2}{r}\exp(-r/\lambda_D) \qquad (II.4)$$

II-3 كمون كلبجي المحجب

الكمون الناتج عن شحنة في نقطة تبعد عنها بالمسافة، معرف بالعلاقة التالية:

$$V^K{}_i(r) = \frac{Z_i e}{r}\left[1 - e^{-(r/\lambda_T)^2} + \sqrt{\pi}\frac{r}{\lambda_T}\left(1 + erf\left(\frac{r}{\lambda_T}\right)\right)\right]e^{-r/\lambda_D} \qquad (II.5)$$

و طاقة التفاعل بين جسيمين i و j تفصلهما المسافة r حسب الصيغة العامة *Kelbg* مع إضافة الحجب[16]:

$$U^K{}_{ij}(r) = Z_j V^K{}_i(r) = \frac{Z_i Z_j e^2}{r}\left[1 - e^{-(r/\lambda_T)^2} + \sqrt{\pi}\frac{r}{\lambda_T}\left(1 + \mathrm{erf}\left(\frac{r}{\lambda_T}\right)\right)\right]e^{-r/\lambda_D} \qquad (II.6)$$

حيث λ_D طول ديباي.

و $\lambda_T = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{n_e K_B T}}$ طول موجة ديبروغلي الحرارية.

$\mathrm{erf}(x)$ دالة الخطأ $(errorfuncti)$ المعرفة.

$$\mathrm{erf}\left(\frac{r}{\lambda_T}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{r/\lambda_{ie}} e^{-t^2}dt$$

قيمة هذا التفاعل عند الصفر معرفة وتعطي بالمعادلة التالية[15]:

$$U_{ij}(r=0) = \frac{\sqrt{\pi}q_i q_j e^2}{\lambda_T} \qquad (\mathrm{II}.7)$$

II-4دالة التوزيع القطرية

إن معرفة دالة التوزيع القطرية في البلازما تعتبر عنصرا هاما في حل العديد من المسائل المتعلقة بحساب معاملات الترموديناميكية وفي حل مسائل الخصائص الديناميكية للبلازما مثل حساب دوال الارتباط للحقل والسرعة التي تعتبر الهدف الأساسي في هذه المذكرة. يعتمد حساب دالة التوزيع القطرية على التفاعل المتبادل بين مكوناتها، وتعطى دالة التوزيع القطرية بين جسيمين i و j تفصلهما المسافة r في حالة الترابط الضعيف تعطى بصيغة بولتزمان التالية[4]:

$$\mathrm{g}_{ij}(r) = exp\left(-\frac{U_{ij}(r)}{K_B T}\right) \qquad (\mathrm{II}.8)$$

وتعطى دالة التوزيع القطرية الناتجة عن تفاعل كلبجي المحجب وديباي على الترتيب:

$$\mathrm{g}_{ij}{}^{k}(r) = exp\left(-\frac{U^K{}_{ij}(r)}{K_B T}\right)$$
$$= exp\left(-\frac{1}{K_B T}\frac{Z_i Z_j e^2}{r}\left[1 - e^{-(r/\lambda_T)^2} + \sqrt{\pi}\frac{r}{\lambda_T}\left(1 + \mathrm{erf}\left(\frac{r}{\lambda_T}\right)\right)\right]e^{-r/\lambda_D}\right) \qquad (\mathrm{II}.9)$$

$$\mathrm{g}_{ij}{}^{D}(r) = exp\left(-\frac{U^D{}_{ij}(r)}{K_B T}\right) = exp\left(-\frac{1}{K_B T}\frac{Z_i Z_j e^2}{r}\exp(-r/\lambda_D)\right) \qquad (\mathrm{II}.10)$$

II-5 نتائج والمناقشة

عند استخدام المقادير التالية كوحدات $y = \frac{r}{r_0}$، $\eta' = \frac{r_0}{\lambda_T}$ و $v = \frac{r_0}{\lambda_D}$ تصبح المعادلات الخاصة بطاقة التفاعل كما يلي:

$$\frac{U_{ij}{}^{K}(y)r_0}{q_i q_j e^2} = \frac{1}{y}\left[1 - e^{-(\eta' y)^2} + \sqrt{\pi}\eta' y\left(1 + \mathrm{erf}(\eta' y)\right)\right]e^{-vy}$$

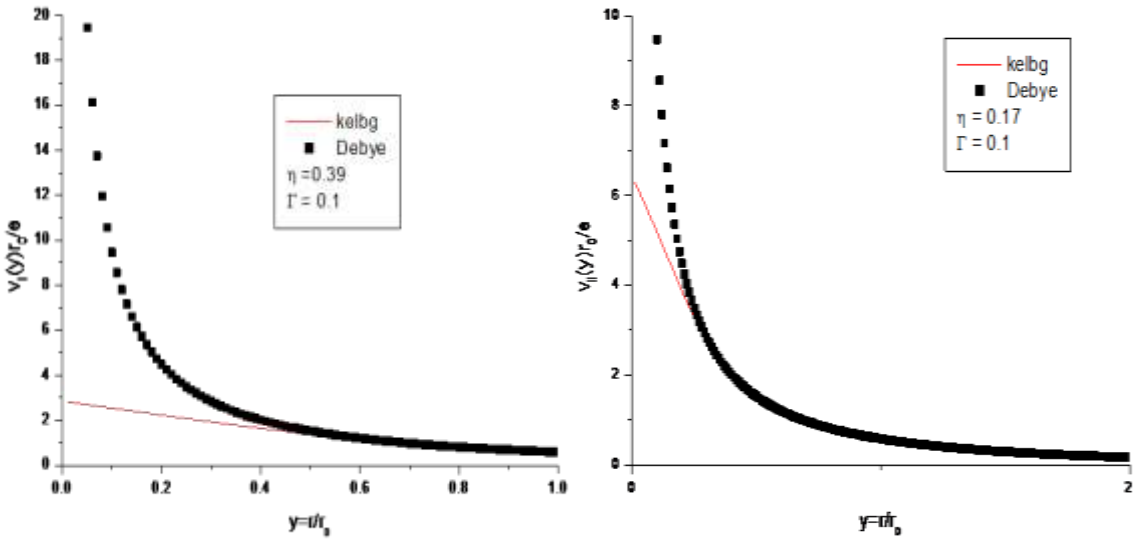
$$\frac{U_{ij}{}^{D}(y)r_0}{q_i q_j e^2} = \frac{1}{y}\exp(-vy)$$

