

## انتشار الأمواج البنيوية ( الصوت الأول ) في بلازما فيرمي الكمية

الدكتورة نجاح قبلان\*

(تاريخ الإيداع 9 / 7 / 2015. قُبِلَ للنشر في 1 / 12 / 2015)

### □ ملخص □

تم في هذه الدراسة إدخال تابع التأثير المتبادل لأشباه الجسيمات إلى صيغة الطاقة في المعادلة الحركية للبلازما الكمية، إذ يمكن استخدام نموذج جديد لهذا لدراسة أشباه الجسيمات في بلازما فيرمي الكمية التي تحتوي بالأساس على حد كمي والموافقة لجهد بوم، عندما يكون متوسط المسافة الفاصلة بين أشباه جسيمات السائل البلازمي من مرتبة طول الموجة الحرارية لـ دوبروي. تم التعبير عن تابع التأثير المتبادل بين أشباه الجسيمات، باستخدام توابع كروية في فراغ ثلاثي الأبعاد بمعاملات النشر لاندائو من أجل  $(\ell = 0, 1, 2)$ ، وباستخدام هكذا تمثيل تم الحصول على عبارات التبدد للأمواج البنيوية وطيف طاقتها في حالة التوازن الموضوعي. يعد استخدام بارامترات لاندائو في هذه الدراسة جديداً مقارنة مع الدراسات الأخرى في هذا المجال الذي يمكن من خلاله الحصول على عبارات تبدد أكثر شمولية ودقة مع طيف طاقة جديد غير معروف من قبل في بلازما فيرمي الكمية.

**الكلمات المفتاحية:** نظرية سائل فرمي - أشباه الجسيمات - تابع التأثير المتبادل - بارامترات لاندائو - بلازما فرمي الكمية - جهد بوم .

\*أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

## Propagation of structural Waves ( First Sound ) in Quantum Fermi Plasmas

Dr. Najah Kabalan \*

(Received 9 / 7 / 2015. Accepted 1 / 12 / 2015)

### □ ABSTRACT □

In this study, an Interaction Function between quasi particles has been introduced into an energy formula in Kinetic Equation of Quantum Plasmas. Such new type can be used to study quasi Particles of Quantum Fermi Plasmas, since it contains quantum term that is correlated with Bohm Potential, when the mean inter-particle distance is of the same order as the de-Broglie thermal wavelength. An interaction function between quasi particles has been expressed using spherical Functions in three-dimensional space with Landau's spread coefficients for ( $\ell = 0, 1, 2$ ). Using such representation led to obtaining the dispersion relation of the structural waves and its energy Spectrum in balanced local condition. The use of Landau parameters in this study is considered new comparing to other studies in this field. It allows us to get more generic and more precise dispersion relations with new previously unknown spectrum energy in Quantum Fermi Plasmas.

**Key Words:** Fermi Liquid Theory – quasi Particles – Interaction Function – Landau Parameters – Quantum Fermi Plasmas – Bohm Potential.

---

\* Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia Syria .

## مقدمة:

يؤدّي التأثير المتبادل بين أشباه الجسيمات في السوائل الكوانتية دوراً حاسماً في تحديد التغيرات التي تطرأ على كثافتها، ومن ثمّ؛ على طاقتها التي تنتفي عنها الصفة الجمعية، نظراً لكونها تابعاً لتابع التوزع لأشباه الجسيمات  $\epsilon(\delta n)$ ، إذ ترتبط طاقة شبه الجسيم بطاقة بديهية أشباه جسيمات الوسط. انطلاقاً من هذه الخاصية اقترح لاندوا نظرية ظاهرانية [1, 2]، والتي يمكن مقارنتها مع النظرية الخاصة بغاز فيرمي المثالي في درجات الحرارة المنخفضة. لاقت نظرية لاندوا في حينها صداً كبيراً من قبل المهتمين في هذا المجال، وتجلّى ذلك من خلال الأبحاث التي قام بها عدد لا بأس به من الباحثين نذكر بعضاً من أبحاثهم على سبيل المثال لا الحصر [3 – 13]. قام كل من سيلين وكليمنتوفيتش [3] (*Silin – Klimontovich*) بإيجاد خواص الاهتزازات الخطية لبلازما الإلكترون في بلازما فيرمي الكثيفة، وفي خطوة لاحقة قام سيلين (*Silin*) بمتابعة هذه الدراسة لتشتمل على الحقل الكهرطيسي، إضافة لتابع توزع السبين على أساس نظرية لاندوا [4, 10]، في حين؛ قام كل من بوم (*Bohm*) وبينس [6] (*Pinse*) بدراسة خواص الاهتزازات الخطية للإلكترون في بلازما فيرمي الكثيفة، مع التركيز على العلاقة بين شبه الجسيم المفرد والسلوك الجماعي وأوجد طيف الإثارة للبلازما الكمية، التي تبحث في خواص التبدد لاهتزازات بلازما الإلكترون. يعد كل من (*Abrikosov*) و (*Pethick*) و (*Baym*) من أهم الباحثين الذين تبينوا نظرية سائل فيرمي وعملوا على تطويرها [5, 8, 12, 13]، إذ تمكنوا من تقديم دراسة وافية في حينه حول خصائص سائل فيرمي، إضافة لدراسة انتشار الأمواج البنيوية في أوساط كهذه، وفي خطوة لاحقة أثبت [7] *Platzmann* تجريبياً أنّ تابع التأثير المتبادل لأشباه الجسيمات هو المسؤول عن ظهور أمواج بنيوية في الجمل البلازمية الكمية التي تصنف ضمن سائل فيرمي الكمي، كما أوجد كل من (*Ying*) و [9] (*Quinn*) نموذجاً محدداً لتابع التأثير المتبادل بين أشباه الجسيمات في سائل فيرمي، وافترضاً أنّ هذا التابع يأخذ قيمة ثابتة.

