

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

رقم الترتيب:

رقم التسلسلي:

مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

التخصص: فيزياء الاشعاعات

من إعداد الطالبتين: بن خناثة سمية - بن عطاء الله حورية

بعنوان:

حساب دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي وللسرعة من أجل بلازما ذات درجتي حرارة

نوقشت يوم 16\06\2022

أمام اللجنة المناقشة المكونة من السادة الكرام:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر (ب)	بوعلاقي يمينة
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر (ب)	بله زكية
مؤطرا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر (ب)	عبابسة حكيمه
مساعد مؤطر	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عالي	ثورية شهرة

الموسم الجامعي 2022/2021

إِهْدَاءٌ

بسم الله الرحمن الرحيم

{ وَقَالُوا اٰمُدُ لِلّٰهِ الَّذِي هَدَانَا هٰذَا وَمَا كُنَّا لِنَهْتَدِيَ لَوْلَا اَنْ هَدَانَا اللّٰهُ }

سورة الأعراف الاية 43

الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات، اذا كان الاهداء يعبر لو بجزء من الوفاء
أهدي ثمرة جهدي الى من تتسابق الكلمات معبرة عن مكنون ذاتها
من كانت دعوتها سر نجاحي الى من عندما تكسوني الهموم أسبح في بحر حنانها
الى من علمتني الصمود ودعمتني في كل أوقاتي
الى أمي ثم أمي ثم أمي رعاها الله

الى من ضحى لنعيش وكافح لتتعلم الى نبع العطاء الي بلسم الشفاء ستبقى
كلماتك نجوم أهتدي بها اليوم وفي الغد والى الأبد الى الغالي أبي أدامه الله ...
الى من تحمل أعينهم ذكريات طفولتي الى سندي في الحياة أخوتي حفظهم الله....
الى من تحلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء الى من يطوفون في سمائي ويمنحوني النور الى من
لا يقوى قلبي على فراقهم ولا تحلوا الحياة إلا بهم.
الى صديقاتي وأصدقائي حمانا الله في ظل يوم لا ظل الا ظله.....
الى أهلي وأقاربي.

إهداء

الحمد لله الذي وفقنا لهذا ولم نكن لنصل إليه لولا فضل الله علينا أما بعد

اهدي هذا العمل

إلي التي جعل الله الجنة تحت قدميها وإلي من رعنتني بعطفها وغمرتني
بحبها إلى من تأملت لألمي وفرحت لفرحي إلي من يعجز اللسان عن وصف فضائلها إلي الغالية
التي

تحن العين وتبكي لرؤيتها إلي أعز وأغلى شيء أملكه في الوجود

أمي (أم الخير)

حفظها الله وأطال في عمرها وأمدّها بالصحة والعافية

إلي من مهد لي الطريق من أجل الوصول، إلي هذا المستوى إلي من سهر علي راحتي صغيرا
وحرص علي مستقبلي كبيرا إلي الذي لم يبخل علي بشيء طيلة حياتي إلي من ترقب نجاحي

أبي (مبارك)

إلي أجمل هدية وهبها الله لي إخوتي وأخواتي الأعزاء كالواحد
إلي كل الأصدقاء والأحباب الذين جمعنا بهم الحياة الجامعية خاصة طلبة تخصص

فيزياء إشعاعية دفعة 2022

إلى هؤلاء جميعا اهدي ثمرة مجهودي هذا

وفي الأخير أرجو من الله تعالى إن يجعل عملي هذا نفعاً يستفيد منه جميع

الطلبة المقبلين على التخرج

الشكر والامتنان

بسم الله الرحمن الرحيم

ا مدالله الذي أنار لنا درب العلم والمعرفة وأعاننا ووفقنا الى إنجاز هذا العمل، نتوجه بالشكر والامتنان الى كل من ساعدنا من قريب وبعيد.

أتقدم بالشكر الجزيل الى مشرفة المذكرة الأستاذة د. عباسة حكيمة" أستاذ محاضر "ب" على صبرها"، وتوجيهاتها العلمية، التي ساهمت في شكل كبير في اتمام هذا العمل. كما أتوجه بالتقدير والشكر للأستاذة د. ثورية شهرة أستاذ التعليم العالي بجامعة قاصدي مرباح ورقلة.

كما أتقدم بفائق الشكر الى أعضاء اللجنة المناقشة: د. بلة زكية أستاذ محاضر "ب" ود. بوعلامي يمينة على تقبلهما مناقشة المذكرة.

الفهرس

الصفحة	العنوان
I	الإهداء.....
III	الشكر والعرفان.....
IV	الفهرس.....
VII	قائمة الجداول.....
VIII	قائمة الأشكال.....
1	مقدمة عامة.....

الفصل الأول: عموميات حول البلازما

04	مقدمة.....	1-I
04	لمحة تاريخية عن البلازما.....	2-I
04	تعريف البلازما.....	3-I
05	أشكال البلازما.....	4-I
05	البلازما الطبيعية.....	1-4-I
06	البلازما الصناعية.....	2-4-I
06	أنواع البلازما.....	5-I
06	البلازما الحرارية.....	1-5-I
06	البلازما الباردة.....	2-5-I
07	خصائص البلازما.....	6-I
07	التوصيل الكهربائي في البلازما.....	1-6-I
07	تذبذب البلازما وحركة الموجة.....	2-6-I

07	.....التعادل الكهربائي	3-6-I
08	.....حصر البلازما	4-6-I
08	.....المقادير المهمة في البلازما	7-I
08	.....نصف القطر ديباي	1-7-I
09	.....نصف القطر الكرة الالكترونية والايونية	2-7-I
09	.....تردد البلازما	3-7-I
10	.....معامل التزاوج Γ	4-7-I
11	.....طول لاندو	5-7-I
11	.....طول موجة ديروغلي الحرارية	6-7-I
12	.....درجة الحرارة	7-7-I
12	.....درجة التكميم	8-7-I
12	.....معالجة البلازما	8-I

الفصل الثاني: نماذج دوال الترابط من أجل درجتي حرارة

14	.....مقدمة	1- II
14	.....نماذج دوال الترابط من أجل درجتي حرارة	2- II
15	.....نموذج SQRT	1-2-II
15	.....نموذج MASS	2-2-II
15	.....نموذج SVT	3-2-II
17	.....النتائج والمناقشة	4-2-II

الفصل الثالث: دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي للسرعة

24	.....دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي والسرعة	1- III
28	.....تحديد المعاملات	2- III
28	.....تحديد التردد w_0	1-2-III

30	.....	تحديد التردد w_1	2-2-III
32	.....	تحديد المعامل λ	3-2-III
32	.....	حساب معامل الانتشار D	4-2-III
35	.....	نتائج ومناقشة	3-III
42	.....	خلاصة العامة	
44	.....	المراجع	

قائمة الأشكال

الفصل الأول: عموميات حول البلازما

05 الشكل (I-1) نموذج مرئي مبسط للمقارنة بين الحالات الأربعة للمادة.

الفصل الثاني: نماذج دوال الترابط من أجل درجتي حرارة

20 الشكل (II-1) دوال الترابط (أيون-أيون) $g_{ii}(r)$ لنماذج الثلاثة MASS ، SQRT و SVT للبلازما عند معامل الترابط $\Gamma_e = 0.3$ و $\Gamma_i = 0.8$ ولقيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$.

21 الشكل (II-2) دوال الترابط (أيون-أيون) $g_{ie}(r)$ لنماذج الثلاثة MASS ، SQRT و SVT للبلازما عند معامل الترابط $\Gamma_e = 0.3$ و $\Gamma_i = 0.8$ ولقيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$.

22 الشكل (II-3) دوال الترابط (أيون-أيون) $g_{ee}(r)$ لنماذج الثلاثة MASS ، SQRT و SVT للبلازما عند معامل الترابط $\Gamma_e = 0.3$ و $\Gamma_i = 0.8$ ولقيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$.

الفصل الثالث: حساب دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي للسرعة

37 الشكل (III-1) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ من أجل $\Gamma_e = 0.3$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_i لكل من svt و sqrt.

38 الشكل (III-2) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ عند $\Gamma_e = 0.3$ و $\Gamma_i = 0.8$ لكل من svt و sqrt.

39 الشكل (III-3) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ من أجل $\Gamma_e = 0.3$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_i لكل من svt و sqrt.

39 الشكل (III-4) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ عند $\Gamma_e = 0.3$ و $\Gamma_i = 0.8$ لكل من svt و sqrt.

40 الشكل (III-5) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ عند $\Gamma_i = 0.8$ ومن أجل لقيم مختلفة لمعامل Γ_e لكل من svt و sqrt.

41 الشكل (III-6) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ من أجل $\Gamma_i = 0.8$ ولقيم مختلفة لمعامل Γ_e لكل من svt و sqrt.

فهرس الجداول

الفصل الثاني: نماذج دوال الترابط من أجل درجتي حرارة

- الجدول (II – 1) معاملات المعادلة (II – 7) من أجل دالة التوزيع الترابط في حالة ترابط ضعيف لكل من النماذج SVT ، MASS ، SQRT
- الجدول (II – 2) ثوابت بدون وحدة لدالة التوزيع الترابط في حالة ترابط ضعيف لكل من النماذج SVT ، SQRT ، MASS

الفصل الثالث: حساب دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي للسرعة

- الجدول (III – 1) معامل الإنتشار D_{sqt} و D_{svt} والترددات w_{sqt} و w_{svt} لقيم مختلفة لمعامل Γ_i .
- الجدول (III – 2) معامل الإنتشار D_{sqt} و D_{svt} والترددات w_{sqt} و w_{svt} لقيم مختلفة لمعامل Γ_e .

مقدمة لعامة

تعد البلازما من المواضيع الحديثة التي أدرجت إلى الفيزياء، في مطلع القرن العشرين، كنتيجة مباشرة لدراسة إنفراغ الغازات، فمنذ عام (1920) حقق مجال فيزياء البلازما تقدما كبيرا بسبب أهميته، وتطبيقاته الصناعية، حيث اشتمل على كل معارف الفيزياء الحديثة. تشكل البلازما في الطبيعة الحالة الرابعة للمادة، وتنتج حسب تسلسل تزايد درجة الحرارة من الحالة الصلبة، ثم السائلة والغازية ويرفع درجة الحرارة أعلى تتأين الذرات ويسمى بلازما [1]، لذلك توصف البلازما كغاز متأين يحوي عدد كبير وكافيا من الجسيمات المشحونة تحجب نفسها إلكتروناتيكيا عند مسافة صغيرة [2].

تقسم البلازما حسب درجة الحرارة الى:

✓ **البلازما الباردة:** اين تبقى الأيونات والجسيمات المتعادلة في درجة الحرارة أقل من $10^3 K$ ، والالكترونات في درجة حرارة أكبر من ذلك، تدخل في تطبيقات معالجة السطوح، وفي تطوير المواد الجديدة، وفي توليد الأوزون، وغيرها.

✓ **البلازما ا وارية:** التي تتميز بدرجة حرارة بأكثر من $3 \times 10^3 K$ ، تستخدم في تفريغ القوس في اللحام، والقطع، إزالة التلوث، وغيرها.

✓ **البلازما الساخنة:** توافق درجات حرارة أكبر من $10^6 K$ ، هدفها انتاج الطاقة الكهربائية من الاندماج المتحكم فيه.

نقدم في هذه المذكرة نمودجا لحساب دوال الترابط الذاتي للسرعة والحقل الكهربائي من أجل بلازما ذات درجتي حرارة، باستخدام تقنية مؤثر الاسقاط لحساب معامل الانتشار في البلازما، ومعادلة غرين-كيبو التي تربط معامل الانتشار بدالة الترابط الذاتي للسرعة وللحقل الكهربائي للبلازما، تعتمد كل هذه الحسابات على دالة الترابط الثنائية لدرجتي حرارة المقترحة حسب ثلاث نماذج (نمودج SQRT، نمودج SVT و نمودج MASS)، لأجل ذلك قسم العمل الى ثلاث فصول:

الفصل الأول: سيحتوي هذا الفصل عموميات البلازما وتاريخيها، تعريفها، أشكالها، ومقاديرها، وخصائصها وتطرقنا كذلك الى القوانين الاحصائية لبلازما.

الفصل الثاني: سنقوم بالبحث على النماذج النظرية لحساب دوال الزوجية من أجل بلازما ذات درجتي حرارة وذلك لتفاعلات الثلاثة $(i-i)$ ، $(e-i)$ و $(e-e)$ في بلازما ضعيفة الترابط لنماذج ثلاثة هي: نمودج SQRT، نمودج SVT، نمودج MASS.

الفصل الثالث: سنتطرق في هذا الفصل لحساب دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي المجهرى وللسرعة من أجل بلازما ذات درجتي حرارة وذلك بحساب معامل الانتشار D . وتحديد المعاملات (ω_0, ω_1) ، معامل البنية الديناميكية، معامل λ ، كل هذه المعادلات تعتمد على حساب الدوال الثنائية حيث نستخدم النماذج الثلاثة المذكورة سابقا. وفي الأخير خلاصة عامة تشمل النتائج المتحصل عليها وبعض الآفاق المستقبلية التي قد تكون منطلقات لأعمال أخرى.



