

انتقال الموجات واطنة التردد في البلازما المغبرة الممغنطة

د. حامد حافظ مريبط*

تاريخ قبول النشر 2008/3/24

الخلاصة:

تم القيام بنمذجة عديدة لدراسة الأمواج واطنة التردد في البلازما المغبرة بأخذ حالتين خاصتين لاتجاه انتشارها فيما يخص المجال للمجال المغناطيسي هما: عندما يكون الانتشار بموازاة المجال $K//B$ ويدعى بالنمط الصوتي، والثانية عندما يكون الانتشار عمودي على المجال $K \perp B$ ويدعى بالنمط السايكلوتروني. فضلا عن ذلك فإن كلا من النمطين يقسم على نمطين اعتمادا على مدى الترددات. تمت دراسة معامل ترابط كولوم Γ مع كل من درجة الحرارة T وكثافة حبيبات الغبار N_d وكذلك شحنة الحبيبات Q_d .

وقد درست الأمواج واطنة التردد في البلازما المغبرة بوجود حبيبات غبار سالبة الشحنة. ولوحظ أن وجود غبار مشحون يؤدي إلى تحويل أمواج الأيون الصوتية وأمواج سايكلوترون أيون الألكترونات من خلال شرط التعادل. على الرغم من أن حبيبات الغبار لا تشارك في حركات الموجة. وعند الأخذ بنظر الاعتبار حركات حبيبات الغبار في التحليلات تظهر أنماط الغبار الموجية.

1- المقدمة:

وتبدو البلازما بهذه الموصفات وكأنها بحالة سائلة أو صلبة. وهنا تظهر مواد جديدة تماما إذ يلاحظ انتقال طور الحالة والتركيب البلوري. وهذا يفتح مجالا جديدا في دراسة فيزياء الحالة الصلبة مثل الانصهار والإحساء والعيوب البلورية.

إن الغرض من دراستنا هذه هي دراسة بعض الأمواج واطنة التردد في البلازما المغبرة، ومدى تأثير حبيبات الغبار على بعض الأنماط المعروفة في البلازما والأنماط الجديدة المتولدة

2- الترابط في البلازما المغبرة

(Coupling in Dusty Plasma)

إن النسبة بين الطاقة الكامنة إلى الطاقة الحركية للجسيمات تعطى بالعلاقة (Oliver; 2004):

$$\Gamma = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 K_b T_p b} \quad (1)$$

إذ: Γ = معامل ترابط كولوم، Q = شحنة الجسيمة، ϵ_0 = سماحية الفراغ، K_b ثابت بولتزمان، T_p = درجة حرارة الجسيمة، b = المسافة ما بين الجسيمات وتعطى بالعلاقة:

$$b = \left(\frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3}$$

إذ n كثافة الجسيمات، ولقد وجد بأنه

عندما تزيد Γ عن قيمة حرجة Γ_c ($\Gamma_c=178$) يكون هنالك انتقال في طور الحالة وتتحول حالة المادة إلى الحالة الصلبة مكونة شبكية كولوم [Anderson, et al 1995]. وفي الظروف الاعتيادية وعندما تحوي البلازما على الكترولونات وايونات فقط فإن $\Gamma \gg \Gamma_c$. فالبلازما ضعيفة الترابط هي التي يتحقق فيها الشرط $\Gamma \gg \Gamma_c$. إذ إن ذرات الغبار بإمكانها أن تكتسب كمية كبيرة من الشحنة كما مر سابقا، فإنه من الممكن لـ Γ أن تزيد عن Γ_c حتى في درجة حرارة الغرفة والكثافة الاعتيادية. وعندما تصبح $\Gamma < \Gamma_c$ فإن البلازما تدخل منطقة الترابط الشديد وتصبح

تعد البلازما على نحو عام مجمعا من الأيونات والإلكترونات، ولكن البلازما في الحقيقة وفي أحيان كثيرة تحوي على جسيمات دقيقة تدعى بالغبار، وتدعى مثل هذه البلازما بالبلازما المغبرة "dusty plasma". إن جسيمات الغبار في البلازما هي جسيمات غير مألوفة بالمقارنة مع بقية مكونات البلازما فحجمها يتراوح بين جزء من المايكرون إلى عدة مايكرونات وكثافتها وشحنتها تتدرج لمدى واسع، فكثافتها تبلغ (10^{-2} - 10^{-15} gm) وشحنتها هي q_d (10^3 - 10^6 e) (Salimullah; 1999)