أضحت نظرية لاندوا مؤخراً محط اهتمام عدد كبير من الباحثين المهتمين بدراسة فيزياء البلازما [14 – 20]، نظراً للجوانب التطبيقية المتنوعة في المجال النانوي [14 – 16] كالنقط الكمية والأسلاك الكمية والبصريات الكمية واللاخطية والبلازما الميكروية والبلازما الفائقة البرودة وبلازما الحالة الصلبة، إضافة لأهميتها في فيزياء البعد الواحد وفي التطبيقات الفضائية المختلفة وفي مجال علم الفلك الفيزيائي داخل النجوم العملاقة والأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية .. الخ، والتي لها كثافات هائلة وحقول مغناطيسية قوية [14 – 16]، والتأثيرات العالية الشدة اللازمة للزيادة المستمرة للقدرة الليزرية، إضافة لأهمية التأثيرات الإحصائية الكمية في البلازما الكثيفة [17 – 19].

ظهرت في الآونة الأخيرة عدة أبحاث، والتي تتناول السلوك الجماعي للبلازما الكمية باستخدام جملة من المعادلات الهيدروديناميكية [20 – 25]، التي أظهرت أهمية إدخال جهد بوم (*Bohm Potential*) إلى هذه المعادلات، والذي يضيف البعد الكمي لهذا النوع من الدراسات، إضافة لارتباطه بتدرج كثافة أشباه الجسيمات وتناسبه مع كتلتها الفعالة التي يمكنها أن تأخذ قيمة أكبر أو أصغر من القيمة الحقيقية للكتلة، والذي يؤثر بدوره على انتشار الأمواج البنيوية.

أمكن من خلال الأبحاث [20, 23, 24] الحصول على نتائج جديدة فيما يتعلق بكل من عبارات التبدد الموافقة لانتشار الأمواج البنيوية وسرعة طورها وإمكانية نقلها للمعلومة، والحصول على أنواع جديد من الأمواج يختلف من حيث المنشأ عن الأمواج المعروفة في البلازما، ولمعرفة ماهية الأمواج البنيوية المنتشرة في السوائل الكوانتية تمت من خلال

الأبحاث [11 و 28 – 26] دراسة آلية الانتقال من الصوت الأول إلى الصوت الصفري في سائل فرمي باتباع طرق وتقنيات مختلفة .

### أهمية البحث وأهدافه :

تكمن أهمية هذا البحث من خلال إمكانية إجراء تعديل جوهري على المعادلة الحركية للبلازما الكمية التيمكن استخدامها للحصول على معطيات جديدة يمكن من خلالها الدمج بين سائل فيرمي والبلازما الكمية، ضمن مفهوم بلازما فيرمي الكمية، والحصول على عبارات تبدد تحتوي على بارامترات لانداو، والتي تفتقر إليها عبارات التبدد التي تصف انتشار الأمواج البنيوية في بلازما فيرمي الكمية، والتي تقود بدورها إلى تحقيق جملة من الأهداف من أهمها:

- 1 للحصول على صيغة جديدة لمعادلة الحركة يدخل فيها تابع التأثير المتبادل بين أشباه الجسيمات في بلازما فيرمي الكمية.
- 2 تشر المعادلة الناتجة وفق توابع كروية بتابعية بارامترات النشر للانداء ( $F_\ell^S$ ) من أجل ( $\ell = 0, 1, 2$ )
- 3 إيجاد عبارات التبدد للأمواج البنيوية بتابعية بارامترات النشر للانداء.
- 4 إيجاد كل من سرعة الطور وسرعة المجموعة للموجات المنتشرة والناتجة عن ظهور اضطرابات متعددة تتعلق ساعاتها ببارامترات النشر للانداء وتختلف قيمة كل سعة من هذه السعات باختلاف قيم هذه البارامترات .
- 5 تسليط الضوء على النتائج الجديدة المنجزة من خلال هذا البحث وإمكانية الاستفادة منها في متابعة هكذا نوع من الأبحاث .