الفصل الأول

عموميات حول البلازما

1-1 مقدمة:

إن معظم المواد التي تشكل الكون المرئي في حالة بلازما، وتشارك كل أنواع البلازما بأنها تخضع وتفسر بنفس الآليات وتديرها نفس القوانين الفيزيائية. تعرف البلازما بالحالة الرابعة للمادة كونها تختلف عن الحالة الصلبة، السائلة والغازية، فهي عبارة عن حالة مخففة للمادة تشبه الغاز إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة وإلكترونات وأيونات موجبة متناسب معين يجعل الوسط اجمالاً متعادلاً كهربائياً [3].

1-2 لمحة تاريخية:

من أطلق مصطلح الحالة الرابعة للمادة هو الفيزيائي الإنكليزي عام 1879 م Sir William Crookes لوصف القسم المتأين من الإنفراغات الغازية [4]، وأدخل مصطلح البلازما عام 1928 من قبل الفيزيائي الأمريكي Irving Langmuir، لكي يعبر عن المناطق المتساوية الكمون داخل أنابيب تفريغ غاز مؤينا متعادلاً كهربائياً. يعد استخدام هذا المصطلح، بصفة خاصة في الفيزياء الفلك، للتعبير عن حالة المخففة للمادة تشبه الغاز إلا أنها مؤلفة من جسيمات مشحونة (الكترونات وأيونات موجبة) متناسب معين يجعل الوسط اجمالاً متعادلاً كهربائياً [5].

1-3 تعريف البلازما:

البلازما عبارة عن وسط غازي شديد التأين، يتألف من عدد متساوي تقريباً من الشحنات الموجبة والشحنات السالبة التي هي أيونات حرة وإلكترونات حرة، تسبب القوة الكهربائية بين الشحنات المشكلة للبلازما سلوكاً يختلف عن سلوك الغاز العادي المتعادل كهربائياً على مستوى جزئياته. يتأين الغاز العادي عندما يسخن إلى درجة حرارة عالية وكلما ازداد التأين سيطرت القوى الكهرومغناطيسية ما بين الأيونات والإلكترونات على السلوك الغاز المتأين ليصبح حالة جديدة التي سميت بالبلازما [6].

يمكن القول أن البلازما غاز متأين يحوي عدد كبيراً وكافياً من الجسيمات المشحونة تحجب نفسها الكتروستاتيكا [5].



الشكل (1.1): نموذج مرئي مبسط للمقارنة بين الحالات الأربعة للمادة [7].

1-4 أشكال البلازما:

عموماً، ان 99,99% من حجم المادة المرئية في الكون توجد في حالة البلازما، ولعلها تشكل أغلب العالم غير المرئي [7] ولها نوعان هما:

1-4-I البلازما الطبيعية:

ينقسم هذا النوع من البلازما الى نوعان هما:

• بلازما طبيعية كونية:

تمثل البلازما الطبيعية الكونية الكبيرة في هذا الكون كالبلازما الموجودة على السطح الشمس (الغيم المضئمة المحيطة بسطحها المشع) درجة حرارتها 5700 كلفن بلازما مركز الشمس درجة حرارتها تقدر بـ 17 مليون كلفن، أيضا البلازما على سطح النجوم درجة حرارتها 10^4 كلفن، بلازما في الجو والنجوم حرارتها تقدر بـ 10^7 كلفن وبلازما الرياح الشمسية... الخ [8].

• بلازما طبيعية أرضية: تحدث على مستوي الأرض تمثل نسبة أقل من سابقتها من أمثلها البلازما الموجودة في غلاف جو الأرض والمعروفة باسم الكرة المتأينة، البرق الصواعق [3].

I-4-2 البلازما الصناعية:

بما أن البلازما نادرة جداً في محيطنا القريبة، لجأ الأنسان لتوليدها صناعياً، فالغاز في مصابيح التألّق (مصابيح الفلوريسنت) بلازما، القوس الكهربائي المستخدم في عمليات اللحام، الاندماج النووي جميعها أمثلة عن البلازما [5].

I-5 أنوع البلازما:

يمكن تميز ثلاثة أنواع منها:

I-5-1 البلازما الحرارية:

يتم تسخين الغاز حتى درجة حرارة عالية 10^3 بما فيه الكفاية للتأين الجزئي أو الكامل بحيث تكون الإلكترونات والجسيمات الثقيلة في حالة توازن حراري مع بعضها البعض [9]. وعليه تصبح: $T_e = T_i = T_n$

حيث:

T_e : درجة حرارة الإلكترونات.

T_i : درجة حرارة الأيونات.

T_n : درجة حرارة الجسيمات المتعادلة.

I-5-2 البلازما الباردة:

تشير البلازما الباردة للغازات ضعيفة التأين [10]، حيث تبقى درجة حرارة الأيونات والجسيمات المعتدلة بدرجة حرارة (100 كلفن) حيث تكون الإلكترونات ذات درجات حرارة مرتفعة.

I - 6 خصائص البلازما:**I-6-1 التوصيل الكهربائي في البلازما:**

بما أن البلازما غاز مؤين، يضم عددا هائلا من الجسيمات المشحونة المتحركة بحرية داخلها، فإنها تعد موصلاً جيداً للكهرباء، تتبادل هذه الجسيمات التأثير مع الحقل الكهرومغناطيسي الموضعي، كما أن الحركة المنظمة لها تحدث تيارات كهربائية وتغيرات لكثافة الشحن تؤدي إلى نشوء حقول كهرومغناطيسية [5].

I-6-2 تذبذب البلازما وحركة الموجة:

من صفاتها المهمة أيضاً، قابليتها لحمل الذبذبات وبتح الموجات، حيث يمكن أن يتحدث أنواع مختلفة من السلوك التذبذبي، إلا أن هذه الذبذبات قد تكون معقدة جداً بسبب الميزة غير الخطية للمعادلات الهيدروديناميكية لها ولقد نوقشت الذبذبات الكهروستاتيكية في البلازما لأول مرة من قبل العالمان "Jonks" و "Langmuir".

في الحقيقة هناك احتمالات من الذبذبات الكهروستاتيكية، ذبذبات التردد العالي التي تكون سريعة جداً، إذا يصعب على الأيونات الثقيلة أن تتبعها أو ذبذبات الأيونات التي تكون بطيئة جداً، بحيث أن الإلكترونات تتوزع دائماً حول الأيونات بنمط إحصائي [11].

I - 6-3 التعادل الكهربائي:

إحدى الصفات المهمة في البلازما هي نزعها لتبقي متعادلة كهربائياً، أي ميلها إلى توازن الشحنة الفراغية السالبة مع الشحنة الفراغية الموجبة في كل جزء من الحجم العينة، وأن أي اختلاف بسيط في كثافة الشحنة الفراغية بسبب نشوء قوي كهروستاتيكية قوية تؤثر في اتجاه إعادة التعادل، من جهة أخرى إذا تعرضت البلازما إلى حقل كهربائي خارجي فإن كثافة الشحنات الفراغية ستنظم نفسها بحيث يحجب الجزء الأعظم من البلازما من تأثيرات هذا الحقل [3].

I-6-4 حصر البلازما:

هي إحدى أهم الخصائص البلازما، لقد اهتم العلماء كثيرا بتقنية حصر البلازما هذا بسبب الحاجة الكثيرة لها إذ تعتبر هذه الأخيرة مفتاح التفاعلات النووية داخل مفاعلات الاندماج، يوجد عدة تقنيات لهذه الخاصية كالحصر العطالي والحصر بمجال مغناطيسي.

فمثلا مبدأ الحصر البلازما داخل مجال مغناطيسي بحيث لا تلمس جسيمات البلازما أي الإلكترونات والأيونات جدار مادي، لأن درجة حرارتها تسبب انصهار مادة المفاعل النووي ولقد طورت عدة أجهزة تعتمد على المبدأ مثل: Alcator Scylla [12-13]

I-7-1 المقادير المهمة في الفيزياء البلازما:**I-7-1-1 نصف القطر ديبياي**

قبل التطرق الى نصف قطر ديبياي لابد من الإشارة إلى ظاهرة مهمة تحدث وهي ظاهرة الحجب، المقصودة بما حجب شحنة في البلازما بواسطة سحابة من الشحنات المعاكسة ومن هذه الظاهرة نستنتج بعد ديبياي الذي يعبر أهم خاصية في البلازما، حيث نصف قطر ديبياي يشير إلى أقصر مسافة تتحرك فيها الإلكترونات عشوائيا في البلازما ويعطي بالعلاقة التالية [3]:

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{k_B T}{4\pi n_e^2}} \quad (1 - I)$$

حيث

T: درجة الحرارة بالكلفن.

n_e : تمثل الكثافة الالكترونية.

K_B : يمثل ثابت بولتزمان.

I-7-2 نصف قطر الكرة الإلكترونية والأيونية:

*نصف قطر الكرة الإلكترونية:

يميز نصف القطر الكرة الإلكترونية البعد المتوسط بين الإلكترونين ويعطى بالعلاقة التالية [14].

$$r_e = \left(\frac{3}{4\pi n_e} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2 - I)$$

*نصف قطر الكرة الأيونية:

يميز نصف قطر الكرة الأيونية البعد المتوسط بين أيونين ويعطى بالعلاقة التالية [14]

$$r_i = \left(\frac{3}{4\pi n_i} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3 - I)$$

n_i : الكثافة الأيونية.

I-7-3 تردد البلازما:

عند حدوث اضطراب داخلي أو خارجي في البلازما فإنه يؤدي إلى إزاحة جسيماتها (الكترونات، أيونات) عن وضع التوازن ذلك بسبب تراكم الشحنات الكهربائية، لكنها سرعان ما تعود لحالتها الطبيعية، هذا التصرف الذي تتميز به البلازما إلى حركة جسيماتها حركة اهتزازية غير متخامدة، تتميز بنبض الحركة الإلكترونية ω_{pe} ونبض الحركة الأيونية ω_{pi} حيث تكتب بالعلاقة التالية [15]

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

$$\omega_{pi} = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n_i}{m_i}} \quad (5 - I)$$

حيث:

m_e : كتلة الإلكترون.

m_i : كتلة الأيون.

e : شحنة الإلكترون.

كما يميز الحركة بالتواتر الإلكتروني - الأيوني:

$$f_{ei} = \frac{w_{pe}}{2\pi} \quad (6 - I)$$

I-7-4 معامل التزاوج Γ :

لمعرفة التزاوج بين جسيمات البلازما في الجملة، فإننا ننظر إلى معامل التزاوج وهو يمثل النسبة بين الطاقة الكامنة والمتوسطة والطاقة الحركية المتوسطة للجسيمات [5].

$$\Gamma = \frac{\langle E_p \rangle}{\langle E_c \rangle} \quad (7 - I)$$

حيث E_p تمثل الطاقة الكامنة المتوسطة لتفاعل جسم المجاور له.

E_c تمثل الطاقة الحركية المتوسطة له.

و Γ_{ii} معامل التزاوج للأيونات:

$$\Gamma_{ii} = \frac{(Ze)^2}{K_B T r_{ii}} \quad (8 - I)$$

وللإلكترونات:

$$\Gamma_{ee} = \frac{(ze)^2}{kT r_{ee}} \quad (9 - I)$$

أما بالنسبة للإلكترونات وللايونات:

$$\Gamma_{ie} = \frac{(z_c)^2}{kT r_{ie}} \quad (10 - I)$$

حيث:

$$r_{ei} = \frac{r_e + r_i}{2} \quad (11 - I)$$

*عندما يكون $\Gamma > 1$ فإن ذلك يدل على أن التزوج شديد.

*عندما يكون $\Gamma < 1$ فإن الطاقة الحركية لدور الأكثر في وصف سلوك الجسيمات ضعيف ويقال عن البلازما حينها أنها مثالية.

I-7-5 طول لاندو:

وهو يمثل المقدار الذي تتساوي فيه الطاقة الكامنة الكولومية للتفاعل الثنائي مع الطاقة الحركية الحرارية المتوسطة ويدعي الطول الحرج التفاعل الثنائي ويستخدم في تحليل الظواهر التصادمات وارتباطاتها الموضع في البلازما [5-15].

$$k_B T = \frac{e^2}{r_0} \Rightarrow r_0 = \frac{e^2}{k_B T} \quad (12 - I)$$

I-7-6 طول الموجي ديبروغلي الحرارية:

يعطي طول موجة ديبروغلي الحرارية الإلكترونية تقيما الموجة الكمية لجسيمات البلازما ويعطي بالعلاقة التالية [16].

$$\lambda_T = \frac{h}{\sqrt{2\pi m_e k_B T}} \quad (13 - I)$$

حيث:

h: ثابت بلانك

I-7-7 درجة الحرارة:

يمكن البلازما معينة أن تملك عدة درجات في نفس الوقت وغالبا ما تملك الإلكترونات والأيونات توزيعين مختلفين لدرجة الحرارة وهذا ممكن لأن تواتر الصدمات بين الإلكترونات والأيونات، عندئذ كل نوع من الجزئيات يمكن أن يكون في حالة توازن حراري مستقبل عن النوع الآخر أما عندما يكون لدينا مجال مغناطيسي فإنه حتى النوع الآخر من توجد درجتى حرارة مختلفين الجزئيات [4]

I-7-8 درجة التكميم:

هو عبارة عن النسبة بين طول الموجي ديبروغلي الحرارية على المسافة المتوسطة الإلكترونات وتعطي بالعلاقة التالية [13]:

$$\eta = \frac{\lambda_T}{r_e} = \frac{h}{r_e \sqrt{2\pi m_e k_B T}} \quad (14 - I)$$

إذا كان $\eta < 1$ يعني أن درجة الحرارة مرتفعة وتعالج الوسط كلاسيكيا.