وتصبح الدالة الزوجية :

$$g_{ij}{}^{k}(y) = exp\left(-\frac{\Gamma}{y}\left[1 - e^{-(\eta' y)} + \sqrt{\pi}\eta' y\left(1 + \mathrm{erf}\left(\eta' y\right)\right)\right] e^{-vy}\right)$$

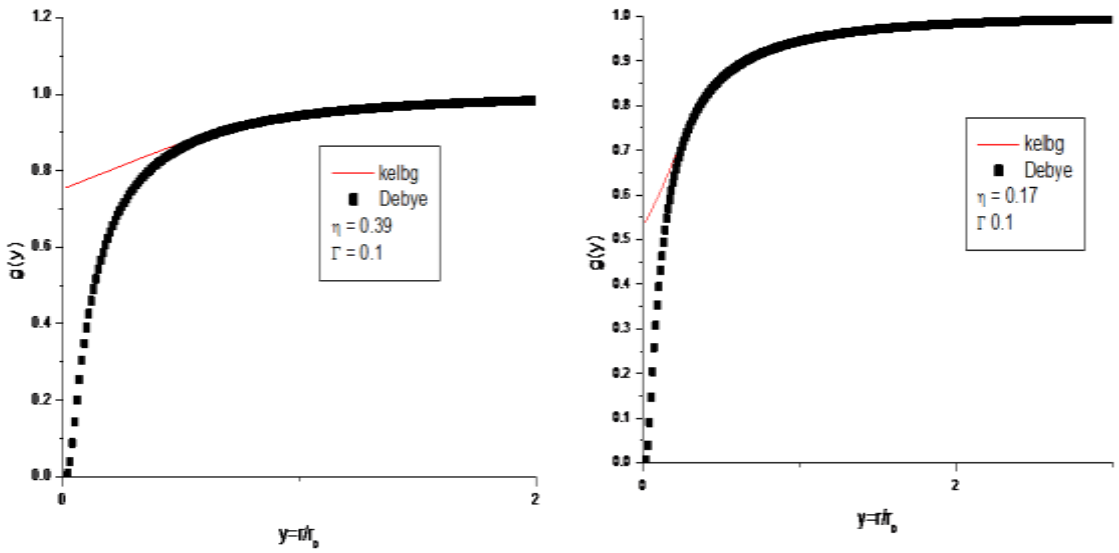
$$g_{ij}{}^{D}(r) = exp\left(-\frac{\Gamma}{y}\exp(-vy)\right)$$

بعد تعويض قيم الثوابت تحصلنا على النتائج التالية:

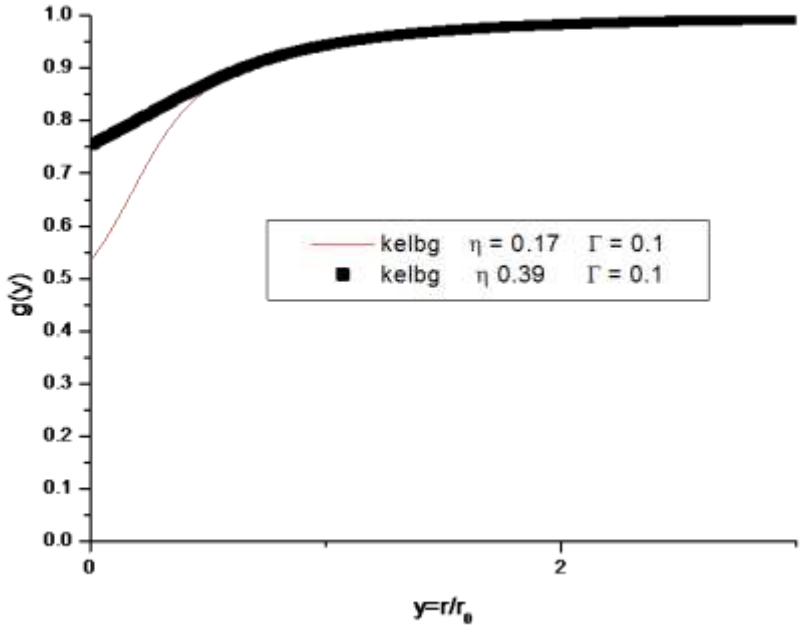


الشكل $(\mathrm{II} - 1)$ يمثل مقارنة بين كمون دالة ديباي وكمون دالة كلبجي المحجب في بلازما ذات مركب واحد $(Z = 1)$ من اجل قيم مختلفة لمعامل التكميم η ونفس $\Gamma = 0.1$.

يوضح الشكل$(\mathrm{II} - 1)$ مقارنة بين كمون دالة ديباي وكمون دالة كلبجي المحجب المستخدم في عملنا هذا من أجل قيم مختلفة لمعامل التكميم η و لنفس قيمة معامل الترابط (بلازما ضعيفة الارتباط) حيث نلاحظ من الشكل تباعد المنحنيين عن بعضهما في البداية نتيجة تأثير الفعل كمومي عند المسافات الصغيرة وهذا الانحراف يتعلق بمعامل التكميم η. وابتداء من قيمة معينة نلاحظ أن المنحنيات متطابقة مع بعض وتميل إلى الصفر عند المالانهاية لعدم وجود تأثير بين الشحنتين. وأيضا كما هو معروف ان تفاعل ديباي عند المسافات الصغيرة يصبح مالانهاية لكن تفاعل كلبجي المحجب له قيمة معينة.



الشكل (II – 2) مقارنة بين دالة التوزيع القطرية لتفاعل ديباي ودالة التوزيع القطرية لتفاعل كلبجي المحجب من أجل قيم مختلفة لـ η و Γ=0.1



الشكل (II – 3) مقارنة بين دالة التوزيع القطرية لتفاعل كلبجي من أجل درجة حرارة مختلفة و η و $\Gamma = 0.1$.