وقد ازداد الاهتمام في موضوع البلازما المغبرة ; Spitzer, 1995; Bliokh; 2000; Kou; 1978; Shukla; 1992; Mendis and Goert; 1989; Rosenberg; 1994; (Northrop, 1992). بسبب تطبيقاتها الواسعة في مجال الفضاء والفلك مثل السدم والغيوم الجزيئية والأوساط ما بين النجوم وفي المذنبات. فضلا عن تطبيقاتها الصناعية والمختبرية كالقشط بالبلازما والإلكترونيات الدقيقة. وربما يعد أحدث تطور في مجال البلازما المغبرة هو إمكانية تبلورها [Morfill et al 1998] مكونة ما يسمى ببلاورات البلازما. وفيها تزرع حبيبات من الغبار وهي إما أن تبرز من خارج البلازما أو تنتمي في داخلها. وحبيبات الغبار هذه لها القابلية على كسب مقدار كبير من الشحنة السالبة مكونة ما يسمى بشبكية كولوم كما توقعها نظريا الباحث (Ikezi; 1986) وقد عزاها إلى قدرة حبيبات الغبار على كسب عدد ضخم من الإلكترونات، وهذا يؤدي إلى أن يصبح معدل الطاقة الكامنة لحبيبات الغبار أكبر بكثير من معدل طاقتها الحركية. وهذا ينتج عنه تغير كبير في خصائص البلازما إذ تتكون بلازما ذات ترابط شديد حتى في درجات الحرارة والكثافة الاعتيادية مع إن هذا النوع من البلازما لا يوجد إلا في ظروف غير اعتيادية من درجات حرارة منخفضة جدا وكثافات عالية جدا.

$$\frac{\partial n_a}{\partial t} + \nabla \cdot (n_a V_a) = 0 \quad (3)$$

$$n_a m_a \left[\frac{\partial v_a}{\partial t} + (v_a \cdot \nabla) v_a \right] = q_a n_a (\mathcal{E} - v_a \times B) \quad (4)$$

ولأمواج واطئة التردد كالتي أفترضناها فإنه يمكن إهمال قصور الإلكترون، وكذلك يمكن أخذ حركة الإلكترون وهي فقط باتجاه B وهذا يعني أن الإلكترونات في توازن بولتزمان، أي إن :

($K_b T_e = e n_e \nabla \Phi$) فضلا عن معادلتى الاستمرارية والزخم السابقتين، و يستخدم شرط التعادل (المعادلة 2) في حالتي الاتزان والاضطراب كذلك. ونفرض أن الاضطراب في الكميات حول موضع الاتزان هو بشكل: $\exp[i(K_x x + K_z z - \omega t)]$ وبعد إجراء التعويضات والعمليات الرياضية اللازمة نحصل على علاقة التشتت الآتية:

$$\frac{G}{\xi_i^2 - G} + \varepsilon Z_d^2 \mu_{id} \frac{H}{\xi_i^2 - \tau_{di} \mu_{id} H} - \tau_{ie} (1 - \varepsilon Z_d) = 0 \quad (5)$$

$$G = \left[\frac{\xi_i^2}{\xi_i^2 - 1} \right] K_x^2 \rho_i^2 + K_z^2 \rho_i^2 \quad (5a)$$

$$\rho_i = \frac{V_{ti}}{\Omega_{ci}}$$

$$H = \left[\frac{\xi_i^2}{\xi_i^2 - (\xi_i / \xi_d)^2} \right] K_x^2 \rho_i^2 + K_z^2 \rho_i^2 \quad (5b)$$

علما أن

$$\mu_{id} = m_i / m_d, \quad \xi_d = \omega / \Omega_{cd}, \quad \xi_i = \omega / \Omega_{ci}$$

$$\varepsilon = n_{d0} / n_{i0}, \quad \tau_{ie} = T_i / T_e, \quad \tau_{di} = T_d / T_i$$

بحيث أنه وبعد استخدام المعادلة (2) نحصل على:

$$n_{e0} = (1 - \varepsilon Z_d) n_{i0}$$

والعلامة "0" الموجودة في أسفل كل كمية تعني أن هذه الكمية في حالة الاتزان (المرتبة صفر) والكمية (εZ_d) تمثل جزء الشحنة السالبة لكل وحدة حجم موجودة على الغبار. وهنالك حالتان خاصتان لانتشار الموجة وهي بموازاة المجال B/K وهو ما يسمى بالنمط الصوتي والعمودي على المجال $\bar{B} \perp \bar{K}$ الذي يسمى بالنمط السايكلوتروني.