إذا كان $\eta > 1$ يعني أن درجة الحرارة منخفضة وتعالج الوسط كمومياً.

I-8 معالجة البلازما:

مع أن التحليل النظري للبلازما بسيط نسبياً، حيث القوى بين الجسيمات معروفة بدقة والوصف بالميكانيك التقليدي ممكن عموماً إلا أن دراستها لم تتطور إلا مؤخراً. يستحيل معالجة البلازما بشكل كافي معالجة عينية بحتة، بل ينبغي من الضروري استخدام النظرية الحركية كتحديد مواضع الجسيمات وسرعاتها ووصف المجال الكهرومغناطيسي بها، إنَّ التعقيد في حالة البلازما بشتى أشكالها، بسبب ارتفاع درجة الحرارة والكثافة، قاد إلى عدد كبير من طرائق التحليل النظري المختلفة تماماً. ومع ذلك توجد ثلاث صياغات تقريبية توفر لنا النظرة العامة لما يحدث داخل البلازما [17-18].



الفصل الثاني

نماذج دوال الترابط الشائية من

أجل درجتي حرارة

II - 1 - مقدمة:

نقدم في هذا الفصل حساب دوال الترابط الزوجية لكن في حالة عدم التوازن الحراري البلازما مكونة من إلكترونات وأيونات، ونرفق لكل نوع منها درجة الحرارة على الترتيب T_e و T_i حيث $(T_e \neq T_i)$ ، أي أن البلازما ذات درجتي حرارة. نعلم في حساباتنا على ثلاثة نماذج مهمة لحساب دوال الترابط الثنائية المعروفة من أجل حالة البلازما غير المتوازنة وهي: نموذج MASS، نموذج SQRT ونموذج SVT. تعطى كتلة الإلكترون والأيون على الترتيب m_e و m_i ، وكتافتهما متساوية $n_e = n_i = \frac{n'}{2}$ حيث n' عدد الجسيمات الكلية وشحنتهما تساوي $z_i = z_e = 1$ وسنعمد في إيجاد الدالة الترابط الزوجية على تفاعل كولوم من أجل إلكترون-أيون (e-i)، إلكترون-إلكترون (e-e)، أيون-أيون (i-i) في البلازما الضعيفة الترابط $\Gamma_e, \Gamma_i \leq 1$.

II-2 نماذج دوال الترابط الزوجية من أجل درجتي حرارة:

في التوازن الحراري، تعطى علاقات Ornstein-Zenike (OZ) [19][20]:

$$\hat{h}_{ab}(k) = \hat{c}_{ab}(k) + \sum_{s=i,e} n_s \hat{h}_{as}(k) \hat{c}_{sb}(k) \quad (1 - II)$$

حيث \hat{h}_{ab} و \hat{c}_{ab} هي تحويل فوري لدوال الارتباط الكلي والمباشر على الترتيب لمركبات الوسط b.a

و k يمثل الطول الموجي، وتعطي علاقة HNC لدالة الترابط الزوجية [21]:

$$g_{ab}(r) = \exp \left[-\frac{U_{ab}(r)}{K_B T} + h_{ab}(r) - C_{ab}(r) \right] \quad (2 - II)$$

حيث $U_{ab}(r)$ تمثل طاقة التفاعل بين المركبتين a و b .

توسيع هذه النظرية والعلاقات لدوال الترابط من حالة التوازن الحراري (أي درجتي حرارة) يتم معالجة نقطتين [19]:

1- كيفية تحديد ووصف درجة الحرارة المتقاطعة T_{ab} (cross - temperatures) التي تحدد سلم

الطاقة الحركية للترابطات بين مركبات الوسط (تعويض درجات الحرارة المتعددة للبلازما بدرجة الحرارة واحدة فعالة).

2- كيف يتم تعديل علاقات OZ.

أغلب الاعمال لتوسيع نظام المعادلات OZ و HNC يتم بثلاث نماذج:

II-2-1- نموذج SQRT: باستخدام المعادلة (14) من المرجع [22] معادلات OZ تأخذ نفس صيغة

في حالة التوازن الحراري والممثلة بالمعادلة (II - 1) وعلاقات HNC تصبح:

$$g_{ab}(r) = \exp \left[-\frac{U_{ab}(r)}{k_B T_{ab}} + h_{ab}(r) - c_{ab}(r) \right] \quad (3 - II)$$

حيث درجة حرارة التقاطع (فعالة) تعطى بهذا الشكل:

$$T_{ab}^{\text{sqrt}} = \sqrt{T_a T_b} \quad (4 - II)$$

يتميز نموذج SQRT باستقلاله على كتلة المركبات.

II-2-2- نموذج MASS: تأخذ المعادلات HNC و OZ نفس صيغة نموذج وفي هذا النموذج SQRT

والاختلاف بين النموذجين هو صيغة درجة حرارة التقاطع التي تأخذ الشكل [23]:

$$T_{ab}^{\text{MASS}} = \frac{m_b T_a + m_a T_b}{m_a + m_b} \quad (5 - II)$$

II-2-3- نموذج SVT: في هذا النموذج درجة حرارة التقاطع تأخذ نفس صيغة نموذج MASS المعطاة بالعلاقة

(5-II) لكن معادلات OZ لتصبح تصحح [23][24]:

$$\hat{h}_{ab} = \hat{c}_{ab} + \sum_{s=i,e} n_s \left(\frac{m_a T_{as}}{m_a T_{ab}} \hat{c}_{as} \hat{h}_{sb} + \frac{m_b T_{sb}}{m_b T_{ab}} \right) \hat{h}_{as} \hat{c}_{ab} \quad (6 - II)$$

يطلق على هذه العلاقة بمعادلات SVT- OZ لدينا هنا الكتلة المختزلة $m_{ab} = \frac{m_a m_b}{m_a + m_b}$.

في هذا الفصل نستخدم نموذج بلازما مكونة من أيونات i والإلكترونات e ذات الشحنة موجبة وكتلتها m_i و m_e على الترتيب. هذا النموذج يستخدم في كل من النمذجة والمحاكات لتحليل على انهيار (اعادة الالتحام) البلازما أيون-إلكترون الكلاسيكية، التي يتم معالجتها عادة باستخدام جهود شائعة.

لكن بدل من ذلك نستخدم إلكترونات موجبة الشحنة، يمكننا عزل الصلة الفيزيائية لدرجتي حرارة الوسط والتي يجب أن لا تعتمد على إشارة الشحنة [19]. نأخذ كثافة للإلكترونات والأيونات متساوية ($n_i = n_e = n = \frac{n'}{2}$) حيث n' عدد الجسيمات الكلية و $z_i = z_e = 1$ تكون في وسط واحد. البلازما في حالة عدم توازن حراري معرفة بدرجة حرارة الإلكترونات والأيونات على الترتيب T_e و T_i .

يعطي وسيط الترابط الجزئي:

$$\Gamma_s = \frac{e^2 / r_s}{k_B T_s} \quad (7 - II)$$

حيث تشير s إلى مركبة الوسط وهي إلكترون أو أيون، r_s المسافة المتوسطة بين الجسيمات من نوع s .

$$r_s = (3/4\pi n_s)^{1/3} \quad (8 - II)$$

في حدود الترابط الضعيف، تحويل فورية لدوال الارتباط المباشر تعطى بصورة تقريبية على الشكل التالي:

$$\hat{c}_{ab}(k) \approx -\frac{\hat{U}_a(k)}{k_B T_{ab}} \approx -\frac{4\pi e^2}{k_B T_{ab}} \frac{1}{k^2}, \quad ab = i, e \quad (9 - II)$$

ويمكن تعميم العلاقة تقريبية التي تصلح في كل النماذج السابقة SVT، MASS، SQRT في حالة ضعيف ترابط [19].

$$g_{ab}(r) \approx \exp\left\{-\frac{A_1}{4\pi\sqrt{n_a n_b}} \frac{e^{-k_1 r}}{r} + \frac{A_2}{4\pi\sqrt{n_a n_b}} \frac{e^{-k_2 r}}{r}\right\}, \quad ab = i, e \quad (10 - II)$$

حيث k_2, k_1, A_2, A_1 ثوابت مصفوفة في الجدول (1 - II) والمعطاة بدلالة مختلفة الأطوال التالية:

$$k_i^2 = 4\pi e^2 n_i / k_B T_i, \quad k_e^2 = 4\pi e^2 n_e / k_B T_e \quad (11 - II)$$

$$k_{ei}^2 = 4\pi e^2 \sqrt{n_a n_b} / k_B T_{ei} \quad (12 - II)$$

$$k_D^2 = k_i^2 + k_e^2 \quad (13 - II)$$

$$k_{\pm}^2 = \frac{k_D^2}{2} \pm \sqrt{\frac{k_D^4}{4} - k_i^2 k_e^2 + k_{ei}^4} \quad (14 - II)$$

$$C = \frac{m_e T_e + m_i T_i}{m_e T_i + m_i T_e} = \frac{T_e + a T_i}{T_i + a T_e}, m_i = a m_e \quad (15 - II)$$

الجدول (1 - II) معاملات المعادلة (10 - II) من أجل دالة التوزيع الترابط في حالة ترابط ضعيف لكل من النماذج .SQRT و MASS ،SVT

	SQRT			MASS			SVT		
	i-i	i-e	e-e	i-i	i-e	e-e	i-i	i-e	e-e
A₁	k_i^2	$k_i k_e$	k_e^2	$\frac{k_+^2(k_i^2 - k_-^2)}{k_+^2 - k_-^2}$	$\frac{k_{ei}^2 k_+^2}{k_+^2 - k_-^2}$	$\frac{k_+^2(k_e^2 - k_-^2)}{k_+^2 - k_-^2}$	$\frac{k_i^4}{k^2 - k_{ei}^2}$	$\frac{k_{ei}^2 k^2 - c k_i^2 k_e^2}{k^2 - k_{ei}^2}$	$\frac{k_e^4}{k^2 - k_{ei}^2}$
k₁	k_D	k_D	k_D	k_+	k_+	k_+	k_D	k_D	k_D
A₂	0	0	0	$\frac{K_+^2(K_i^2 - K_+^2)}{K_+^2 - K_-^2}$	$\frac{K_{ei}^2 K_-^2}{K_+^2 - K_-^2}$	$\frac{K_+^2(K_e^2 - K_+^2)}{K_+^2 - K_-^2}$	$\frac{k_i^2(k_{ei}^2 - k_e^2)}{k_i^2}$	$\frac{k_{ei}^4 - c k_i^2 k_e^2}{k^2 - k_{ei}^2}$	$\frac{k_e^2(k_{ei}^2 - k_i^2)}{k_i^2}$
k₂	...	...	...	k_-	k_-	k_-	k_{ei}	k_{ei}	k_{ei}

2-II النتائج المناقشة:

نحسب دالة الترابط الثنائية على الشائبة الأيونية شحنتها $Z_1 e$ موضوعة عند المبدأ المعرفة بالعلاقة (10-II)، وذلك بأخذ حالة البلازما غير المتوازنة ذات $T_i \neq T_e$ ، و كثافتهم متساوية ($n_i = n_e = n = \frac{n'}{2}$)، حيث n' عدد الجسيمات الكلية و شحنتهم تساوي الواحد $Z_i = Z_e = Z_1 = 1$. لثلاثة نماذج SQRT ،MASS ،SVT في حالة ضعيف ترابط.

ويعطي معامل الترابط الجزئي:

$$\Gamma_s = \frac{e^2 / r_s}{k_B T_s} \quad (16 - II)$$

$$r_s = r_0 = (3/4\pi n)^{1/3}, \quad r_s = i, e \quad (17 - II)$$

باستخدام متغيرات بدون وحدة لغرض توضيح المنحنيات نضع:

$$y = r/r_0, \quad \bar{A}_1 = \frac{A_1}{4\pi\sqrt{n_a n_b r_0}}, \quad \bar{A}_2 = \frac{A_2}{4\pi\sqrt{n_a n_b r_0}} \quad (18 - II)$$

$$\bar{K}_1 = K_1, \quad \bar{K}_2 = K_2 \quad (19 - II)$$

تصبح دالة الترابط الثنائية المعرفة بـ (10-II) كالتالي

$$g_{ab}(r) \approx \exp\left\{-\frac{\bar{A}_1}{y} e^{-\bar{k}_1 y} + \frac{\bar{A}_2}{y} e^{-\bar{k}_2 y}\right\}, \quad ab = i, e \quad (20 - II)$$

$$k_i^2 r_0^2 = 4\pi e^2 n_i r_0^2 / k_B T_i = 3\Gamma_i \quad (21 - II)$$

$$k_e^2 r_0^2 = 4\pi e^2 n_e r_0^2 / k_B T_e = 3\Gamma_e \quad (22 - II)$$

$$k_{ei}^2 r_0^2 = \frac{4\pi e^2 \sqrt{n_a n_b r_0^2}}{k_B T_{ei}} = 3\Gamma_{mass} \quad (23 - II)$$

$$k_D^2 r_0^2 = k_i^2 r_0^2 + k_e^2 r_0^2 = 3\Gamma_e + 3\Gamma_i = 3\Gamma \quad (24 - II)$$

$$k_{\pm}^2 r_0^2 = \left(\frac{k_D^2}{2} \pm \sqrt{\frac{k_D^4}{4} - k_i^2 k_e^2 + k_{ei}^4}\right) r_0^2 = 3\Gamma_{\pm} \quad (25 - II)$$

$$C = \frac{\Gamma_i + a\Gamma_e}{\Gamma_e + a\Gamma_i} \quad (26 - II)$$

$$\Gamma_{mass} = \frac{\Gamma_i \Gamma_e (a + 1)}{\Gamma_e + a\Gamma_i} \quad (27 - II)$$

يوضح الجدول (2-II) ثوابت المستخدمة بدون وحدة لدالة الترابط الثنائية لنماذج الثلاثة SVT، MASS، و SQRT.