### طرائق البحث ومواده :

تتلخص طريقة العمل المتبعة لإنجاز هذا البحث كالآتي:

- 1 استخدام معادلة الحركة المستخرجة حديثاً من قبل [20, 23, 24].
  - 2 تطوير هذه المعادلة بإدخال حد اضطرابي للطاقة من المرتبة الثانية.
  - 3 استخدام تابع التأثير المتبادل والمستخرج سابقاً بعد [9] إجراء تعديل جوهري عليه في سياق هذا البحث.
  - 4 إيجاد المعادلة الحركية بصيغة جديدة بعد إدخال التعديلات السالفة الذكر.
  - 5 تشر المعادلة الحركية الناتجة بتوابع كروية.
  - 6 إيجاد عبارات التبدد الموافقة لانتشار الأمواج البنيوية وسرعة انتشار هذه الأمواج في بلازما فيرمي الكمية.
- انطلقنا في عملنا هذا من معادلة الحركة المستخرجة حديثاً من قبل (Tsintsandze) وزملاءه [20, 23, 24] ، لما لها من أهمية بالغة في مجال دراسة طيف الطاقة في بلازما فيرمي الكمية وعلى وجه الخصوص طيف الطاقة لبوغوليوبوف [25] (Bogolyubov)، إذ يمكن من خلال هذه المعادلة إيجاد عبارات التبدد للأمواج البنيوية وعلى وجه الخصوص كل من الصوت الصفري والصوت الأول والثاني والثالث والرابع ... الخ .

تعطى معادلة الحركة المذكورة أعلاه [23] بالعلاقة الآتية:

تشير الرموز  $f$  و  $\vec{v}$  و  $\epsilon$  و  $\vec{p}$  و  $n_0$  و  $\delta n$  و  $\left(\frac{\delta f}{\delta t}\right)_{coll}$  و  $M^* = M(1 + F_1^s/3)$  إلى كل من تابع التوزع لأشياء الجسيمات وسرعتها والطاقة وكمية الحركة وكثافة أشباه الجسيمات في وضع التوازن وتغير الكثافة وحد تكامل التصادم، إضافة للعلاقة بين الكتلة الفعالة لشبه الجسيم  $M^*$  من جهة وكل من كتلته  $M$  وبارامتر لاندوا  $F_1^s$  من جهة أخرى.

لإيجاد الحلول الخطية لهذه المعادلة نفرض أن التغير  $(\delta f)$  في تابع التوزع أصغر بكثير من هذا التابع أي أن:  $(\delta f \ll f)$ ، حيث ينتشر الصوت الأول في الأوساط الهيدروديناميكية في حالة التوازن الموضعي عند تحقق الشرط الهيدروديناميكي  $(\omega\tau \ll 1)$ . تشير  $(\omega)$  إلى تواتر الموجة كما ويعطى تغير كل من تابع التوزع بالنسبة لكل من كميتي الحركة  $(\vec{p} \text{ و } \vec{p}')$  الموافقين لشبه جسيمين متفاعلين، والتدرج المكاني لتغير طاقة شبه الجسيم المدروس  $(\epsilon)$  على التوالي كالاتي :

$$\delta f_{\vec{p}} =$$

$$\theta_F = \left(\frac{\delta \epsilon_{p\sigma}^0}{\delta p}\right)_{p=p_F} : \text{سرعة أشباه الجسيمات على سطح فيرمي و } \epsilon_F : \text{طاقة فيرمي}$$

$u_{\vec{p}}$  و  $u_{\vec{p}'}$ : سعتي الاضطراب على سطح فيرمي والموافقين لشبه جسيمين متفاعلين على هذا السطح

$Q(\vec{p}, \vec{p}')$ : تابع التأثير المتبادل بين أشباه الجسيمات والمتعلق بكمية حركة شبه الجسيمين المتفاعلين

$$(\vec{p}, \vec{p}')$$

ويتألف هذا التابع في الحالة العامة من حدين جسيمي وسبيني يعودان بالأساس إلى حالي التناظر واللاتناظر

$$s(a) \text{ لتوافقيات ليجندر } p_\ell(\theta_{\vec{p}\vec{p}'}) \text{ على سطح فيرمي على التوالي.}$$