يوضح الشكل $(2 - II)$ مقارنة بين دالة الارتباط الناتجة من تفاعل كلبجي المحجب ودالة الارتباط الناتجة من تفاعل ديباي المستخدم في عملنا هذا من أجل قيم مختلفة لمعامل التكميم η ومعامل االتزاوج. حيث نلاحظ من الشكل تباعد المنحنيين عن بعضهما في البداية نتيجة تأثير الفعل كمومي وهذا الانحراف يتعلق بمعامل التكميم η. وابتداء من قيمة معينة نلاحظ أن المنحنيات متطابقة مع بعض وتميل إلى الواحد.

يوضح الشكل $(3 - II)$ مقارنة بين دالة التوزيع القطرية في كلتا الحالتين لتفاعل كلبحي المحجب من أجل قيم مختلفة لمعامل التكميم η ودرجة حرارة T. نلاحظ من الشكل هناك فرق بين المنحنين بحيث يظهر لنا ارتفاع في المنحنيين ومنه يأخذ المنحنى ذو درجة التكميم $\eta = 0.17$ قيمة مرتفعة بالمقارنة مع المنحنى ذو درجة التكميم $\eta = 0.39$ قيمة أقل منها. وعند قيمة معينة نلاحظ أن المنحنيات متطابقة مع بعض وتميل إلى الواحد حيث لا يوجد التأثير الكمومي.

II–6 الخاتمة

لقد ناقشنا في هذا الفصل موضوعا مهما حيث درسنا الفرق بين تفاعل ديباي و تفاعل كلبجي المصحح من أجل ملاحظة التغيرات عند أخذ التأثيرات الكمومية بعين الاعتبار عند المسافات الصغيرة، وأيضا دالة الارتباط القطرية كدالة تفاعل ديباي وكلبجي المصحح، ثم قمنا بإجراء مقارنة بينهما.

الفصل الثالث

حساب دوال الارتباط الزمنية ومعامل الانتشار

III-1مقدمة

المعطيات الموجودة في طيف البلازما لا تتعلق فقط بفيزيا ء المشعات المشحونة، أيضا تتعلق بالبلازما المحيطة بها، هذا التعلق هو نتيجة مباشرة للتفاعل بين المشعات والجسيمات (الخصائص السكونية)، وأيضا دوال الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري (الخصائص الديناميكية للبلازما). حيث هناك العديد من النظريات وضعت لحساب دوال الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري وللسرعة.

في هذا الفصل سنتبع طريقة تحليلية لحساب دوال الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري وأيضا دوال الارتباط الزمنية للسرعة شائبة ايونية موضوعة في بلازما ذات مركب واحد (ايونات تسبح داخل خلفية مستمرة سالبة) وهي مرتكزة على معادلة أساسية لدالة الذاكرة (*Memory function*)، بالإضافة الى حساب اخر نظريا أيضا لمعامل الانتشار. وفي كل هذه النماذج النظرية نعتمد عل صيغة كلبجي المصحح لتفاعل بين الشائبة والوسط في حالة معامل الترابط الضعيف.

III-2 النموذج النظري

نعتبر شائبة أيونية في الموضع $\overrightarrow{r_0}$، شحنتها q_0، وذات كتلة m_0 موضوعة في بلازما ذات مركب واحد (شحنة الايونات q كتلتها m)، تسبح داخل خلفية مستمرة سالبة (الالكترونات) في حالة التوازن الترموديناميكي. الحقل الكهربائي الكلي الناتج عن المكونات المختلفة للوسط والمؤثر على الشائبة الأيونية هو:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{N_\alpha} \overrightarrow{e_\alpha}\left(\vec{r_i} - \vec{r}(0)\right) + \overrightarrow{E_b} \qquad \text{(III. 1)}$$

حيث $\overrightarrow{e_\alpha}\left(\vec{r_i} - \vec{r}(0)\right)$ الحقل الكهربائي الناتج على الايون i يبعد المسافة $|\vec{r_i} - \vec{r}(0)|$ على الشائبة الايونية و $\overrightarrow{E_b}$ هو الحقل الكهربائي الناتج عن الخلفية المستمرة. N_α هو عدد الأيونات من النوع α.

تعرف دالة الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري وللسرعة الشائبة على النحو التالي:

$$C(t) = \frac{\langle \vec{E}(t) \,.\, \vec{E}(0) \rangle}{\langle \vec{E}(0) \,.\, \vec{E}(0) \rangle} \qquad \text{(III. 2)}$$

$$\mathrm{D}(t) = \frac{\langle \vec{V}(t) \,.\, \vec{V}(0) \rangle}{\langle \vec{V}(0) \,.\, \vec{V}(0) \rangle} \qquad \text{(III. 3)}$$

$\vec{V}(0) = \overrightarrow{V_0}$ شعاع السرعة الشائبة الابتدائية. والدالتان السابقتان مرتبطتان وفق القانون الأول لنيوتن كمايلي :

$$\frac{d^2 D(t)}{dt^2} = -{\omega_0}^2\, C(t) \qquad \text{(III. 4)}$$

حيث:

$$\omega_0 = (\beta {q_0}^2/3m_0)\langle E^2\rangle \qquad ; \qquad \beta = \frac{1}{K_B \mathrm{T}}$$

وباستخدام تقنية مؤثر الاسقاط *Nakajima* و *Zwanzig* تعطى دالة$D(t)$ بالشكل التالي :

$$\frac{d^2}{dt^2}D(t) + {W_0}^2\, D(t) + \int_0^t d\tau\, M\,(t-\tau)\frac{d}{dt}\, D(\tau) = 0 \qquad (\mathrm{III.5})$$