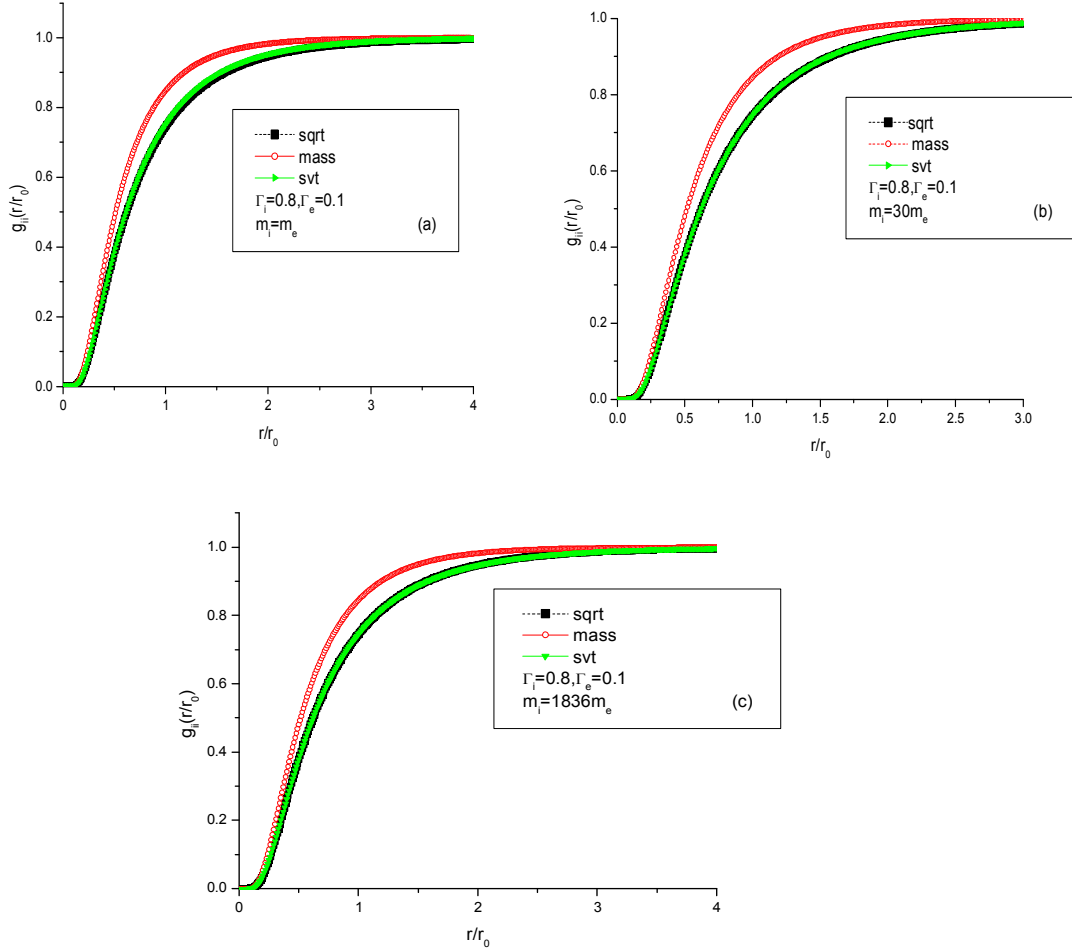
الجدول (II - 2) ثوابت بدون لدالة التوزيع الترابط في حالة ترابط ضعيف لكل من النماذج SVT، MASS و SQRT.

	SQRT			MASS			SVT		
	i-i	i-e	e-e	i-i	i-e	e-e	i-i	i-e	e-e
\bar{A}_1	Γ_i	$\sqrt{\Gamma_i \Gamma_e}$	Γ_e	$\frac{\Gamma_+ (\Gamma_i - \Gamma_-)}{\Gamma_+ - \Gamma_-}$	$\frac{\Gamma_{mass} \Gamma_+}{\Gamma_+ - \Gamma_-}$	$\frac{\Gamma_+ (\Gamma_e - \Gamma_-)}{\Gamma_+ - \Gamma_-}$	$\frac{\Gamma_i^2}{\Gamma - \Gamma_{mass}}$	$\frac{\Gamma_{mass} \Gamma - c \Gamma_i \Gamma_e}{\Gamma - \Gamma_{mass}}$	$\frac{\Gamma_e^2}{\Gamma - \Gamma_{mass}}$
\bar{k}_1	$\sqrt{3\Gamma}$	$\sqrt{3\Gamma}$	$\sqrt{3\Gamma}$	$\sqrt{3\Gamma_+}$	$\sqrt{3\Gamma_+}$	$\sqrt{3\Gamma_+}$	$\sqrt{3\Gamma}$	$\sqrt{3\Gamma}$	$\sqrt{3\Gamma}$
\bar{A}_2	0	0	0	$\frac{\Gamma_- (\Gamma_i - \Gamma_+)}{\Gamma_+ - \Gamma_-}$	$\frac{\Gamma_{mass} \Gamma_-}{\Gamma_+ - \Gamma_-}$	$\frac{\Gamma_- (\Gamma_e - \Gamma_+)}{\Gamma_+ - \Gamma_-}$	$\frac{\Gamma_i (\Gamma_{mass} - \Gamma_e)}{\Gamma - \Gamma_{mass}}$	$\frac{\Gamma_{mass} - c \Gamma_i \Gamma_e}{\Gamma - \Gamma_{mass}}$	$\frac{\Gamma_e (\Gamma_{mass} - \Gamma_i)}{\Gamma - \Gamma_{mass}}$
\bar{k}_2$	...	...	...	\sqrt{3\Gamma_-}$	$\sqrt{3\Gamma_-}$	$\sqrt{3\Gamma_-}$	$\sqrt{3\Gamma_{ei}}$	$\sqrt{3\Gamma_{ei}}$	$\sqrt{3\Gamma_{ei}}$

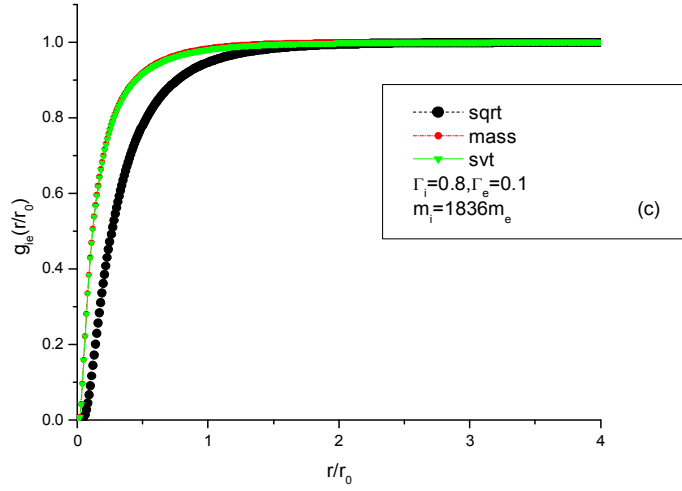
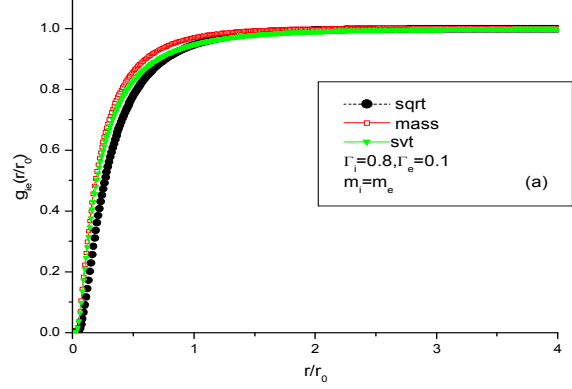
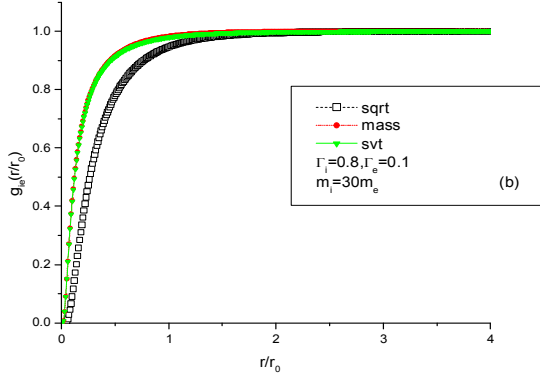
الشكل (II-1) يوضح دوال الترابط (أيون-أيون) $g_{ii}(r)$ الموضحة في الأشكال (a)، (b) و (c)، حيث نلاحظ أن نموذج MASS يختلف عن نموذجين SVT و SQRT من أجل قيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$ ومن أجل نفس قيم معاملات الترابط، و نلاحظ عند تغير النسبة $\frac{m_i}{m_e}$ لا تؤثر على دالة الترابط الثنائية $g_{ii}(r)$ وتظهر الأشكال (a)، (b) و (c) بنفس الشكل.

الشكل (II-2) يوضح دوال الترابط (أيون-إلكترون) $g_{ie}(r)$ الموضحة في الشكل (a)، (b) و (c)، حيث نلاحظ أن نموذج SQRT يختلف عن نموذجين SVT و MASS من أجل قيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$ ، ومن أجل نفس قيم معاملات الترابط. ونلاحظ أن منحنى SVT متقارب مع منحنى MASS ونلاحظ أن كلما زادت النسبة $\frac{m_i}{m_e}$ يزيد من تقارب منحنى SVT من MASS وتنزاح المنحنيات أكثر إلى قيم صغيرة، أما نموذج SQRT لا يتغير في كل الحالات لأنه لا يتعلق بالكتل.

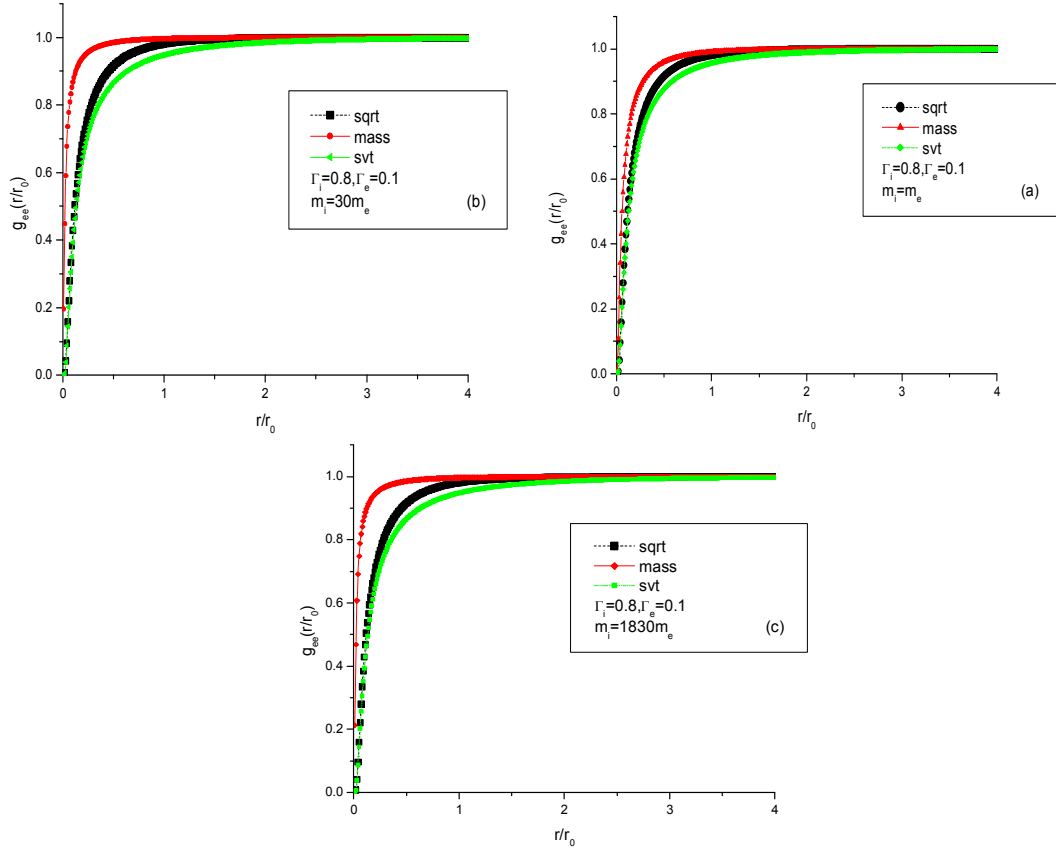
الشكل (II-3) يوضح دوال الترابط (إلكترون-إلكترون) $g_{ee}(r)$ الموضحة في الشكل (a)، (b) و (c)، حيث نموذج MASS يختلف عن نموذجين SVT و SQRT من أجل قيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$ ، ونلاحظ عند $\frac{m_i}{m_e}$ تساوي الواحد المنحنيات في النماذج الثلاثة متقاربة كلما زادت النسبة $\frac{m_i}{m_e}$ نلاحظ تباعد المنحنى SVT نحو القيم أكبر وتباعد منحنى MASS إلى قيم صغيرة أما SQRT يبقى كما هو كذلك لأنه لا يتعلق بالكتلة.