هذا ويعبر عن كل من  $\delta \epsilon$  و  $\delta f_{\vec{p}}$  بتابعية كل من التردد  $(\omega)$  والعدد الموجي  $(\vec{k})$  بالعلاقتين الآتيتين على

التوالي:

ومن ثم ، فإن:

$$\vec{v}_\Delta \left[ \left( \frac{3\hbar}{4p} \right) \right]$$

من جهة أخرى يمكن نشر كلٍ منتابع التأثير المتبادل بين أشباه الجسيمات  $Q(\vec{p}, \vec{p})$  والاضطرابين  $(u_{\vec{p}} \text{ و } u_{\vec{p}})$  على سطح فيرمي بتتابع كروية بالشكل الآتي:

$u_{\ell m}$  : سعة الاضطراب الموافقة لبارامترى النشر  $(\ell, m)$  .  
في دراستنا هذه يأخذ حد تكامل التصادم الشكل الآتي:

و  $A_\ell = \left( \frac{F_\ell^s}{2\ell+1} \right)$  و  $F_\ell^s$  : بارامترات لاندوا في حالة التناظر  $(s)$  و  $\ell$  : بارامتر النشر من أجل  $|m| \leq \ell$   
و  $\tau_\ell$  : زمن الاسترخاء المرتبط بالتصادم بين أشباه الجسيمات و  $Y_{\ell m}(\theta, \varphi)$  : تابع كروي.  
بتعويض العبارات أعلاه في معادلة الحركة (1) نحصل بعد سلسلة من العمليات الرياضية والاختصارات اللازمة لهذا الغرض على المعادلة التحليلية الآتية :

$$\sum_{\ell} u_{\ell m} Y_{\ell m}$$

$\delta = \left( \frac{3k^2 \hbar^2}{4p_F^2} \right)$  : الحد الكمي في معادلة الحركة والنتاج عن جهد بوم الكمي.

$\theta$  : الزاوية المحصورة بين كلٍ من  $(\vec{p}$  و  $\vec{p})$  الممتدين من مركز كرة فرمي إلى سطحها.  
 $\lambda = \frac{\omega}{k \cdot \theta_F}$  و  $(\omega)$  : التواتر الزاوي و  $(k)$  : العدد الموجي.

انطلاقاً من المعادلة (8) تم القيام بما تبقى من حسابات على مرحلتين كالاتي:

**المرحلة الأولى :**

بنشر المعادلة (8) من أجل بارامتر النشر  $(\ell = 0 ; 1)$  تم الحصول على المنشور الآتي :

$$\left\{ \lambda \right.$$

علماً أن:

لإيجاد طيف الطاقة الخاص بانتشار الصوت الأول في بلازما فرمي الكمية أنجزت المرحلة الأولى وذلك بضرب طرفي المعادلة (9) بكلٍ من  $(Y_{0,0})$  و  $(Y_{1,0})$  و  $(Y_{1,-1})$  و  $(Y_{1,1})$  على التوالي مما أدى إلى الحصول على أربع معادلات منفصلة، وبمكاملة طرفي كل معادلة من المعادلات الناتجة، على الزاوية المجسمة  $d\Omega = Y_{0,0}^2 \sin\theta d\theta d\varphi$  والقيام بالحسابات الرياضية اللازمة تم الحصول على المعادلات الآتية:

تحتوي هذه المعادلات على كلٍ من بارامترات لاندائو والحد الكمي ليوم  $\delta = \left(\frac{3k^2\hbar^2}{4p_F^2}\right)$  لإيجاد عبارات التبدد الموافقة لانتشار الأمواج البنيوية في بلازما فيرمي الكمية تم حذف كلٍ من  $(u_{0,0}$  و  $u_{1,0}$  و  $u_{1,1}$  و  $u_{1,-1})$  من المعادلات (11 – 13) للحصول على الطيف الطاقي الآتي :

#### المرحلة الثانية:

بنشر المعادلة (8) من أجل بارامتر النشر  $(\ell = 0; 1; 2)$  يتم الحصول على منشور مشابه لما هو وارد في العلاقة (9)، إلا أن المنشور الجديد يحتوي على حدود إضافية ناتجة عن توسيع دائرة النشر. بالقيام بإجراءات رياضية مماثلة لتلك التي أجريت في المرحلة الأولى، وذلك بضرب المنشور الناتج بكلٍ من  $(Y_{0,0})$  و  $(Y_{1,0})$  و  $(Y_{1,-1})$  و  $(Y_{1,1})$  و  $(Y_{2,0})$  و  $(Y_{2,1})$  و  $(Y_{2,-1})$  و  $(Y_{2,-2})$  و  $(Y_{2,2})$  على التوالي تنتج جملة من المعادلات علماً أن :