مع الشروط الابتدائية:

$$D(t=0) = 1 \;\; ; \qquad C(t=0) = 0 \qquad (\mathrm{III.6})$$

$$D'(t=0) = 1 \;\; ; \qquad C(t=0) = 0 \qquad (\mathrm{III.7})$$

تصف المعادلة (III-5) حركية التذبذبات في وسط لزج ذو تردد يساوي ω_0 في وجود تخميد ، والذي يعبر عنه بواسطة دالة الذاكرة$M(t)$ ،تختار على النحو التالي[17]:

$$M(t) = M(0)\, exp(-\lambda\, t) \qquad (\mathrm{III.8})$$

$$M(0) = {\omega_1}^2 - {\omega_0}^2 \qquad (\mathrm{III.9})$$

يتم تعيين العامل λ بواسطة العلاقة التالية:

$$\lambda({\omega_1}^2/{\omega_0}^2 - 1)/\beta m_0\; D \qquad (\mathrm{III.10})$$

حيث Dهو معامل الانتشار الذاتي الذي تعطيه علاقة *Green-Kubo*

$$\beta m_0\, D = \int_0^\infty dt\, D(t) \qquad (\mathrm{III.11})$$

باستخدام تحويل فوري للعلاقات السابقة ثم تحويل فوري العكسي ونظرية البواقي نتحصل على [14]:

$$D(t) = \sum_{i=1}^{3} D_i exp(z_i t) \qquad (\mathrm{III.12})$$

$$C(t) = \sum_{i=1}^{3} C_i exp(z_i t) \qquad (\mathrm{III.13})$$

بحيث يتم تعريف المعاملات:

$$C_i = \frac{(\lambda + z_i)z_i(z_{i+2} - z_{i+1})}{\prod_{n=1}^{3}(z_n - z_{n+1})} \qquad (\mathrm{III.14})$$

$$D_i = -\left(\frac{\omega_0}{z_i}\right)^2 C_i \qquad (\mathrm{III.15})$$

معاملات z_i هي الجذور الثلاثة للمعادلة الجبرية التكعيبية التالية:

$$Z^3 + \lambda Z^2 + {\omega_1}^2 Z + \lambda {\omega_0}^2 = 0 \qquad (\mathrm{III.16})$$

ان حساب دوال الارتباط$D(t)$ و$C(t)$ نحتاج إلى معرفة الجذور Z_i التي ترتبط بالمعاملات ω_0،ω_1 وλ التي يتم حسابها عدديا تعرف هذه المعاملات [18]:

III-1-1المعامل الأولω_0

يعطى بالعلاقة التالية:

$$\omega_0{}^2 = -\frac{1}{3}\left(\frac{nq_0}{m_0}\right)\int d\vec{V}\left(\overrightarrow{\nabla_0}\vec{e}(r)\right)g(r) \qquad (\text{III}.17)$$

يعطى تفرق الحقل الكهربائي في الإحداثيات الكروية بالعلاقة التالية:

$$\overrightarrow{\nabla_0}\vec{e}(r) = -\Delta\, V(r) = -\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial}{\partial r}\right)V(r) \qquad (\text{III}.18)$$

من أجل كمون ديباي:

$$U(r) = \frac{q}{r}e^{-r/\lambda_D} \qquad (\text{III}.19)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{3}\omega_p^2\int r\,dr\,K_D{}^2\exp(-K_D\,r)\,\mathrm{g}(r) \qquad (\text{III}.20)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{3}\omega_p^2\mathrm{I}_0 \qquad (\text{III}.21)$$

$$I_0 = 1 + \int_0^\infty rK_D{}^2\exp(-K_Dr)\,[\mathrm{g}(r) - 1]dr \quad \text{و} \quad \omega_p^2 = \frac{4\pi nq^2}{m}$$

من أجل كمون كلبجي المحجب:

$$U(r) = \frac{q}{r}\left[1 - e^{-(r/\lambda_T)^2} + \sqrt{\pi}\frac{r}{\lambda_T}\left(1 + erf\left(\frac{r}{\lambda_T}\right)\right)\right]e^{-r/\lambda_D} \qquad (\text{III}.22)$$

بوضع $_T = \frac{1}{\lambda_T}$ ، نقوم بإدخال المعادلة (22-III) في المعادلة (17-III) نجد أن:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{3}\omega_p^2\int_0^\infty rdr\left[\left(-k_D{}^2 - \sqrt{\pi}k_D{}^2k_Tr + 2k_Dk_T\sqrt{\pi}\right)e^{-k_Dr} + \left(k_D{}^2 + 2k_T{}^2\right)e^{-(k_Dr+2k_T{}^2r^2)}\right.$$
$$\left. + \left(\sqrt{\pi}k_D{}^2k_Tr - 2k_Dk_T\sqrt{\pi}\right)\mathrm{erf}(k_Tr)e^{-k_Dr}\right]\mathrm{g}(r) \qquad (\text{III}.23)$$

بحيث:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{3}\omega_p^2 I_0$$

$$I_0 = \int_0^\infty rdr\left[\left(-{k_D}^2 - \sqrt{\pi}{k_D}^2 k_T r + 2k_D k_T\sqrt{\pi}\right)e^{-k_D r} + \left({k_D}^2 + 2{k_T}^2\right)e^{-\left(k_D r + 2{k_T}^2 r^2\right)} + \left(\sqrt{\pi}{k_D}^2 k_T r - 2k_D k_T\sqrt{\pi}\right)\mathrm{erf}(k_T r)e^{-k_D r}\right]\mathrm{g}(r)$$

المعامل الثاني ω_1:

يعطى بالعلاقة التالية:

$$\omega_1^2 = \omega_0^2\left(1 + \frac{q_0}{3m_0^2\omega_0^4}\left(\frac{nm_0}{\mu}\right)\int d\vec{r}\left[\frac{d\vec{e}(r)}{dr_k}\right]^2 \mathrm{g}(r)\right) \qquad \text{(III. 24)}$$

$$\left[\frac{d\vec{e}(r)}{dr_k}\right]^2 = \left[\frac{d}{dr}(\vec{\nabla}V)\right]^2 + \frac{2}{r^2}\left[\vec{\nabla}V\right]^2 = \left[\frac{d^2V}{dr^2}\right]^2 + \frac{2}{r^2}\left[\frac{dV}{dr}\right]^2 \qquad \text{(III. 25)}$$

من أجل دالة ديباي:

نقوم بإدخال المعادلة (III-19) في المعادلة (III-25) نجد أن:

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 + \frac{q_0}{3m_0^2\omega_0^2}\left(\frac{nm_0}{\mu}\right)\int_0^\infty r^{-4}drexp(-2K_D r) \times [6 + 12K_D r + 10(K_D r)^2 + 4(K_D r)^3 + (K_D r)^4]\mathrm{g}(r) \qquad \text{(III. 26)}$$

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 + \frac{q_0}{3{m_0}^2\omega_0^2}\left(\frac{nm_0}{\mu}\right)I_1 \qquad \text{(III. 27)}$$

$$\omega_1^2 = \omega_0^2\left(1 + \left(m_0/\mu{I_0}^2\right)I_1\right) \qquad \text{(III. 28)}$$

مع:

$$\mu = \frac{m_0 m}{m_0 + m}$$

$$I_1 = \int_0^\infty r^{-4}dr\, exp(-2K_D r) \times [6 + 12K_D r + 10(K_D r)^2 + 4(K_D r)^3 + (K_D r)^4]$$

من أجل دالة كلبجي المحجب:

لدينا:

$$\left(\frac{\partial^2 v}{\partial r^2}\right)^2+\frac{2}{r^2}\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)^2 = \frac{1}{r^6}\Big[\Big(\Big(2k_Dr+{k_D}^2r^2+2+\sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3-\sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3\mathrm{erf}(k_Tr)\Big)^2 + 2\left(-k_Dr-1-\sqrt{\pi}k_Dk_Tr^2+k_Dk_T\sqrt{\pi}r^2\mathrm{erf}(k_Tr)\right)^2\Big)e^{-2k_Dr} + \left(2(1+k_Dr)^2+\left(-2k_Dr-{k_D}^2r^2-2{k_T}^2r^2-2\right)^2\right)e^{-2k_Dr-2{k_T}^2r^2} + \Big(4\left(-k_Dr-1-\sqrt{\pi}k_Dk_Tr^2+k_Dk_T\sqrt{\pi}r^2erf(k_Tr)\right)(1+k_Dr) + 2\left(2k_Dr+{k_D}^2r^2+2+\sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3-\sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3erf(k_Tr)\right)\left(-2k_Dr-{k_D}^2r^2-2{k_T}^2r^2-2\right)\Big)e^{-2k_Dr-{k_T}^2r^2}\Big] \qquad (\mathrm{III}.29)$$

نقوم بإدخال المعادلة $(\mathrm{III}-29)$في المعادلة$(\mathrm{III}-25)$ نجد أن:

$$\omega_1^2=\omega_0^2\Big(1+\frac{q_0}{3m_0{W_0}^4}\left(\frac{nm_0}{\mu}\right) \times 4\pi\int r^{-4}dr\Big[\Big(\Big(2k_Dr+{k_D}^2r^2+2+\sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3 - \sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3erf(k_Tr)\Big)^2 + 2\left(-k_Dr-1-\sqrt{\pi}k_Dk_Tr^2+k_Dk_T\sqrt{\pi}r^2erf(k_Tr)\right)^2\Big)e^{-2k_Dr} + \left(2(1+k_Dr)^2+\left(-2k_Dr-{k_D}^2r^2-2{k_T}^2r^2-2\right)^2\right)e^{-2k_Dr-2{k_T}^2r^2} + \Big(4\left(-k_Dr-1-\sqrt{\pi}k_Dk_Tr^2+k_Dk_T\sqrt{\pi}r^2erf(k_Tr)\right)(1+k_Dr) + 2\left(2k_Dr+{k_D}^2r^2+2+\sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3-\sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3erf(k_Tr)\right)\left(-2k_Dr-{k_D}^2r^2-2{k_T}^2r^2-2\right)\Big)e^{-2k_Dr-{k_T}^2r^2}\Big]g(r)\Big) \qquad (\mathrm{III}.30)$$

لدينا بلازما من نفس النوع ومنm_0 و m نجد

$$\omega_1^2=\omega_0^2\left(1+\frac{\mathrm{I}_1}{{\mathrm{I}_0}^2}\frac{m}{\mu}\right) \qquad (\mathrm{III}.31)$$

$$\omega_1^2=\omega_0^2\left(1+\frac{2\mathrm{I}_1}{{\mathrm{I}_0}^2}\right) \qquad (\mathrm{III}.32)$$

$$\mathrm{I}_1 = \int r^{-4}dr\Big[\Big(\big(2k_Dr + {k_D}^2r^2 + 2 + \sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3 - \sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3erf(k_Tr)\big)^2 + 2\big(-k_Dr - 1 - \sqrt{\pi}k_Dk_Tr^2 + k_Dk_T\sqrt{\pi}r^2erf(k_Tr)\big)^2\Big)e^{-2k_Dr} + \Big(2(1+k_Dr)^2 + \big(-2k_Dr - {k_D}^2r^2 - 2{k_T}^2r^2 - 2\big)^2\Big)e^{-2k_Dr-2{k_T}^2r^2} + \Big(4\big(-k_Dr - 1 - \sqrt{\pi}k_Dk_Tr^2 + k_Dk_T\sqrt{\pi}r^2erf(k_Tr)\big)(1+k_Dr) + 2\big(2k_Dr + {k_D}^2r^2 + 2 + \sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3 - \sqrt{\pi}{k_D}^2k_Tr^3erf(k_Tr)\big)\big(-2k_Dr - {k_D}^2r^2 - 2{k_T}^2r^2 - 2\big)\Big)e^{-2k_Dr-{k_T}^2r^2}\Big]$$

III-1-3المعامل λ

يتم تعريفه بالعلاقة التالية:

$$\lambda = \left(\frac{\omega_1^2}{\omega_0^2} - 1\right)/\beta m_0\, D \qquad (\mathrm{III}.33)$$

هذا المعامل يرتبط مباشرة بمعامل الإنتشارD.

III-1-4 حساب معامل الإنتشار D

يتم إعطاء معامل الإنتشار بدلالة دالة الترابط للسرعة بالعلاقة التالية:

$$D = \frac{1}{3}\int_0^\infty D(t)\,\langle\overrightarrow{V_0}(t)\,.\,\overrightarrow{V_0}(0)\rangle \qquad (\mathrm{III}.34)$$

أي $\overrightarrow{V_0}$شعاع ايون الاختبار،$< \cdots >$ القيمة المتوسطة في حالة التوازن.