الشكل (1- II) دوال الترابط (أيون-أيون) $g_{ii}(r)$ لنماذج الثلاثة MASS ، SQRT و SVT للبلازما عند معامل الترابط $\Gamma_i = 0.8$ و $\Gamma_e = 0.1$ ولقيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$.



الشكل (II-2) دوال الترابط (أيون-أيون) $g_{ie}(r)$ لنماذج الثلاثة MASS ، SQRT و SVT للبلازما عند معامل الترابط $\Gamma_i = 0.8$ و $\Gamma_e = 0.1$ ولقيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$.



الشكل (II-3) دوال الترابط (أيون-أيون) $g_{ee}(r)$ لنماذج الثلاثة MASS ، SQRT و SVT للبارما عند معامل الترابط $\Gamma_e = 0.1$ و $\Gamma_i = 0.8$ ولقيم مختلفة لنسبة $\frac{m_i}{m_e}$.

الفصل الثالث

حساب دوال الترابط الذاتي للحقل
الكهربائي وللسرعة

إن دوال الترابط الذاتي في النظام متوازن حراري لها دورا مهما و كبير في لتقييم عند الاسترخاء في العديد من المسائل الفيزيائية [25-29] يستند حساب دالة الترابط الذاتي بشكل مباشر على دالة الذاكرة $M(t)$ والذي يلعب دورا هاما في تطوير نموذجيا.

نقوم في هذا الفصل بحساب دوال الترابط الذاتي لسرعة $D(t)$ وللحقل الكهربائي $C(t)$ من أجل بلازما ذات درجتي حرارة. نعلم في حساباتنا على ثلاثة نماذج وهي: نموذج MASS، نموذج SQRT ونموذج SVT.

III - 1 دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي والسرعة:

نعتبر النظام مكون من أيون الشائبة موضوع $\vec{r}(0)$ كتلته m_0 وشحنته q_0 في حالة توازن مع المتأينة كليا. ويعطي الحقل الكهربائي لأيون الشائبة بسبب أيونات البلازما المتبقية [29-31]

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{N_a} \vec{e}_\alpha (\vec{r}_i - \vec{r}(0)) + \vec{E}_b \quad (1 - III)$$

حيث $\vec{e}_\alpha (\vec{r}_i - \vec{r}_0)$ هو الحقل الناتج عن أيون i على مسافة $|\vec{r}_i - \vec{r}_0|$ من أيون الشائبة و \vec{E}_b حقل معياري

N_0 عدد الأيونات من نوع α وبالتالي دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي.

و تعطى دالة الترابط الذاتي (the electric field auto-correlation function) ودالة الترابط الذاتي للسرعة (the velocity auto-correlation function) بالمعادلات على التوالي [32-34]:

$$C(t) = \frac{\langle \vec{E}(t) \cdot \vec{E}(0) \rangle}{\langle \vec{E}(0) \cdot \vec{E}(0) \rangle} \quad (2 - III)$$

$$D(t) = \frac{\langle \vec{v}(t) \cdot \vec{v}(0) \rangle}{\langle \vec{v}(0) \cdot \vec{v}(0) \rangle} \quad (3 - III)$$

حيث $\langle \dots \rangle$ القيمة المتوسطة المجموعة جيبس و $\vec{v}(0) = \vec{v}_0$ سرعة أيون الشائبة لدالتين السابقتين ترتبطان

بالقانون الأول لنيوتن:

$$\frac{d^2}{dt^2} D(t) = -w_0^2 c(t) \quad (4 - III)$$

حيث التردد w_0 يساوي

$$w_0 = (\beta q_0^2 (3m_0) \langle E^2 \rangle) \quad (5 - III)$$

وباستخدام تقنية مؤثر الاسقاط (Nakajima Zwanzig) دالة $D(t)$ تعطى بالشكل التالي [31]:

$$\frac{d^2}{dt^2} D(t) + w_0^2 D(t) \int_0^t d\tau M(t - \tau) \frac{d}{d\tau} D(\tau) = 0 \quad (6 - III)$$

مع الشروط الحدية:

$$C(t = 0) = 1 \quad , \quad D(t = 0) = 1 \quad (7 - III)$$

$$C'(t = 0) = 1 \quad , \quad D'(t = 0) = 1 \quad (8 - III)$$

المعادلة (6-III) تصف ديناميك التذبذبات في الوسط لزج (مائع) ، التردد المميز يساوي w_0 في وجود التخمين

وهو ما يعبر عنه من قبل دالة الذاكرة $M(t)$ اختارت أن تكون قادرة على وصف الاسترخاء على النحو التالي
:[27-26]

$$M(t) = M(0)e^{-\lambda t} \quad (9 - III)$$

$$M(0) = w_1^2 - w_0^2 \quad (10 - III)$$

جميع الترددات المستعملة تحسب في وحدة تردد البلازما w_p ، ويعطى العامل λ بالعلاقة التالية [31]:

$$\lambda = (w_1^2 / w_0^2 - 1) / \beta m_0 D \quad (11 - III)$$

حيث D هو معامل الانتشار الذاتي المعطى بعلاقة غرين كوبر (Green-kubo) بدلالة دالة الترابط الذاتي للسرعة [31] [35-36] التالية:

$$\beta m_0 D = \int_0^{\infty} dt D(t) \quad (12 - III)$$

تحويل لابلاس لمعادلة (III-6) هو:

$$\int_0^{\infty} e^{-zt} dt \frac{d^2}{dt^2} D(t) + w_0^2 \hat{D}(z) + \hat{M}(z) \int_0^{\infty} e^{-zt} dt \frac{d}{dt} D(t) = 0 \quad (13 - III)$$

حيث $\hat{D}(z)$ تحويل لابلاس $D(t)$:

$$D(t) = \int_0^{\infty} e^{-zt} D(t) dt \quad (14 - III)$$

تكامل المعادلة (III-13) ونطبق فيها الشروط $D(0) = 0$ نجد

$$z \int_0^{\infty} e^{-zt} dt \frac{d}{dt} D(t) + w_0^2 \hat{D}(z) + \hat{M}(z) \int_0^{\infty} e^{-zt} dt \frac{d}{dt} D(t) = 0 \quad (15 - III)$$

نكامل هذه المعادلة مرة اخرى جزئيا وتعطي:

$$z(Z\hat{D}(z) - 1) + w_0^2 \hat{D}(z) + \hat{M}(z)(Z\hat{D}(z) - 1) = 0$$

$$-z + z^2 \hat{D}(z) + w_0^2 \hat{D}(z) - \hat{M}(z) + Z\hat{M}(z)\hat{D}(z) = 0$$

$$\hat{D}(z)[z^2 + z\hat{M}(z) + w_0^2] = Z + \hat{M}(z)$$

$$\widehat{D}(z) = \frac{z + \widehat{M}(z)}{[z^2 + z\widehat{M}(z) + w_0^2]} \quad (16 - III)$$

وتحويل $\widehat{M}(z)$ هو تحويل لابلاس لدالة الذاكرة $M(z)$ لمعطى بالعلاقة التالية:

$$\widehat{M}(z) = M(0) \int_0^\infty \exp(-Zt - \lambda t) dt = \frac{M(0)}{Z - \lambda} \quad (17 - III)$$

وبتعويض عبارة $\widehat{M}(z)$ في (17- III) والمعادلة (16 - III) في $\widehat{D}(z)$ نجد:

$$\widehat{D}(z) = \frac{Z(Z + \lambda) + M(0)}{[Z^3 + \lambda Z^2 + w_0^2 Z + \lambda w_0^2]} \quad (18 - III)$$

يعطى تحويل لابلاس لدالة الترابط الذاتي $C(t)$ من معادلة (4- III) بـ:

$$\widehat{C}(z) = \widehat{D}(z) - \frac{Z(Z + \lambda) + M(0)}{[Z^3 + \lambda Z^2 + w_0^2 Z + \lambda w_0^2]} \quad (19 - III)$$

نتحصل على $\widehat{D}(z)$ باستخدام التحويل العكسي للدالة:

$$D(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma} e^{zt} \widehat{D}(z) dz \quad (20 - III)$$

حيث (γ) هو الفضاء المختار ويمكن كتابة $D(t)$ و $C(t)$ على النحو التالي [25]:

$$D(t) = \sum_{i=1}^3 D_i \exp(z_i t) \quad (21 - III)$$

$$C(t) = \sum_{i=1}^0 C_i \exp(z_i t) \quad (22 - III)$$

والمعاملات D_i و C_i تحدد كما يلي:

$$D_i = -(w_0/z_i)^2 C_i \quad (23 - III)$$

$$C_1 = (\lambda + Z_1)Z_1(Z_3 - Z_2)/\Delta \quad (24 - III)$$

$$C_2 = (\lambda + Z_2)Z_2(Z_1 - Z_3)/\Delta \quad (25 - III)$$

$$C_3 = (\lambda + Z_3)Z_3(Z_2 - Z_1)/\Delta \quad (26 - III)$$

$$\Delta = (Z_1 - Z_2)(Z_2 - Z_3)(Z_3 - Z_2) \quad (27 - III)$$

المعاملات $\{Z_i\}$ هي الحلول الثلاثة للمعادلة المكعبة:

$$Z^3 + \lambda Z^2 + w_1^2 Z + \lambda w_0^2 = 0 \quad (28 - III)$$

اذن من أجل حساب دوال الترابط الذاتي $C(t)$ و $D(t)$ لابد من معرفة الجذور Z_i الثلاثة التي ترتبط المعاملات w_0, w_1 و λ .

III-2- تحديد المعاملات:

أولاً نقوم بحساب هذه المعاملات w_0, w_1 و λ التي تمكننا من حل المعادلة المكعبة (III - 28) في حالة بلازما ذات درجتي حرارة مكونة من الأيونات والكترونات مع أيون الشائبة من نفس الكتلة والشحنة (m, q) . ونعتمد في حساب هذه المعاملات على نموذجين وهما: نموذج SQRT ونموذج SVT.

III-2-1 تحديد التردد w_0 :

يحدد w_0 بالعلاقة التالية [31]:

$$\begin{aligned} w_0^2 &= -\frac{1}{3} \sum_{\alpha} (n_{\alpha} q_0 / m_0) \int dr \nabla \cdot e_{0\alpha}(r) g_{0\alpha}(r) \\ &= -\frac{1}{3} [(n_e q_0 / m_0) \int dr \nabla \cdot e_{0e}(r) g_{0e}(r) + (n_e q_0 / m_0) \int dr \nabla \cdot e_{0i}(r) g_{0i}(r)] \end{aligned}$$

حيث $g_{0\alpha}(r)$ دالة الترابط الثنائية، ويحسب مشتق الحقل في الاحداثيات الكروية كمايلي:

$$\nabla \cdot e(r) = -\Delta V_{o\alpha}(r) = -\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r}\right) V_{o\alpha}(r) \quad (30 - III)$$

حيث $V_{o\alpha}(r)$ الطاقة الكامنة للتفاعل بين أيون الشائبة والبلازما المحيطة يعطى بالعلاقة التالية:

➤ في حالة SQRT

$$v_{ii}(r) = \frac{e^2}{r} e^{-k_D r} \quad (31 - III)$$

$$v_{ie}(r) = \frac{e^2}{r} e^{-k_D r} \quad (32 - III)$$

$$w_0^2 = \frac{1}{3} \omega_{pe}^2 ((I_0)_e + (I_0)_i) = \frac{1}{3a} \omega_{pe}^2 I_0 \quad (33 - III)$$

$$(I_0)_e = \int dr r k_D^2 e^{-k_D r} g(r)_{ie} \quad (34 - III)$$

$$(I_0)_i = \int dr r k_D^2 e^{-k_D r} g(r)_{ii} \quad (35 - III)$$

حيث

$$I_0 = (I_0)_e + (I_0)_i$$

$$I_0 = \int dr r (g(r)_{ii} + g(r)_{ie}) k_D^2 e^{-k_D r} \quad (36 - III)$$

➤ في حالة SVT

$$\begin{aligned} v_{ii}(r) &= \frac{e^2}{r} \left(\frac{k_i^2}{k_D^2 - k_{ie}^2} e^{-k_D r} - \frac{k_{ie}^2 - k_e^2}{k_D^2 - k_{ie}^2} e^{-k_{ie} r} \right) \\ &= \frac{e^2}{r} (B_1 e^{-k_D r} - B_2 e^{-k_{ie} r}) \end{aligned} \quad (37 - III)$$