$$Y_{2,1} =$$

$$Y_{2,2} =$$

بمكاملة طرفي كل معادلة من المعادلات الناتجة، على الزاوية المجسمة  $d\Omega = Y_{0,0}^2 \sin\theta d\theta d\varphi$  والقيام بالحسابات الرياضية اللازمة يتم الحصول على جملة المعادلات الآتية:

$$\begin{bmatrix} \lambda - \frac{(1 + F_0^S)}{\tau_0} \\ \lambda - \frac{(1 + \frac{F_1^S}{3})}{\tau_1} \\ \lambda - \frac{(1 + \frac{F_2^S}{5})}{\tau_2} \end{bmatrix}$$

للحصول على عبارات التبدد، وبالتالي طيف الطاقة الموافق لانتشار الأمواج البنيوية في بلازما فيرمي الكمية، تم حذف سعات الاضطراب  $(u_{\ell,m})$  من جملة المعادلات [17 – 24]، وبما أن سعتي الاضطراب  $(u_{2,2})$  و  $(u_{2,-2})$  غير معدومتين حسب معطيات البحث، يكون للمعادلة (17) الحلين المتطابقين الآتيين :

تكون سرعة انتشار الموجة البنيوية الناتجة عبارة عن:



بحذف  $(u_{1,-1})$  و  $(u_{2,-1})$  من جملة المعادلتين (18) و (20) و  $(u_{1,1})$  و  $(u_{2,1})$  من المعادلتين (19) و (21) تنتج معادلتين من الدرجة الثانية بالنسبة للتردد  $(\omega)$  متطابقتين، ويعبر عنهما وفق عبارة التبديد الآتية:

$$\left(\frac{\omega}{k\vartheta_F}\right)^2$$

لهذه المعادلة حلولاً متطابقة من الشكل:

$$\omega_{1,-1} = \omega_{2,-1} = \omega_{1,1} = \omega_{2,1} = \left(\frac{k\vartheta_F}{2}\right) \left[ \frac{\left(1 + \frac{F_1^{\frac{2}{3}}}{\tau_1}\right) + \frac{\left(1 + \frac{F_2^{\frac{2}{5}}}{\tau_2}\right)}{\tau_2} \right] \left\{ 1 \pm \left[ 1 - \left(\frac{4}{5}\right) \frac{\left[ \frac{\left(1 + \frac{F_1^{\frac{2}{3}}}{\tau_1}\right) \left(1 + \frac{F_2^{\frac{2}{5}}}{\tau_2}\right) - \left[\left(1 + \frac{F_1^{\frac{2}{3}}}{\tau_1}\right) + \delta\right] \left[\left(1 + \frac{F_2^{\frac{2}{5}}}{\tau_2}\right) + \delta\right] \right]^{\frac{1}{2}}}{\left[ \frac{\left(1 + \frac{F_1^{\frac{2}{3}}}{\tau_1}\right) + \frac{\left(1 + \frac{F_2^{\frac{2}{5}}}{\tau_2}\right)}{\tau_2} \right]^2} \right] \right\} \quad (28)$$

وتعطي سرعة انتشار الموجة البنيوية الناتجة بالعلاقة الآتية:

$$\vartheta_{ph} = \left(\frac{\vartheta_F}{2}\right) \left[ \left(1 + \frac{F_1^{\frac{2}{3}}}{\tau_1}\right) + \frac{\left(1 + \frac{F_2^{\frac{2}{5}}}{\tau_2}\right)}{\tau_2} \right]$$

بمعالجة مماثلة لما هو وارد أعلاه يمكن حذف سعات الاضطراب  $(u_{0,0})$  و  $(u_{1,0})$  و  $(u_{2,0})$  من المعادلات (22 – 24) والحصول على معادلة من الدرجة الثالثة بالنسبة لـ  $(\omega)$  تعطي بالعلاقة الآتية:

$$\left(\frac{\omega}{k\vartheta_F}\right)$$

علماً أن:

$$\gamma = \left\{ \begin{array}{l} \end{array} \right.$$

للمعادلة (30) حلوياً من الشكل:

$\omega$

علماً أن:

## النتائج والمناقشة:

تمكنا من خلال هذا البحث من تطوير المعادلة الحركية والمعروفة جيداً في فيزياء البلازما، بإدخال تابع التأثير المتبادل إلى عبارة الطاقة، ومن ثم نشر المعادلة الناتجة بتوابع كروية بتابعية بارامترات لاندوا، إذ أمكن من خلالها الحصول على جملة من عبارات التبدد، والتي تفيد في تطوير دراسة انتشار الأمواج البنيوية في بلازما فيرمي الكمية بتابعية بارامترات لاندوا، وفي الحالة الخاصة والموافقة لإهمال كلٍ من حد تكامل التصادم والحد الكمي تختصر العلاقة (15) إلى الصيغة المبسطة الآتية:

تتطابق هذه العلاقة مع عبارة التبدد، و من ثم ؛ مع سرعة انتشار الصوت الأول في سائل فيرمي، التي تم التوصل إليها في العديد من الأبحاث نذكر منها [13 و 5]، وهذا ما يؤكد صحة النتائج التي تم التوصل إليها من خلال هذا البحث في مجال بلازما فيرمي الكمية، وإلى إمكانية الحصول على انتشار الأمواج البنيوية في السوائل الكوانتية انطلاقاً من البنى الرياضية المعتمدة لدراسة هكذا نوع من المواضيع في بلازما فيرمي الكمية، وبناءً عليها نتجت نتائج هذا البحث أشمل من سابقتها في مجال سائل فيرمي، والتي لا تتضمن الموجات الثانوية، إذ يلاحظ ظهور الموجات الثانوية ( $\omega_{1,-1}$  و  $\omega_{1,1}$ ) في العلاقة (14) و ( $\omega_{2,2} = \omega_{2,-2}$ ) في العلاقة (25) و ( $\omega_{2,1}$  و  $\omega_{1,1}$  و  $\omega_{2,-1}$  و  $\omega_{1,-1}$ ) في العلاقة (28) وهذا يشير بدوره إلى أهمية إدخال حد تكامل التصادم في هذه الدراسة نظراً لقدرته على إظهار الموجات الثانوية كتابع لكلٍ من أزمنة الاسترخاء وبارامترات لاندوا في الحالة الموافقة لكون بارامتر النشر ( $m \neq 0$ ).

تعد هذه النتيجة جديدة كل الجدة بالنسبة لانتشار الأمواج البنيوية في بلازما فيرمي الكمية، إذ تبين الدراسات السابقة في هذا المجال إمكانية انتشار أمواج بنيوية في بلازما فيرمي الكمية، إلا أنها لم تتناول ارتباط عبارات التبدد المستخرجة ببارامترات لاندوا، ومن ثم؛ صلة الوصل بين سرعة انتشار هذه الأمواج وبارامترات لاندوا. بإلقاء نظرة متأنية على عبارات التبدد التي حصلنا عليها من خلال هذا العمل، نلاحظ وجود ثلاث حزم من الأمواج لكلٍ منها سلوكاً مغايراً عن الأخرى. تتمثل الحزمة الأولى من خلال عبارتي التبدد (14) و (25)، التي لا تتأثر بإشارة البارامتر ( $m$ )، و الموافقة لكون ( $|m| = \ell$ )، الذي يؤكد مرة أخرى أن تابع التأثير المتبادل بين أشباه الجسيمات يتعلق بالحد المداري لتابع التأثير المتبادل، كما أن سرعة طور الموجة البنيوية المنتشرة تتناسب طردياً مع سرعة فيرمي وعكساً مع زمن الاسترخاء ( $\tau_\ell$ ) وبارامتر لاندوا ( $F_\ell^S$ ) فقط، ومستقلة عن بقية بارامترات لاندوا، هذا ويتميز هذا النوع من الأمواج بعدم قدرته على نقل الطاقة، وبالتالي عدم نقل أية معلومة تتعلق بهذه الموجة، وعلى العكس من ذلك فإن الحزمة الثانية تتميز بكون طيف الطاقة الموافق لبارامتر النشر ( $|m| \neq \ell$ )، يتعلق بجميع بارامترات لاندوا ذات الصلة، إضافة لارتباطه بزمن الاسترخاء ( $\tau_\ell$ ) من أجل ( $|m| \neq \ell$ )، كما هو موضح في العلاقتين (15) و (30) ويقدر الأمواج البنيوية الموصوفة من خلال عبارتي التبدد هاتين بنقل الطاقة، وعليه؛ المعلومة عبر البلازما الكمية نظراً لكون سرعة المجموعة غير معدومة.

تتجسد الحزمة الثالثة من الأمواج من خلال عبارة التبدد (30)، والموافقة لكون ( $\ell = 0, 1, 2$ ) و ( $m = 0$ )، التي لها ثلاثة حلول متميزة. يلاحظ من خلال عبارة التبدد هذه، أن سرعة انتشار الموجة البنيوية

ترتبط بجميع بارامترات لاندائو ( $F_p^S$ ) وبأزمنة الاسترخاء ( $\tau_p$ ) من أجل ( $\ell = 0; 1; 2$ ) كما هو واضح من خلال العلاقات (31 – 29).