بالاعتماد على مؤثر الاسقاط (*projection operator*) ومؤثر لويفيل (*Louiville operato*) وبعض التقريبات الأخرى، نستخدم العلاقة رقم (C.10) من اعمال *M .A. Berkovsky*(1996)

[27][28]، حيث يعطى معامل الانتشار بدلالة معامل البنية الديناميكي للكثافة $S(k,\omega)$ ومعامل البنية الذاتي للشائبة الايونية $S^s(k,\omega)$، و $\nu(k)$تحويل فوريه للكمون ديباي بأخذ في هذا العمل كمون ديباي غير خطي. العلاقة السابقة (III-37) تصبح بهذا الشكل:

$$D^{-1} = \frac{4\pi}{3}\sqrt{2\beta m}\int_0^\infty dkk^4C(k)\,V(K)^{-1}\int_0^\infty dws(k,\omega)s^s(k,\omega) \qquad (\mathrm{III}.36)$$

تعطي العلاقة الهيكلية.

$$S(k.\omega) = \frac{2n}{\omega}\frac{\Gamma(x)}{(n\,c(k))^2.\left(nc(k)^{-1} + (\Gamma``(x))^2 + (\Gamma`(x))^2\right)} \qquad (III.37)$$

$$S^S(k.\omega) = \frac{1}{k}\left(\frac{\beta m\pi}{2}\right)^{\frac{1}{2}} exp^{-x^2} \qquad (III.38)$$

بحيث $\Gamma`(x) = x\sqrt{\pi}exp^{-x^2}$

$\Gamma``(x) = 1 - 2D(x)$

و $D(x)$ هي عبارة عن دالة بواسون، إذ قمنا بإدخال المعادلة (III-37)(III-38)في المعادلة (III-36) نجد

$$D^{-1} = \frac{\sqrt{2\beta m}}{6n}\int_0^\infty dkk^3\frac{n\beta v(k)}{nc(k)}\int_0^\infty \frac{exp^{-x^2}}{(nc(k))^{-1} + (\Gamma``(x))^2 + (\Gamma`(x))^2} \qquad (III.39)$$

$c(k)$ هو تحويل فوريه لدالةالارتباط المباشر (علاقة أورنشتاين – زيرنيك)

$$n\,c(k) = \frac{nh(k)}{1+nh(k)} \text{ و } \quad h(r) = g(r) - 1$$

حيث $h(k)$ و (k) هما محول فوريه ل$h(r)$ و $v(r)$

$$n\,h\,(k) = \frac{3}{4\pi}\sqrt{\frac{2}{\pi}}\int_0^\infty rdr(g(r)-1)\frac{\sin k\,r}{k}$$

$$\beta v(k) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)\sqrt{\frac{2}{\pi}}\int_0^\infty \beta v(r)\,r\frac{\sin(kr)}{k}dr \qquad (III.40)$$

معامل الانتشار بدون وحدة يساوي:

$$D^* = [D^{-1}\omega_P {r_0}^2] \qquad (III.41)$$

بعد قراءة معامل الانتشارD وأيضاω_0 و ω_1 لكلا الكمونات، يمكننا حساب معاملλ.

III-3 المناقشة والنتائج العددية

نأخذ البلازما ذات $Z = 1$، وايضا الشايبة من نفس النوع اي $m = m_0$، و بعد تعويض كل المعاملات في المعادلات ومعالجتها عدديا تحصلنا على النتائج التالية:

الجدول $(III-1)$مقارنة بين قيم المعاملات ω_0،ω_1و λ من اجل تفاعل كلبجي و تفاعل ديباي من أجل Γ=0.1 0.5 Γ= للبلازما ذات مكون واحد.وأيضا هناك مقارنة لأعمال أخرى مستخدم فيها تفاعل دوتش [14]. نلاحظ ان القيم مختلفة بين تلك المتحصل عليها من تفاعل كلبجي المحجب و الأخرى من تفاعل ديباي و حيث ان المعاملات تنقص عن تلك المحسوبة بتفاعل ديباي وهو ناتج عن اخذ التأثير الكمومي بعين الاعتبار. بالنسبة الى المقارنة بين نتائج تفاعل دوتش و كلبجي المحجب كانت متقاربة عند الترابط الضعيف وكلما ازداد الترابط ازداد الاختلاف.

يوضح الجدول ا$(III-2)$مقارنة بين قيم معامل الانتشار لقيم مختلفة لمعاملات ارتباط فيما يتعلق بالنتائج كلبجي المصحح لبلازما ذات مكون واحد $(z=1)$ وΓ=0.1 ، Γ= 0.5 مع نتائج تفاعل ديباي وتفاعل دوتش. حيث نلاحظ ان قيم كلبجي المحجب اكبر من قيم المتحصل عنها من تفاعل ديباي ودوتش. وكلما ازدا معامل الترابط تناقصت قيم معامل الانتشار. وايظا من اجل نفس معامل الترابط زيادة معامل التكميم يؤدي الى الزيادة في معامل الانتشار.

الجدول $(III-1)$: **مقارنة بين قيم المعاملات ω_0وω_1وλ من اجل تفاعل كلبجي المحجب و تفاعل ديباي لمن أجل Γ=0.1 Γ= 0.5 للبلازما ذات مكون واحد.**

Γ	η	$\omega^2{}_{0\ kelbg}$	$\omega^2{}_{1\ kelbg}$	$\omega^2{}_{0\ Debye}$	$\omega^2{}_{1\ Debye}$	λ_{kelbg}	λ_{Debye}	$\lambda_{Deutsch}$ [14]
0.1	0.17	0.101	334.449	3.163	8746.26	56.329	626	53.50
	0.39	0.135	41.178			3.472		/
0.5	0.75	0.115	5.424	2.786	125.868	1.263	40	10.54
	1.15	0.142	1.356			0.111		10.54