حيث

$$B_1 = \frac{k_i^2}{k_D^2 - k_{ie}^2}, \quad B_2 = \frac{k_{ie}^2 - k_e^2}{k_D^2 - k_{ie}^2}$$

$$v_{ie}(r) = \frac{e^2}{r} \left(\frac{k_D^2 k_{ie}^2 - ck_i^2 k_e^2}{(k_D^2 - k_{ie}^2) k_{ie}^2} e^{-k_D r} - \frac{k_{ie}^4 - ck_i^2 k_e^2}{(k_D^2 - k_{ei}^2) k_{ie}^2} e^{-k_{ie} r} \right)$$

$$= \frac{e^2}{r} (B_3 e^{-k_D r} - B_4 e^{-k_{ie} r}) \quad (38 - III)$$

حيث

$$B_3 = \frac{k_D^2 k_{ie}^2 - ck_i^2 k_e^2}{(k_D^2 - k_{ie}^2) k_{ie}^2}, \quad B_4 = \frac{k_{ie}^4 - ck_i^2 k_e^2}{(k_D^2 - k_{ei}^2) k_{ie}^2}$$

$$w_0^2 = \frac{1}{3a} \omega_{pe}^2 ((I'_0)_i + (I''_0)_e) = \frac{1}{3a} \omega_{pe}^2 I_0 \quad (39 - III)$$

$$(I'_0)_i = \int (B_1 k_D^2 e^{-k_D r} - B_2 k_{ie}^2 e^{-k_{ie} r}) r g_{ii}(r) dr \quad (40 - III)$$

$$(I''_0)_e = \int (B_3 k_D^2 e^{-k_D r} - B_4 k_{ie}^2 e^{-k_{ie} r}) r g_{ie}(r) dr \quad (41 - III)$$

$$I_0 = \int dr r k_D^2 (B_1 g_{ii} + B_3 g_{ie}) e^{-k_D r} - k_{ie}^2 (B_2 g_{ii} + B_4 g_{ie}) e^{-k_{ie} r} \quad (42 - III)$$

III-2-2 تحديد التردد ω_1 :

$$w_1^2 = w_0^2 + \frac{q_0^2}{3m_0^2 w_0^2} \sum_{\alpha}^2 \left(\frac{n_{\alpha} m_0}{\mu_{\alpha}} \right) \int d \left[\frac{\partial e_{e0}(r)}{\partial r_k} \right]^2 g_{0\alpha}(r)$$

$$\begin{aligned}
&= w_0^2 \left[1 + \frac{q_0^2}{3m_0^2 w_0^4} \sum_{\alpha}^2 \left(\frac{n_e m_0}{\mu_e} \right) \int dr \left[\frac{\partial e_{ej}(r)}{\partial r_k} \right] g_{0e}(r) \right. \\
&\quad \left. + \frac{n_i m_i}{\mu_i} \int dr \frac{\partial e_{ii}(r)}{\partial r}] g_{ii} \right] \\
&= w_0^2 \left[1 + \frac{a}{a^2 I_0^2} \left(\frac{m_0}{\left(\frac{1}{1+a} \right) m_i} (I_1)_e + \frac{m_0}{\frac{1}{2} m_i} (I_1)_i \right) \right] \\
&= w_0^2 \left[1 + \frac{1}{a^2 I_0^2} [(a+1)(I_1)_e + 2(I_1)_i] \right] \quad (43 - III)
\end{aligned}$$

➤ في حالة SQRT

$$(I_1)_i = \int dr r^{-4} e^{-2k_D r} (6 + 12rk_D + 10r^2 k_D^2 + 4(k_D r)^3 + r^4 k_D^4) (g_{ii}(r)) \quad (44 - III)$$

$$(I_1)_e = \int dr r^{-4} e^{-2k_D r} (6 + 12rk_D + 10r^2 k_D^2 + 4(k_D r)^3 + r^4 k_D^4) (g_{ie}(r)) \quad (45 - III)$$

➤ في حالة SVT

$$(I'_1)_i = \int dr r^{-4} \left[(e^{-(k_D + k_{ie})r} B_1 B_2 (C_1) + B_2^2 e^{-2k_{ie}r} C_2 + C_3 B_1^2 e^{-2k_D r}) (g_{ii}) \right] \quad (46 - III)$$

$$(I'_1)_e = \int dr r^{-4} \left[(e^{-(k_D + k_{ie})r} B_3 B_4 C_1 + B_4^2 C_2 e^{-2k_{ie}r} + B_3^2 C_3 e^{-2k_D r}) (g_{ie}) \right] \quad (47 - III)$$

حيث

$$C_1 = -4r^2 (k_D^2 + k_{ie}^2 + 3k_{ie} k_D) - 4r^3 (k_D^2 k_{ie} + k k_{ie}^2) - 2k_{ie}^2 k_D^2 r^4 - 12(k_{ie} + k_D)r - 12 \quad (48 - III)$$

$$C_2 = (6 + 12rk_{ie} + 10r^2 k_{ie}^2 + 4r^3 k_{ie}^3 + r^4 k_{ie}^4) \quad (49 - III)$$

$$C_3 = (6 + 12rk_D + 10r^2k_D^2 + 4r^3k_D^3 + r^4k_D^4) \quad (50 - III)$$

III-2-3 تحديد المعامل λ :

$$\lambda = \left(\frac{w_1^2}{w_0^2} - 1\right)m_0\beta D \quad (51 - III)$$

من أجل إيجاد قيمة λ لا بد من معرفة قيمة معامل الانتشار D .

III-2-4 حساب معامل الانتشار D :

معامل الانتشار D يعطى بدلالة الترابط الذاتي للسرعة [37-40]:

$$D = \frac{1}{3} \int_0^{\infty} \langle \vec{v}_0(x) \cdot \vec{v}_0(0) \rangle \quad (52 - III)$$

حيث \vec{v}_0 هي السرعة اللحظية $t = 0$ للجسيم الاختبار.

بالاعتماد على مؤثر الإسقاط (projection operator) و مؤثر لوفيل (Louvillie operator) وبعض التقريبات الأخرى، حيث يكتب معامل الانتشار بدلالة تحويل فورييه و لابلاس لعامل البنية الديناميكي الستاتيكي $S(k, w)$ و $S^S(k, w)$ ، الكمون وتحويل فورييه له $v(k)$ ، $v(r)$. ويعطى بالعلاقة التالية [19][34]:

$$\begin{aligned} D^{-1} &= \left(\frac{\beta}{6\pi}\right) \sum_{\alpha\beta} \int_0^{\infty} dk k^4 c_{0\alpha}(k) v_{0B} \int_0^{\infty} dw s_{\alpha B}(k, w) s_s(k, w) \\ &= \left(\frac{\beta}{6\pi}\right) \left[\sum_{\alpha} \int_0^{\infty} dk k^4 c_{0\alpha}(k) v_{0i}(k) \int_0^{\infty} dw s_{\alpha i}(k, w) s_s(k, w) \right. \\ &\quad \left. + \int_0^{\infty} dk k^4 \hat{c}_{0\alpha}(k) \hat{v}_{0e} \int_0^{\infty} dw s_{\alpha e}(k, w) s_s(k, w) \right] \quad (53 - III) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{\beta}{12\pi^3}\right) \left\{ \int_0^\infty dk k^4 c_{oi}(k) v_{oi}(k) \int_0^\infty dw s_{ii}(k, w) s_s(k, w) + \right. \\
&\int_0^\infty dk k^4 c_{oi}(k) v_{oe}(k) \int_0^\infty dw s_{ie}(k, w) s_s(k, w) + \\
&\int_0^\infty dk k^4 c_{oe}(k) v_{oe}(k) \int_0^\infty dw s_{ei}(k, w) s_s(k, w) + \\
&\left. \int_0^\infty dk k^4 c_{oe}(k) v_{oe}(k) \int_0^\infty dw s_{ee}(k, w) s_s(k, w) \right\}
\end{aligned}$$

حيث عوامل البنية الديناميكية $s_{ii}(k, w)$ ، $s_{ie}(k, w)$ ، $s_{ei}(k, w)$ و $s_{ee}(k, w)$ معرفة في المرجع [24].

وعامل البنية $S^S(k, w)$ يعرف العلاقة

$$S^S(k, w) = \frac{1}{k} \left(\frac{\beta m \pi}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \exp(x)^2 \quad (54 - III)$$

حيث:

$$I'(x) = x\sqrt{\pi} \exp(-x)^2 \quad \text{et} \quad I''(x) = 1 - 2xD(x)$$

حيث دالة دواسن $D(x)$ (The Dawson function)

حيث $C_{ab}(k)$ تحويل فوري لدالة الترابط المباشر وتعرف بعلاقة أورستين زرتيك (Ornstein-Zernike)

: [41] [40]

في حالة SQRT :

$$\hat{h}_{ab}(k) = \hat{C}_{ab}(k) + \sum_{s=i,e} n_s \hat{h}_{ab}(k) \hat{C}_{sb}(k)$$

$$\hat{h}_{ab}(k) = \hat{C}_{ab}(k) + n_i h_{ai}(k) \hat{C}_{ib}(k) + n_e h_{ae}(k) \hat{C}_{eb}(k)$$

$$\hat{C}_{ii}(k) = \frac{\hat{h}_{ii}(k) + \hat{h}_{ii}(k)\hat{h}_{ee}(k) - \hat{h}_{ie}^2(k)}{1 + \hat{h}_{ee}(k) + \hat{h}_{ii}(k) + \hat{h}_{ii}(k)\hat{h}_{ee}(k) - \hat{h}_{ie}^2(k)} \quad (56 - III)$$

$$\hat{C}_{ee}(k) = \frac{\hat{h}_{ee}(k) + \hat{h}_{ii}(k)\hat{h}_{ee}(k) - \hat{h}_{ie}^2(k)}{1 + \hat{h}_{ee}(k) + \hat{h}_{ii}(k) + \hat{h}_{ii}(k)\hat{h}_{ee}(k) - \hat{h}_{ie}^2(k)} \quad (57 - III)$$

$$\hat{C}_{ie}(k) = \frac{\hat{h}_{ie}(k)}{1 + \hat{h}_{ee}(k) + \hat{h}_{ii}(k) + \hat{h}_{ii}(k)\hat{h}_{ee}(k) - \hat{h}_{ie}^2(k)} \quad (58 - III)$$

في حالة SVT:

$$\hat{h}_{ab} = \hat{C}_{ab} + \sum_{s=i,e} \left(n_s \frac{m_a T_{as}}{m_a T_{ab}} \hat{C}_{as} \hat{h}_{sb} + \frac{m_a T_{sb}}{m_b T_{ab}} \hat{h}_{as} \hat{C}_{sb} \right)$$

$$\hat{C}_{ii} = \frac{\hat{h}_{ii}(1 + a + a\hat{h}_{ii} + \hat{h}_{ee})(1 + \hat{h}_{ee}) - \hat{h}_{ie}^2 \left(a\hat{h}_{ii} + \hat{h}_{ee} + \frac{aT_e}{T_i} + 1 \right)}{(1 + a + a\hat{h}_{ii} + \hat{h}_{ee}) \left((1 + \hat{h}_{ee})(1 + \hat{h}_{ii}) - \hat{h}_{ie}^2 \right)} \quad (59 - III)$$

$$C_{ie} = \frac{\hat{h}_{ie}(a + 1) \left(aT_e(1 + \hat{h}_{ii}) + T_i(1 + \hat{h}_{ee}) \right)}{(aT_e + T_i) \left((1 + a + a\hat{h}_{ii} + \hat{h}_{ee}) \left((1 + \hat{h}_{ee})(1 + \hat{h}_{ii}) - \hat{h}_{ie}^2 \right) \right)} \quad (60 - III)$$

$$C_{ee} = \frac{\hat{h}_{ee}(1 + \hat{h}_{ii})(1 + a + a\hat{h}_{ii} + \hat{h}_{ee}) - \hat{h}_{ie}^2 \left(a + a\hat{h}_{ii} + \hat{h}_{ee} + \frac{Ti}{Te} \right)}{(1 + a + a\hat{h}_{ii} + \hat{h}_{ee}) \left((1 + \hat{h}_{ee})(1 + \hat{h}_{ii}) - \hat{h}_{ie}^2 \right)} \quad (61 - III)$$

حيث $h_{ab}(k)$ تحويل فوري لـ $h_{ab}(r)$ دالة الترابط الكلي التي لها علاقة بدالة الترابط $g_{ab}(r)$ وتعرف بالعلاقة التالية:

$$h_{ab}(r) = g_{ab}(r) - 1 \quad (62 - III)$$

$$nh_{ab}(k) = \frac{3}{4\pi} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} r dr (g_{ab}(r) - 1) \frac{\sin(kr)}{k} dr \quad (63 - III)$$

معامل الانتشار بدون وحدة يعطى بالعلاقة التالية:

$$D^* = [D^{-1} w_{pe} r_0^2] \quad (64 - III)$$

III-3 نتائج و مناقشة:

لحساب دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ والسرعة $D(t)$ وفق نموذجنا النظري لبلازما ذات درجتي حرارة، نحن بحاجة لمعرفة التردد Z_i جذور المعادلة الجبرية (III - 28) ومعاملات C_i و D_i والتي تكتب بثلاثة معاملات وهي:

* في حالة نموذج SQR T معامل الانتشار D_{sqr} والترددات w_{1sqr} و w_{0sqr} .

* في حالة نموذج SVT معامل الانتشار D_{svt} والترددات w_{1svt} و w_{0svt} .