يلاحظ من خلال العلاقة (34) أن للتردد ( $\omega$ ) حدين حقيقي وعقدي في الحالة العامة ، وهذا يدل على فقد الموجة للطاقة أثناء انتشارها عبر الوسط البلازمي، كما أمكن من خلال هذه العبارة الحصول على ثلاثة حلول ترتبط جميعها بكل من بارامترات لاندائو ( $F_p^S$ ) وأزمنة الاسترخاء ( $\tau_p$ ) من أجل ( $\ell = 0, 1, 2$ ) بصورة أشمل وأكثر تعقيداً، مقارنة ببقية النتائج المتحصل عليها من خلال هذا العمل، والذي يساهم بدوره في الحصول على نتائج يمكن من خلالها فهم آلية التأثير المتبادل بين أشباه الجسيمات في بلازما فيرمي الكمية من خلال التداخل الحاصل بين الموجات البنيوية المنتشرة، وعلاقتها بفقد الطاقة بصورة أعمق من ذي قبل.

### الاستنتاجات والتوصيات:

بإدخال تابع التأثير المتبادل إلى حد الطاقة في معادلة الحركة لبلازما فيرمي الكمية، تم الحصول بعد نشرها بتوابع كروية على صيغة جديدة لهذه المعادلة، والتي أمكن من خلالها إيجاد كل من طيف الطاقة وسرعة انتشار الأمواج البنيوية ضمن الشرط الهيدروديناميكي ( $\omega\tau_p \ll 1$ ) في بلازما فيرمي الكمية، كما تم التوصل إلى نتيجة مفادها أن طيف الطاقة الناتج، متنوع وغني بالمعاني الفيزيائية، ويرتبط بكل من زمن الاسترخاء وبارامترات لاندائو وفقاً لقيم البارامتر ( $m$ )، كما لوحظ استقلالية طيف الطاقة، ومن ثم ؛ سرعة الطور عن إشارة ( $m$ )، من أجل ( $|m| = \ell$ )، يعود السبب في ذلك إلى كون بارامترات لاندائو المستخدمة تحقق حالة التناظر لتابع التأثير المتبادل، إضافة لذلك تم الحصول على باقة من أطراف الطاقة، يسلك بعضاً منها سلوكاً مستقلاً عن بقية الأطراف ويسلك البعض الآخر سلوكاً جماعياً من أجل ( $|m| \neq \ell$ )، وبناءً عليه يمكن القول : إن الاستمرار في هذا المجال يفتح آفاقاً واسعة حول سلوك هكذا نوع من السوائل الكوانتية والتعرف على خواصها الفيزيائية والجوانب التطبيقية المحتملة، بناءً على النتائج السابقة يقدم هذا البحث معلومات جديدة يمكن الاستفادة منها في دراسة الخواص الكهربية والحرارية للوسط البلازمي في الحالة المستقرة كالحرارة النوعية والطواعية المغناطيسية، والأفلام الرقيقة لـ ( ${}^3H_e$ ) من خلال العلاقة بين سرعة انتشار هذه الأمواج والاستقطاب وفي الحالة الانتقالية والموافقة لأية جملة مكونة من جسيمات فيرمي بصرف النظر عن شدة تأثيرها، طالما أن أشباه الجسيمات تخضع لإحصاء فيرمي. كما يساهم انتشار الأمواج البنيوية في بلازما فيرمي الكمية في تشخيص البلازما بصورة أكثر دقة، مع أن هنالك جوانب كثيرة وهامة لم نتطرق إليها من خلال هذا البحث .

نظراً لأن هذا البحث يركز على مسألة نظرية بحتة تختص فقط بالبحث عن صيغة رياضية يمكن من خلالها الحصول على نتائج ذات معنى في مجال الأمواج البنيوية، والذي تطلب الكثير من الوقت والجهد، وعليه ؛ نوصي

1 بمتابعة هذا البحث لدراسة تأثير الكتلة الفعالة على انتشار الأمواج البنيوية، التي لها دور كبير في مختلف التطبيقات الفيزيائية.

2 الاستفادة من هذه النتائج وتحليلها بيانياً باستخدام برامج خاصة لهذا الغرض.