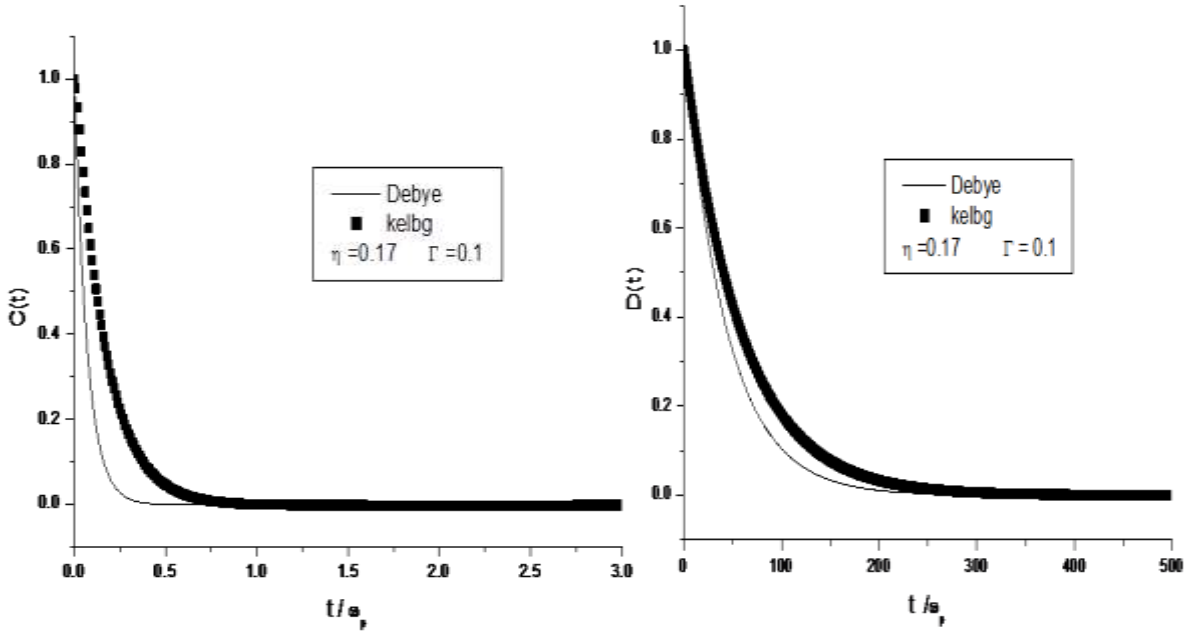
الجدول III – 2:مقارن بين قيم معامل الانتشار لقيم مختلفة لمعاملات ارتباط فيما يتعلق بالنتائج كلبجي المصحح لبلازما ذات مكون واحد $(z = 1)$ وΓ=0.1 ، Γ= 0.5مع نتائج تفاعل ديباي وتفاعل دوتش.

Γ	η	n_e	T	D_{kelbg}	D_{Debye}	$D_{Deutsch}$ [14]
0.1	0.17	2×10^{20}	1.6×10^5	198.92	147	247.15
	0.39	2.5×10^{22}	7.9×10^5	292.26		/
0.5	0.75	9.12×10^{21}	11.26×10^4	24.33	7.48	37.09
	1.15	2.28×10^{23}	32.92×10^4	50.84		77.38

يتم تحديد جذور Z_i من حل معادلة التكعيبية $(16.\text{III})$.نحصل على نتيجة سلبية ذات اقتران ضعيف ومن تم ادخاله في المعادلة $(14.\text{III}), (15.\text{III})$ للعثور على المعاملات D_iو C_i .وأخيرا يمكن حساب دوال الارتباط للحقل الكهربائي c(t) والسرعة D(t) من المعادلة $(12.\text{III}), (13.\text{III})$.

في الشكل $(1.\text{III})$ مقارنة دالة الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري ودالة الارتباط الزمني للسرعة باستخدام تفاعل ديباي وتفاعل كلبجي المحجب في بلازما ذات مركب واحد عند 0.1 و$\eta = 0.17$ على الترتيب، نلاحظ انه هناك اختلاف بين المنحنيات حيث ينزاح منحى كلبجي على منحنى ديباي الى القيم الاكبر لـ t/ω_p. في كل مرة تتغير فيها قيمة معامل التكميم η، دوال الارتباط الزمنية تبعا لذلك وبالتحديد يزداد الارتباط بين الحقل الكهربائي عندما تقل قيمة η' لنفس معامل الترابط Γ.

ومنه نلاحظ أن دالة الارتباط الزمنية للسرعة للشائبة الايونية ينخفض إلى الصفر خلال زمن طويل..ويحدث العكس بالنسبة لدالة الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري C (t) يأخذ وقت قصير جدا حتى يؤول الى الصفر . وبما أن الموصلية الكهربائية تتناسب مع التكامل مع مرور الوقت C (t)، فإن البلازما هي أفضل مواتية للكهرباء.



الشكل(1.III) مقارنة دالة الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري والسرعة باستخدام تفاعل ديباي وتفاعل كلبجي المحجب في بلازما ذات مركب واحد عند$\Gamma = 0.1$ و $\eta = 0.17$.

4-III الخاتمة

تم حساب كل من معامل الانتشار ودوال الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي والسرعة وفق نموذج نظري، واعطي نتائج مقبولة نوعا ما يبقى التحقق منها من خلال المقارنة مع نماذج أخرى كالمحاكاة العددية او التجارب.

خاتمة

خاتمة عامة

في هذه المذكرة قمنا بدراسة عملين أساسين. الأولى تتعلق بمعامل الإنتشار وفق نموذج نظري يعتمد على معاملات البنية الديناميكية وستاتيكية، وكل الحسابات النظرية مبنية على تفاعل كلبجي المحجب بين الشائبة الايونية و مكونات الاخرى في بلازما ذات مركب واحد $(Z = 1)$. حيث تم مقارنة النتائج نموذج كلبجي المحجب بتلك المتحصل عليها عندما نستخدم تفاعل ديباي و أيضا مقارنة للنتائج مع نموذج دوتش.