يبين الجدول (III-1) معاملات الانتشار D_{sqr} و D_{svt} والترددات w_{1sqr} و w_{0sqr} و w_{1svt} و w_{0svt} من أجل قيم مختلفة لمعامل الترابط Γ ، حيث نلاحظ تزايد معامل الانتشار D_{sqr} و عندما تكون قيم Γ_i منخفضة

و قيم Γ_e ثابتة. أما قيم معامل الانتشار D_{svt} تلاحظها تتزايد ثم تناقصة عند $\Gamma_i = 0.6$. وبالنسبة المقارنة قيم D_{svt} و D_{sqt} نلاحظ أن قيم D_{svt} أكبر من قيم D_{sqt} وأما قيم الترددات فنلاحظ $w_{0svt} < w_{0sqt}$ و $w_{1svt} > w_{1sqt}$

الجدول (1-III) معامل الانتشار D_{svt} و D_{sqt} والترددات w_{svt} و w_{sqt} لقيم مختلفة لمعامل Γ_i .

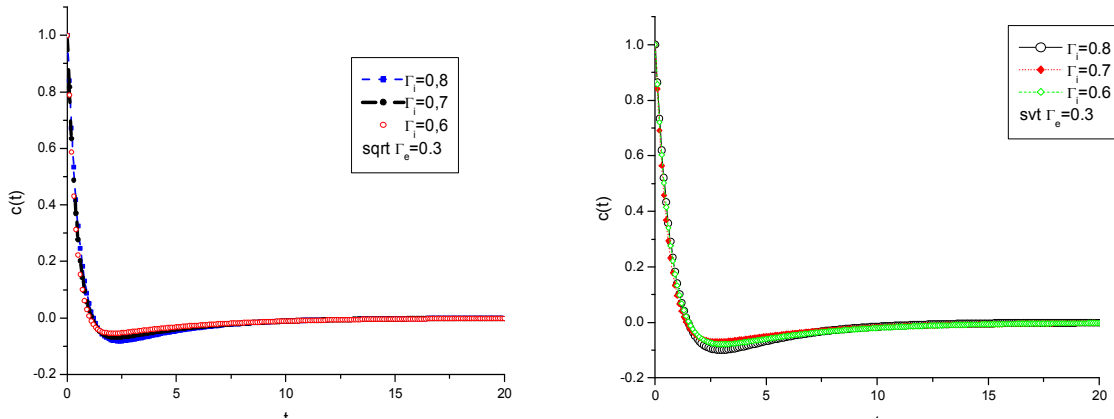
w_{1svt}	w_{0svt}	w_{1sqt}	w_{0sqt}	D_{svt}	D_{sqt}	a	Γ_e	Γ_i
13.41	0.56	10.70	0.71	5.77	4.49	1	0.3	0.8
13.55	0.58	11.55	0.72	6,04	4.99	1	0.3	0.7
13.84	0.61	12.71	0.73	3.95	5.66	1	0.3	0.6

يبين الجدول (2-III) معاملات الانتشار D_{svt} و D_{sqt} والترددات w_{0svt} ، w_{1svt} ، w_{0sqt} ، w_{1sqt} حيث نلاحظ أن كلما زادت قيم Γ_e تنقص قيم المعاملات الانتشار لنموجين D_{svt} و D_{sqt} عند Γ_i ثابتة و Γ_e متغيرة حيث نلاحظ أن كلما زاد قيم Γ_e تنقص قيم معاملات الانتشار لنموجين D_{svt} و D_{sqt} والمقارنة بين النموجين قيم D_{svt} أكبر من D_{sqt} وبالنسبة للترددات نفس ملاحظة الجدول السابق.

الجدول (2-III) معامل الانتشار و D_{svt} و D_{sqt} والترددات w_{svt} و w_{sqt} لقيم مختلفة لمعامل Γ_e .

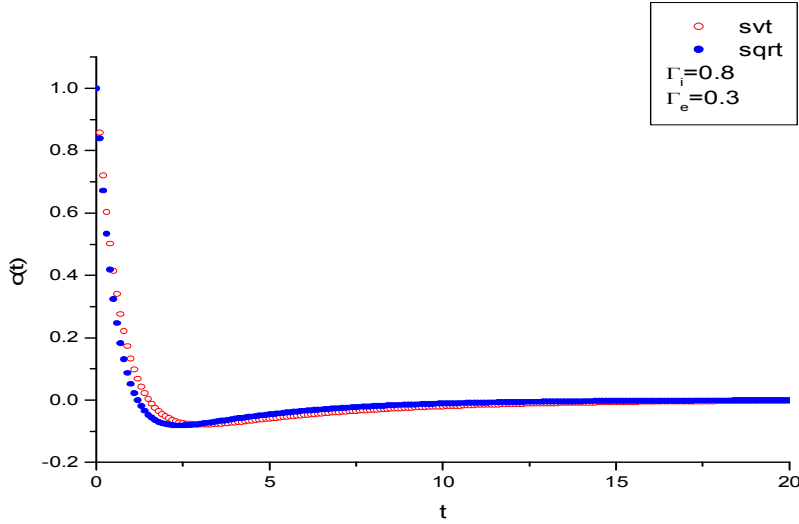
w_{1svt}	w_{0svt}	w_{1sqt}	w_{0sqt}	D_{svt}	D_{sqt}	a	Γ_e	Γ_i
39.40	0.61	18.73	0.73	10.03	8.92	1	0.1	0.8
13.41	0.56	11.55	0.71	5.77	4.49	1	0.3	0.8
10.87	0.55	9.62	7.03	5.05	3.75	1	0.4	0.8
9.42	0.54	9.00	0.69	4.46	3.25	1	0.5	0.8

يبين الشكل (III-1) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_i من أجل $\Gamma_e = 0.3$. حيث نلاحظ كلما كانت قيمة Γ_i كبيرة المنحني ينزاح إلى قيم أصغر في حالة sqrt و نفس الملاحظة لمنحني svt الا في حالة $\Gamma_i = 0.6$ وهذا راجع لتناقص قيمة معامل الإنتشار الموضح في الجدول السابق. وعلاوة على ذلك، لاحظنا أن دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ تصل إلى صفر في وقت قصير. وهذا يدل على أن قيم Γ_i أقل من الواحد يكون الترابط بين الأيونات قوية جدا. ولذلك يزداد التوصيل الكهربائي عندما تنخفض قيم Γ_i لأن التوصيل الكهربائي يتناسب مع التكامل على الزمن لـ $C(t)$ ، ونلاحظ أن الفرق بين المنحنيات ينقص بزيادة معامل الترابط من أجل نفس القيم العددية لـ Γ_i .



الشكل (III-1) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ من أجل $\Gamma_e = 0.3$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_i

لكل من sqrt و svt .

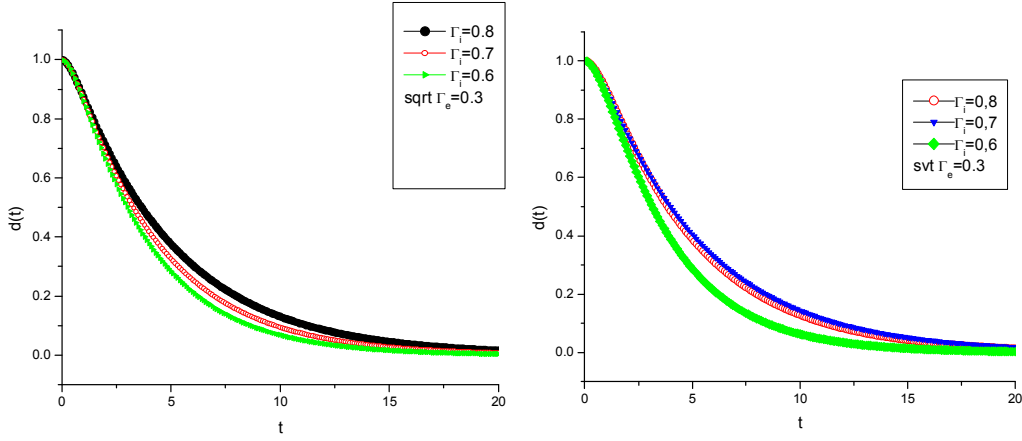


الشكل (III-2) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ عند $\Gamma_e = 0.3$ و $\Gamma_i = 0.8$ لكل من svt و sqrt.

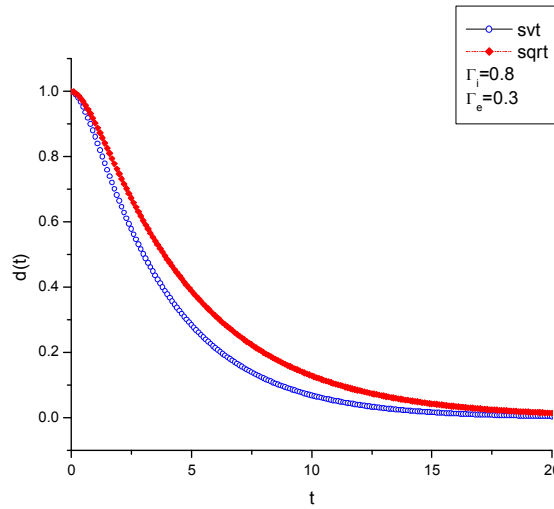
يبين الشكل (III-2) مقارنة دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ من أجل معامل $\Gamma_i = 0.8$ ومن أجل $\Gamma_e = 0.3$ لكل من svt و sqrt. حيث نلاحظ منحنى sqrt ينزاح إلى قيم أصغر في منطقة أقل من 2.5 وفي منطقة أكبر من 2.5 تكون لديه قيم أكبر من svt.

يبين الشكل (III-3) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ من أجل $\Gamma_e = 0.3$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_i كما هو واضح، نلاحظ كلما زادت Γ_i تنزاح منحنيات إلى قيم أكبر للكل من النموذجين.

يبين الشكل (III-4) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ من أجل معامل $\Gamma_i = 0.8$ ومن أجل $\Gamma_e = 0.3$. نلاحظ اختلاف بين النموذجين وأن منحنى svt ينزاح إلى قيم أكبر عكس منحنى sqrt.

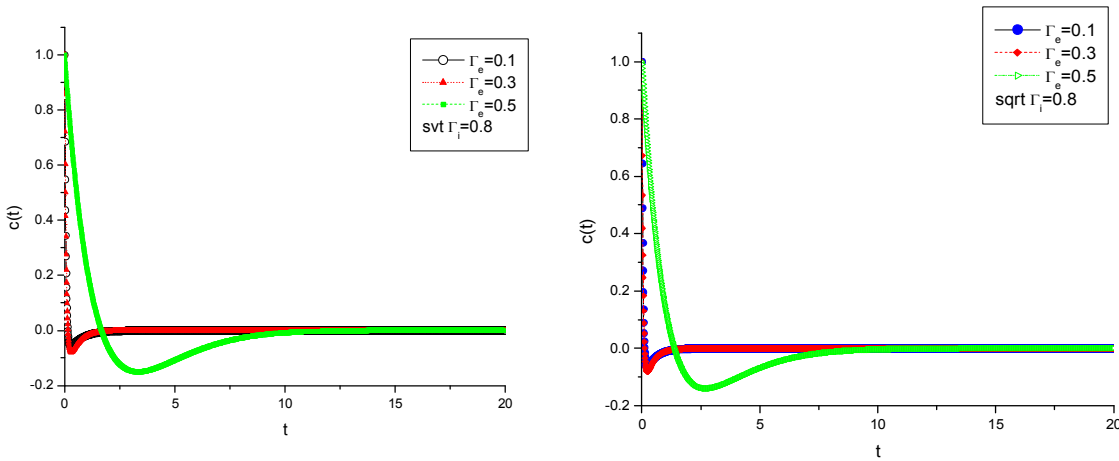


الشكل (III-3) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ من أجل $\Gamma_e = 0.3$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_i لكل من sqrt و svt



الشكل (III-4) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ عند $\Gamma_e = 0.3$ و $\Gamma_i = 0.8$ لكل من sqrt و svt

يبين الشكل (III-5) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_e من أجل $\Gamma_i = 0.8$. نلاحظ $C(t)$ تنخفض عندما يزداد قيمة Γ_e و علاوة علي ذلك، لاحظنا أن دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ تصل إلى صفر في وقت قصير. وهذا يدل علي أن قيم Γ_e أقل من الواحد يكون الترابط بين الأيونات قوية جدا. ولذلك يزداد التوصيل الكهربائي عندما تزداد قيم Γ_e لأن التوصيل الكهربائي يتناسب مع التكامل على الزمن ل $C(t)$.

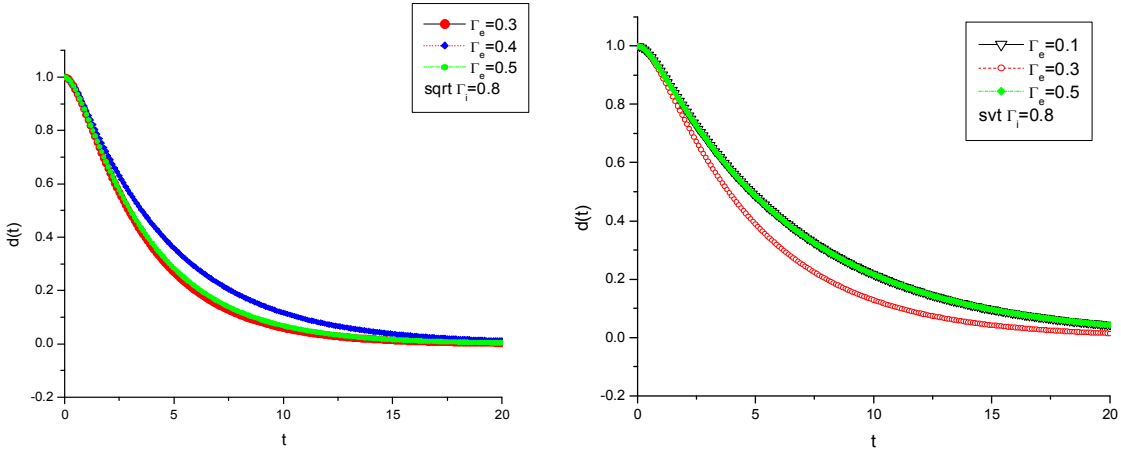


الشكل (III-5) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ عند $\Gamma_i = 0.8$ ومن أجل لقيم مختلفة Γ_e لكل من sqrt و svt.