المراجع :

- [1] LANDAU, L. D. Soviet J. Phys. JETP 8, p70, ( 1959 ) .
- [2] LANDAU, L. D. *The Theory of Fermi Liquid*. Zh. EkSP. Teor. Fiz. 30, 1058 ,1956  
[Engl. Transl Soviet J. Phys. JETP V3 p. 920, ( 1957 ) ] .
- [3] KLIMONTOVICH, Yu. L. ; SILIN, V. P. , Zh. EKSP. Teor. Fiz. 23, 1952, 151 .
- [4] SILIN, V. P. ;Zh. EXSP. Teor. Fiz. 33, 1957, 1227 ( Sov. Phys.- JETP 6 1958, 945 .
- [5] ABRIKOSOV, A. A. ; KHALATNIKOV, I. M. , Rept. Progr. Phys. 22, 1959, 329 .
- [6]BOHN, D. ; PINES, D. *in Plasma physics*. edited by Drummond, J. E. New York ; McGraw- Hill, 1961 .
- [7] PLATZMANN, W. ; Wollff, P. A. *Supplement 13 Solid State Physics*, New York Academic Press Chpters 2,6, 1973, 220 .
- [8]PETHECK, G. J., Phys. Rev. 185, 1969 , 384 .
- [9] YING, S. C. ; QUEEN, J.J. *Degenerate Electron Liquid*. Phys. Rev. Vol. 180, No. 1, 1969, 456 .
- [10]SILIN, V. P. *FizMetall and Metalloned, Spin Wave*, Soviet. Phys. JETP 29, 1970 , 681
- [11]EGILSSON, E. ; PETHECK, G. J., *The Transition from First Sound to Zero Sound*  
*In a normal Fermi Liquid, Journal of Low Tempratur. Phys.* Vol. 29 , No s 1/ 2, A 1977.
- [12] BAYM, G. ; PETHECK, G. J. , *The Theory of Liquid and solid Helium*. ENNEMAN & KETTERSON, eds. Wiley, New York, 1978, P 1.
- [13]BAYM, G. ;PETHECK, G. J. *Landau Fermi Liquid Theory ; Concepts and A applications*New York, Wiley, 1992, 60 – 127 .
- [14]BRODIN, G.; MARKLUND, M. *Quantum, Spin and QED Effects in Plasmas* ,<arXiv : 0804.0335v1. [ Physics. Plasma- ph ] 2 Apr 2008> .
- [15] BORDIN, G. and MARKLUND, M. ; ELIASSON, B. and SHUKLA, P. K. Phys. Rev. Lett. 98, 125001 ( 2007 ) .
- [16] BORING, M. G. ; HARDING, Astrophys. J. 547, 2001, 929 .
- [17] BESKIN, V. S ; GUREVICH, A. V. ; ISTOMIN, YA. N. *Physics of The polars Magnetosphere*. University, Cam bridge, University, Cam bridge, 1993 .
- [18] LUNDSTRM et al, Physics , Rev. Lett. 96, 083602, 2006 .
- [19] MARKLUND, M. ;HUKLA, P. K. Rev. Mod. Phys. 78, 2006, 591 .
- [20] TSINTSADZE, N. L. and TSINTSADZE, N. L. , Europhys. Lett. 88, 3500 , 2009 .
- [21] TSINTSADZE, N. L. and TSINTSADZE, N. , 403 L. , J. Plasm PHYS. 76,2010 .
- [22] SHUKLA, P. K. and ELIASSON, B. Phys. USP 53, 51, 2010, and references therein .
- [23] TSINTSADZE, L.N. and TSINTSADZE, N.L., J. Plasma phys., 76, 403 ( 2010 )  
>> e-Print arxiv : Physics / 0911 . 4788 v1.

- [24] NODAR, L. TSINTSADZE ; LEVEN, N. TSINTSADZE ; REHMAN, G.MURTAZ, *New Longitudinal Wave in Electron – Positron – Ion Quantum Plasmas.VI.1 B*, 1008.2258 ( 2010 ) .
- [25] NODAR, L. TSINTSADZE ; LEVEN, N. TSINTSADZE, *New Kinetic Equation and Bogolyubov Spectrum in a Fermi Quantum Plasmas*, <arXiv: 0903.5368 ,v1. [ Physics. Plasm-Ph], 31 Mar2013>.
- [26] SHOHEI, W., AIKO, O., TETSURA, N., *Zero Sound and First Sound in normal Fermi Systems*,<arXiv: 0910.3283 v1. [ Cond-mat.Quant- gas ] 170 ct 2009 > .
- [27] ANDERSON, R.H., LI, D.Z., MILLER, M.D., *J. Low Temp. Phys.* 169, 291 ( 2012 )
- [28] DAVID, Z., LI, R. H., ANDERSON, R.H., MILLER, M.D., ETHAN, C., *Competing Solutions of Landau’s Kinetic equation for Zero Sound and First Sound in thin Arbitrarily Polarized Fermi – Liquid films*,<arXiv : 1403.o643 v1. [ Cond-Other ] 4 Mar 2014 > .