العامل الثاني حساب دوال الترابط الزمنية للسرعة $D(t)$ و للحقل الكهربائي المجهري $C(t)$ في البلازما نظريا ، واعتمد هذا العمل على حساب معامل الانتشار السابق وايضا على تفاعل كلبجي المحجب لاضهار التأثير الكمومي على هذا النموذج. كل هذه الاعمال كانت مرتبة وفق الفصول التالية:

في الفصل الأول تطرقنا الى دراسة عامة حول البلازما حيث تناولنا عنها تعاريف ، كيفية معالجتها وسلم تغيرها وأهم المقادير التي تستخدم كوحدة السلم.

في الفصل الثاني قمنا بمقارنة بين تفاعلات ديباي و تفاعلات كلبجي المحجب وناقشنا النتائج التي تم الحصول عليها وكانت مقبولة. كما ناقشنا أيضا في هذا الفصل دالة التوزيع القطرية وقمنا بالتعليق عليها بتمثيل على شكل منحنيات.

في الفصل الثالث تم فيه الحساب النظري لمعامل الانتشار ودوال الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي والسرعة.

حساب دوال الارتباط الزمنية للحقل الكهربائي المجهري من خلال تفاعل كلبجي المحجب يدخل في حساب خطوط الطيف $Ly - \alpha$ و $Ly - \beta$ ليكون كأفاق مستقبلية.

المراجع

المراجع

[1]إ.شيحي، حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضعي داخل البلازما،باستخدام المحركات العددية مونتي كارلو: تطبيق على طيف الهليوم، أطروحة الدكتراه جامعة منتوري قسنطينة(2005).

[2] تجاجنةربيعة، حساب دالة توزيع الحقل الكهربائي المجهري في البلازما ذات مركب واحد باستخدام تفاعل ديباي غير خطي، مذكرة ماستر أكاديمي، جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2005).

[3]عبد الله موسى، فيزياء البلازما، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع (2010) .

[4]*B.Held, physique des plasmas froid, Mossonparis,1994.*

[5] محمودي منال،دراسة التعريض الإلكتروني في حالة القيم الصغيرة لوسيط الصدم في البلازما،2014/2013.

[6] مقدمة في فيزياء البلازما، لوليد صهيوني، يونيو2006، سلطنة عمان.

[7]DELCROixj.L .physique des plamas . Monographies, Dunod, 1963.

[8]DELCROixj.L.physique des gaz et des plasmas, Encyclopaediauniversalis.

[9] قريشة سليمة، مساهمة في دراسة توزيعات المشتقات الفضائية للحقول الكهربائية الموضعية في البلازما ، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح، 2008 ورقلة.

[10] W. Crookes , On a foute of Mater, Proceedings of the Rociety of London, Vol .30,pp. 469-472(1879-1880)

[11] ذ. علاء الدين عبد الله النعيمي و ذ. قاسم محمود علي و ذ. إبراهيم محمد علي الجودي "الفيزياء التطبيقية الحديثة "دار الجيل للنشر و الطباعة و التوزيع. بيروت. لبنان. الطبعة الثانية (2005)

[12]ريتز–ميلفورد ترجمة يحي عبد الحميد الحاج علي و الدكتور رحمن رستم عبد الله "اساسيات النظرية الكهرومغناطيسية" وزارة التعليم العالي و البحث العلمي . جامعة الموصل العراق (1988)

[13] J.P. Freidberg .Plasma Physics and fusion energy , Cambridge University Press, 1998 NewYork .

[14] CHEBOUAT ZINEB, Fonctions d'auto-corrélation dans deux plasmas modéles, Mémoire MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA (2016).

[15] W.E beling, A. Filinov and all; J. phys. A Math. Gen. (200639),4309-4317.

[16]DouisSaid ; Thése de Doctorat; Propriétés Statisiques Des Electrons Dans Un Plasma Haute Température ;2013

[17] T. Chohra ; thèse de Magistere, Université de Ouargla (Algérie), Avril (2000).

[18] M.T. Meftah, T. Chohra, H. Bouguettaia, F. Khelfaoui, B. Talin, A. Calisti, and J.W.Dufty, Eur-Phys. J. B 37, 39-46 (2004).

[19] J.P. Hansen et I.R Madonald, Theory of simple liquids'Acadmic press (1976)

[20] M.A.Berkovsky, J.W. Dufty, A. Calisti, R. Stamm, etphy. Rev.E54 (1996).

ملخص

الهدف من هذا العمل هو اظهار التأثير الكمومي على حساب دوال الارتباط الزمنية للسرعة $D(t)$ وللحقل الكهربائي $C(t)$ لشائبة داخل بلازما ذات مركب واحد، وذلك باستخدام كمون كلبجي المحجب. يعتمد هذا الحساب النظري دالة التوزيع القطرية ومعامل الانتشار D، اللذان يعتمدان بصورة غير مباشرة مع الكمون. حيث قمنا أيضا بمقارنة النتائج مع نتائج المتحصل عليها في حالة استخدام تفاعل ديباي . اعتبرنا في هذه الحالة بلازما ضعيفة التزاوج $(\Gamma \leq 1)$ ولمختلف القييم لمعامل التكميم.

Résumé

Le but de ce travail est de montrer l'effet quantique sur le calcul des fonctions de corrélation pour la vitesse D (t), et le champ électrique C (t) d'impureté dans un plasma à une seule composante, par l'utilisation de potentiel de Kelbg écranté. Ce calcul théorique dépende de la fonction de distribution radiale et le coefficient de diffusion D, qui sont indirectement dépendants de ce potentiel.Où nous avons aussi comparé les résultats avec ceux obtenus dans le cas de potentiel de Debye. Nous considérons que le plasma est faiblement corrélé (le couplage$\Gamma \leq 1$) et pour les différentes valeurs du coefficient de quantification.

Abstract

The aim of this work is to show the quantum effect on the account of the correlation functions for speed D(t), and the electric field C (t) of impurity in the one component plasma, by the use of screen Kelbg potential. This theoretical calculation depens on the radial distribution function and the diffusion coefficient D, which are indirectly dependent on this potential. Wherewealoso compared the results with those obtained in the case of Debye potentialWe consider that the plasma is weakly correlated (the $\Gamma \leq 1$coupling) for different values of the quantification coefficient.