2- الانماط الصوتية Acoustic ($k_x=0$) modes وهي على نوعين:

أ- نمط أيون غبار صوتي ($\omega \gg k_z V_{td}$) dust ion acoustic mode (DIA)

وهو نمط الأيون الصوتي الاعتيادي والمحور بوجود غبار ذي شحنة سالبة (D'Angelo, 1990, Shukla, 1992) ويشكل الغبار في هذه الحالة كقاعدة ثابتة ($m_d \rightarrow 0$)، ونحصل على علاقة التشتت الآتية:

$$\frac{\omega}{K_z} = \left[\frac{K_b T_i}{m_i} + \frac{K_b T_e}{m_i (1 - \varepsilon Z_d)} \right]^{1/2} = C_{s,d} \quad (6)$$

خصائص البلازما مشابهة لخصائص الحالة الصلبة وتكون ما يسمى ببلورات كولوم. وعندما تكون قيم Γ معتدلة تبدو خصائص البلازما المغبرة وكأنها بحالة سائلة.

3 - شروط التعادل في البلازما المغبرة:

أن وجود حبات غبار مشحونة في البلازما كصنف ثالث فضلا عن الإلكترونات والأيونات بإمكانها أن تغير من مواصفات البلازما بسبب القيمة غير الاعتيادية لنسبة شحنتها إلى كتلتها، أن حبيبات الغبار بإمكانها تجميع الإلكترونات والأيونات معاً. ولكن لأن الإلكترونات بإمكانها التحرك بانسيابية أكبر من الأيونات، فإن الحبيبات تميل لأن تكتسب شحنة سالبة. وبالنتيجة فإن توازن الشحنة سوف يتغير، بحيث أن شرط التعادل في البلازما بوجود حبيبات مشحونة سالبة يصبح:

$$n_i = n_e + Z n_d \quad (2)$$

أذا n_d, n_e, n_i هي كثافة الأيونات، الإلكترونات، حبيبات الغبار على التوالي. و $Z = q_d/e$ هي النسبة بين شحنة الحبيبة (q_d) إلى شحنة الإلكترون e أن وجود غبار مشحون يمكن أن يكون له تأثير كبير على خصائص الأمواج الاعتيادية للبلازما، وحتى في الترددات التي لا تشترك فيها حبيبات الغبار في حركة الموجة. وعند الأخذ بنظر الاعتبار الترددات التي تقل بكثير عن الترددات المميزة للإلكترونات وأيونات البلازما فإن أنماطاً جديدة من الترددات ستظهر في علاقة التشتت المشتقة من المعادلات الحاكمة في البلازما الحاوية على ثلاثة أصناف وهي الإلكترونات والأيونات وحبيبات الغبار، وبعض من هذه الأنماط مشابهة إلى حد ما للأنماط المعروفة في البلازما ذات الأيونات السالبة، مع فوارق مهمة تميز البلازما المغبرة.

4- الأمواج الكهروستاتيكية واطئة التردد في البلازما المغبرة

4-1- علاقة التشتت:

إن علاقة التشتت الخطية للأمواج الكهروستاتيكية واطئة التردد في البلازما المغبرة الممغنطة و يمكن اشتقاقها من مفهوم المانع المتعدد [D'Angelo, 1990] ونعني بالترددات الواطئة هي الترددات المقاربة أو الأقل من تردد الأيون السايكلوتروني (Ω_{ci}) وتردد أيون البلازما (ω_{pi})، لنفرض أن بلازما مكونة من ثلاثة عناصر موزعة بانتظام داخل مجال مغناطيسي منتظم ممتد باتجاه محور Z بالإحداثيات الكارتيزية. ولنفرض أن كتلة كل عنصر هي m_a ، وشحنته هي q_a ، ونسبتها إلى

شحنة الإلكترون هي $Z_a = q_a/e$ ، وكثافته تبلغ n_a ، ودرجة حرارته T_a وسرعته الحرارية ($k_b T_a$)^{1/2} ولنفرض أن جميع حبيبات الغبار لها الكتلة نفسها m_d والشحنة السالبة نفسها. أن عناصر البلازما الثلاثة يمكن وصفها بمعادلتى الاستمرارية والزخم الآتيتين (Chen; 1988):