يبين الشكل (III-5) دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_e ومن أجل $\Gamma_i = 0.8$. حيث نلاحظ $C(t)$ تنخفض عندما تزداد قيمة Γ_e و علاوة علي ذلك، لاحظنا أن دالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي $C(t)$ تصل إلى صفر في وقت قصير. وهذا يدل علي أن قيم Γ_i أقل من الواحد يكون الترابط بين الأيونات قوية جدا. ولذلك يزداد التوصيل الكهربائي عندما تنخفض قيم Γ_i لأن التوصيل الكهربائي يتناسب مع

التكامل على الزمن لـ $C(t)$ ، ونلاحظ أن الفرق بين المنحنيات ينقص بزيادة معامل الترابط من أجل نفس القيم العددية لـ Γ_i .

يبين الشكل (III-6) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ لقيم مختلفة لمعامل Γ_e من أجل $\Gamma_i = 0.8$. حيث نلاحظ كلما زادت قيم Γ_e منحنيات $D(t)$ تناقص ثم تزايد على عكس \sqrt{t} .



الشكل (III-6) دالة الترابط الذاتي للسرعة $D(t)$ من أجل $\Gamma_i = 0.8$ ولقيم مختلفة لمعامل Γ_e لكل من \sqrt{t} و svt

خلاصة عامة

يهدف هذا العمل على توسيع النظام (بلازما) في حالة درجتي حرارة وذلك باستخدام ثلاثة نماذج مهمة نموذج SQRT، نموذج MASS ونموذج SVT من أجل حساب دوال الترابط ذات درجتي حرارة حيث أن هذه النماذج تركز على افتراضيات لتوسيع نظام المعادلات OZ و تركز على نقطتين:

*كيفية تحديد ووصف درجة الحرارة المتقاطعة T_{ab}

*كيفية يتم تعديل علاقات OZ(ornsten-zenike)

حيث تطرقنا في الفصل الأول تعرف البلازما، وتاريخها وأشكال لبلازما بصفة مختصرة ومقاديرها وتطرقنا كذلك إلى كمون ديباي.

شمل الفصل الثاني الجزء الرياضي لحساب دوال الترابط من أجل درجتي حرارة باستخدام ثلاثة نماذج نموذج SQRT نموذج MASS ونموذج SVT في حالة (i-i)، (e-i) و (e-e) في بلازما ضعيفة الترابط، وذلك باستخدام افتراضيات كل نموذج حيث نموذج SQRT و نموذج MASS يأخذ نفس العلاقة OZ والاختلاف بين النموذجين هو صيغة درجة حرارة التقاطع (الفعالة) T_{ab} نأخذ نفس صيغة نموذج MASS لكن معادلات OZ مختلفة تحتوي على بعض التصحيحات، من خلال النتائج المتحصل عليها قمنا برسم منحنيات دوال الترابط لمختلف قيم معامل الارتباط الإلكترونيات والأيونات وأيضا لمختلف قيم النسبة $\frac{m_i}{m_e}$.

من خلال نتائج المتحصل عليها يمكن القول أن نموذج MASS و نموذج SVT أكثر ملائمة لحساب دوال الترابط إلكترون-إلكترون وأيون-أيون. وأن الفرق بينهم صغيرا جدا في أغلب الحالات المدروسة.

في الفصل الثالث قمنا بحساب دوال الترابط الذاتي للحقل الكهربائي لمجهرى للسرعة باستخدام كمون SQRT وكمون SVT من أجل قيم مختلفة لمعامل الارتباط حيث لاحظنا من أجل Γ أقل من الواحد يكون احتمال اقتراب

الأيونات من بعضها البعض أكبر. وبما أن التوصيل الكهربائي يتناسب مع تكامل على الزمن $C(t)$. نقول أن البلازما هي أفضل موصل للكهرباء.

ومن الأفق المستقبلية هي:

* حساب معامل الانتشار ودالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي وللسرعة $MASS$ ، SVT في حالة $m_i < m_e$

* حساب معامل الانتشار ودالة الترابط الذاتي للحقل الكهربائي وللسرعة من باستخدام كمونات تفاعلات أخرى وفي مجال الترابط القوي.

* حساب الخصائص الترموديناميكية و الضوئية (الضغط الطاقة الداخلية، قرينة الانكسار....) من أجل درجتي حرارة.

قائمة المراجع

- [1] B. Held, physique des plasmas froids, Masson paris (1994).
- [2] شياحي اسماعيل، حساب دوال التوزيع الحقل الكهربائي الموضوعي داخل البلازما باستخدام المحاكات العددية مونتي كارلو: تطبيق على طيف الهليوم، أطروحة الدكتوراة جامعة منتوري قسنطينة (2005).
- [3] طه مفتاح، بعض الطرق التقنية لقياس قرينة الانكسار في البلازما، مذكرة ماستر أكاديمي فيزياء، جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2014).
- [4] وليد مصطفى صهيوني، مقدمة في البلازما، سلطنة عمان، يونيو
- [5] بكوش عبدالله، حساب توزيع المشتقات الفضائية للحقول الكهربائية المحلية في البلازما، باستخدام محاكاة التحريك الجزئي، مذكرة الماجستير، المركز الجامعي الوادي معهد العلوم و تكنولوجيا (2011).
- [6] مخجل خديجة، أهم النماذج لحساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي في البلازما، رسالة ماستر أكاديمي جامعة الشهيد حمدة لخضر (2013).
- [7] J.J-Thomson, philosophical Magazine 44, p.293(1897).
- [8] Hanane Bahouh, contribution à la modélisation d'une décharge. Continue d'un gaze molecular, memoir de magister, investee Mentouri Constantine, (2010).
- [9] D. R. Nicholso, Introduction to plasma Theory, University of Iowa, John Wiley & Sons (1983).
- [10] قريشة سليمة، مساهمة في دراسة توزيعات المشتقات الفضائية للحقول الكهربائية الموضوعية في البلازما، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2008).

- [11] H.R.Grien, plasma Spectroscopy, Mccraw (1964).
- [12] د.علاء الدين عبدالله النعيمي ود.قاسم على محمود ود.ابراهيم على الجوادي، الفيزياء التطبيقية الحديثة، دار الجيل النشر والطباعة والتوزيع ، بيروت لبنان الطبعة الثانية(2005) .
- [12] عباسية حكيمية، دوال الترابط في البلازما، رسالة دكتوراه جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2018).
- [13] قريشة سليمة، استخدام نموذج الجسيمات المستقلة لحساب دوال توزيع المشتقات الفضائية للحقل الكهربائي الأيوني الموضعي في البلازما، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2013).
- [14] عبيد سعيدة، دراسة في ثلاثة أبعاد للمقادير الكهربائية في جهاز الرش المهبطي باستعمال طريقة الهجوم المنتهية، رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح ورقلة (2003).
- [15] Jean-Loup Delacroix et Abraham Bers, physique des plasmas, Inter Edition CNRS. Editions (1994).
- [16] ريتزمليفور، ترجمة: يحي عبد الحميد الحاج علي الدكتور رحمن رستم عبدالله، أساسيات النظرية الكهرومغناطسية، جامعة الموصل العرق (1988).
- [17] N. R. Shaffer, S. K. Tiwari, and S. D. Baalrud, physics of plasmas 24, 092703(2017).
- 18 L. S. Ornstein and F. Zenike, proc .K .Ned .Akad .Wet .17, 793-807(1914) .
- 19 J . M. J. van Leeuwen, J. Groeneveled, and J.de Boer, physica25, 792(1959).
- [20] R. Bredow, TH. Bornath, W-D. Kraeft, and R .Redmer, Contrib. plasma phys.53, NO, 4-5(2013).
- [21] M .W .C . DHARMA-WARDANA AND MICHAEL S .MURILLO, Phys .Rev .E77, 026401 (2008).
- [22] P. Seufferling, J. Vogel, and, and C. ToEPffer, phys. Rev. A 40,323(1989).
- [23] T. chohra, thèse de Doctorat, Universite de Batna(Algerie), (2007).
- [24] T. Chohra, M.T .M. Meftah, H. Bouguettaia, F. Khelfaoui, B . Talin, A . Calisti, and J . W .Dufty Eur-phys . J . B 37, 39-46(2004) .

- [25] G . D . Harp, and B . J . Berne, Phys. Rev .A 3,975(1970).
- [26] R.McDonald, P.Vieillefosse,and J.P.Hansen.Phys. Rev. Lett. 39, 271(1977).
- [27] M. Berkovsky, J. W. Dufty. A. Calisiti. R. STamm. and B. Talin, Phys. Rev. E51, 4917(1995).
- [28] J . W . Dufty and L . Zogaib . phys . Rev . E47 . 2958 (1993) .
- [29] M . Berkovsky, J . W . Dufty, A . Calisiti, R . Stamm and B . Talin, J . phys . Rev . E 54(4), 4087(1996) .
- [30] J . W . Dufty, I . Pogorelov, A . Calisti,and B. Tanlin, J. Phys. A 36, 6057(2003).
- [31] J. Ortner, I. Valuev and W. Ebeling, Contr Plasm, 39(4). 311-321(1999).
- [32] T. Chohra,K. Chenini,M. T. Meftah and A. Boukraa,J. Acta Physica Polonica A,Vol. 116(2), 193-196(2009).
- [33] E. Guedda, these de Magistere, ENS Kouba (Algerie), (1996).
- [34] S. K. Sharmay and K. Tankeshwarz, J. phys. :Condens. Matter 8, 10839-10845(1996).
- [35] K. Tankeshwar, J. Phys. Condens. Matter 7, 9715-9723(1995).
- [36] N. H. March and M. P. Tosi, Introduction to liquid State Physics,World Seientifie (2002).
- [37] Z. Donko, G. J. Kalman and Hartmann, J. phys. Condens. Matter 20, 413101(2008).
- [38] H. Ohta and S. Hamaguchi, Physics of Plasmas 7 (11), 4506 (2000).
- [39] T. EI Moustafa, Thèse de Doctorat, U université de Metz, (2000).
- [40] J. S. Rowlinson and F . L . Swinton, Liquids and Liquid Mixtures, 3rd Ed. , P. 298, Butterworth's London (1982). Page (238).
- [41] K. Dawson, G. Foffi, G. D. Mccullagh. Sciortino, P. Tart glia and E. .Zaccarelli J. Phys. : Condens. Matter **14**,2223-2235(2002)

ملخص

في هذا العمل نقوم بحساب دوال الترابط للحقل الكهربائي من أجل بلازما ذات درجتي الحرارة، حيث يعتمد هذا النموذج النظري على بعض الافتراضيات حول طريقة تعويض درجتي الحرارة للبلازما، و كذلك كيفية توسيع معادلات (Ornstein-Zernike) OZ التي تسمح في الأخير بحساب دوال الترابط الزوجية من أجل بلازما ذات درجتي الحرارة، حيث كل هذا العمل يتم في حالة معامل الترابط $\Gamma < 1$ ضعيف. تنحصر نماذج التوسيع في ثلاث نماذج هي: نموذج MASS، نموذج SQRT و نموذج SVT للإلكترونات والأيونات ولكل المركبات (i-i) (e-e) (i-e). وكذلك حساب معامل الانتشار.

الكلمات المفتاحية: معامل الانتشار، دوال الترابط، دوال الترابط للحقل الكهربائي المجهرية للسرعة، نماذج SQRT، SVT.

Résumé:

Dans ce travail, nous calculons les fonctions de corrélation du champ électrique et de la vitesse pour un plasma a deux températures, Où ce modèle théorique dépend de quelques hypothèses sur la méthode de compensation des deux températures, ainsi que la expansion de les équations de (Ornstein -Zernike) OZ , ces dernier permet des calcul des fonctions de corrélation de paires pour un plasma a deux températures, ou tout ce travail est effectué dans le cas d'un coefficient de corrélation faible $\Gamma < 1$. Les modèles d'expansions sont limitées à trois modèles : Modèle MASS, modèle SQRT et modèle SVT pour les électrons, les ions et tous Les composés:(i-i), (i-e) et(e-e). Et aussi le coefficient de diffusion.

Mots clés : Fonction de corrélation, Fonction de corrélation du champ électrique Microscopique de vitesse, Modelé SQRT et SVT .

Abstract:

In this work, we calculate the correlation functions of electric Field and the velocity Of the plasma at two temperatures, where this theoretical model depends on some assumptions about the compensation of the two plasma temperatures, as well as how the expansion of the equations of (Ornstein-Zernike) OZ , the latter allows calculate pair-correlation functions for plasma at two Temperatures, since all this work is done in the case of a low correlation Coefficient of $\Gamma < 1$. The expansion models: are limited to three models : MASS model, SQRT model and SVT model for electrons and all compounds (i-i), (i-e), and (e-e). and also the diffusion coefficient.

Key words: Correlation function, Correlation function of the velocity microscopic Electric filed, SQRT. and SVT model.