يمثل تغير Γ كدالة لكثافة حبيبات الغبار N_d عندما تكون شحنة الحبيبة Q_d ثابتة عند درجة حرارة الغرفة $T_d = 300K$ ، ويمكن ملاحظة ان Γ تصل الى القيمة الحرجة عندما تكون $9.1 \times 10^5 m^{-3}$ كدالة لشحنة الحبيبة Q_d بثبات كثافة الحبيبات N_d وفي درجة حرارة الغرفة $T_d = 300K$ ، ويلاحظ ان Γ تصل الى قيمتها الحرجة عندما تكون قيمة الشحنة

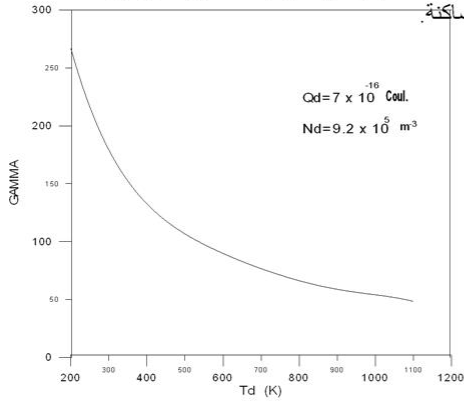
$$7 \times 10^{-17} Q_d \geq \text{Coul} \quad \text{2- دراسة الترددات الواطئة في البلازما المغيرة}$$

الشكل (4) يمثل تغير سرعة الطور لنمط الغبار الصوتي DA كدالة لكمية الشحنة السالبة التي تحملها حبيبات الغبار لوحدة الحجم $(\epsilon Z_d = 1 - n_e / n_i)$ ، ويلاحظ ان سرعة الطور تزداد بعلاقة غير خطية مع (ϵZ_d) ، وقيمتها قليلة جدا $10^{-3} m./\text{sec}$ 3.2×10^{-3} - وهذا يعني انه عندما يكون الطول الموجي قصير $(\sim 3 \text{ mm})$ تكون ترددات هذا النمط قليلة جدا $(9-13 \text{ Hz})$ ولذلك تشترك حبيبات الغبار في حركات الموجة. وهذا النمط هو نمط جديد لا يوجد في البلازما الاعتيادية ويظهر نتيجة وجود حبيبات الغبار السالبة في البلازما.

الشكل (5) يوضح تغير سرعة الطور لنمط DIA كدالة للكمية ϵZ_d ويلاحظ زيادة سرعة الطور مع زيادة الشحنة السالبة على الحبيبات ولا تشترك حبيبات الغبار في حركات الموجة لهذا النمط.

الشكل (6) يمثل علاقة التشتت الخطية لنمط EDC ويلاحظ انه للأطوال الموجية القصيرة

$(\lambda \sim 1 \text{ mm})$ يكون التردد قليلا جدا (22 Hz) ففي هذا النمط تشترك حبيبات الغبار في حركات الموجة وهذا نمط جديد في البلازما ناتج عن تأثير وجود حبات الغبار السالبة في البلازما كذلك الشكل (7) يوضح علاقة التشتت لنمط EDIC ويلاحظ انه في الأطوال الموجية القصيرة $(\sim 1 \text{ mm})$ فان التردد يكون $(\sim 2.5 \times 10^7 \text{ Hz})$ وهي مقاربة للتردد السايكلوتروني لايون (Ω_{ci}) ولهذا لا تشترك حبيبات الغبار في حركات الموجة ويمكن عدها ساكنة.



الشكل (1) معامل ترابط كولوم كدالة لدرجة الحرارة

اذ $C_{s,d}$ هي سرعة صوت الأيون المحور-الغبار dust-modified ion acoustic speed

ب- نمط الغبار الصوتي $(\omega \ll k_z V_{th})$

DA-Dust Acoustic mode (DA)

وتردد هذا النمط قليل جدا، وتشترك فيه حبيبات الغبار في حركات الموجة مباشرة (Roa et al, 1990) وعلاقة التشتت لهذا النمط هي:

$$\frac{\omega}{K_z} = \left[\frac{K_b T_d}{m_d} + \epsilon Z_d^2 \frac{K_b T_i}{m_i} \frac{1}{1 + (T_i / T_d)(1 - \epsilon Z_d)} \right]^{1/2} = C_{DA} \quad (7)$$

اذ C_{DA} هي سرعة الغبار الصوتية

dust acoustic velocity

4-3- الأنماط السايكلوترونية $(k_x \ll k_z)$

Cyclotron modes

تنتشر هذه الأمواج بصورة عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي B تقريبا، وهي على نوعين:

أ- نمط سايكلوترون ايون غبار

الالكتروستاتيكي $(\omega \sim \Omega_{ci})$

Electrostatic dust ion cyclotron mode (EDIC)

فعندما يكون تردد الموجة مقاربا لتردد الأيون السايكلوتروني $(\omega \sim \Omega_{ci})$ يمكن إهمال حركة حبيبات الغبار وعدها ساكنة، وتصبح علاقة التشتت كما يأتي:

$$\omega^2 = \Omega_{ci}^2 + K_x^2 \left[\frac{K_b T_i}{m_i} + \frac{K_b T_e}{m_i (1 - \epsilon Z_d)} \right] \quad (8)$$

ب- نمط سايكلوترون الغبار الكتروستاتيكي (EDC)

Electrostatic dust - cyclotron mode

في هذا النمط يؤخذ بنظر الاعتبار حركات حبيبات الغبار الممغنطة، وعلاقة التشتت هي:

$$\omega^2 = \Omega_{ci}^2 + K_x^2 \left[\frac{K_b T_d}{m_d} + \epsilon Z_d^2 \frac{K_b T_i}{m_i} \frac{1}{1 + (T_i / T_d)(1 - \epsilon Z_d)} \right] \quad (9)$$

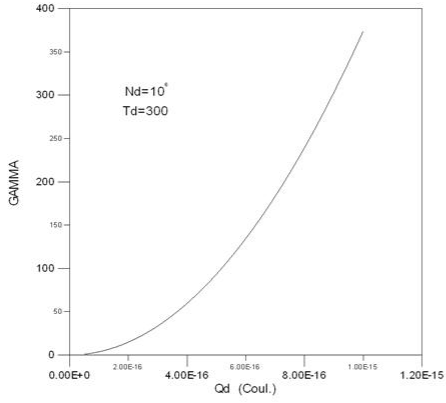
5- أ نموذج المحاكاة Simulation Model

تم إجراء المحاكاة على البلازما المكونة من أيونات البوتاسيوم (K^+) والإلكترونات، وفرضت درجة حرارة الإلكترونات $(T_e = 2.5 \text{ eV})$ ، المحصورة في مجال مغناطيسي شدته $B = 0.35 \text{ T}$ ، وقد استخدمت مادة سليكات الألمنيوم كغبار داخلها. ويتراوح حجم حبيبات الغبار من جزء من المايكرون الى عدة مايكرونات وحدث درجة حرارة حبيبات الغبار مساوية لدرجة حرارة الأيونات الموجبة $(T_i = T_d)$ ، وكتلة حبيبات الغبار $md = 3.6 \text{ Kgm} \times 10^{-16}$ وقد اعتمدت هذه القيم اعتمادا على ما جاء في المصدر (Ganguli et al, 2001)

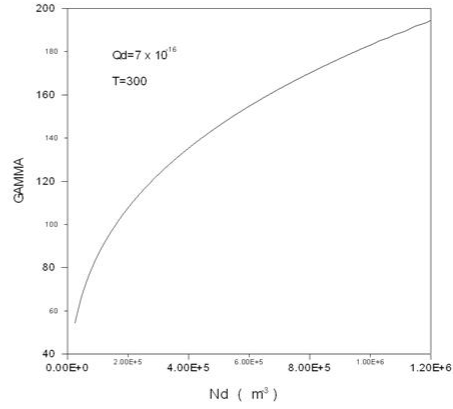
6- المناقشة:

1- دراسة معامل ترابط كولوم Γ

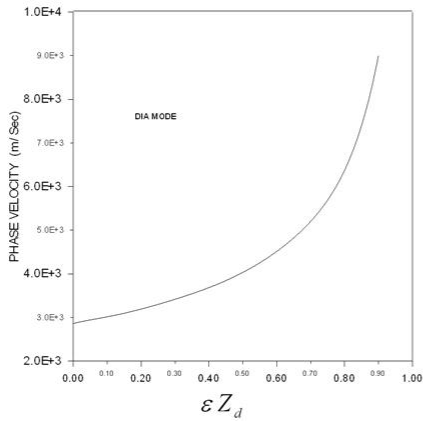
الشكل (1) يبين تغيير معامل ترابط كولوم Γ مع درجة الحرارة ويلاحظ ان العلاقة تتناقص اسيا مع درجة الحرارة فتصل الى قيمتها الحرجة (~ 178) في درجة حرارة الغرفة تقريبا (300 K) . الشكل (2)



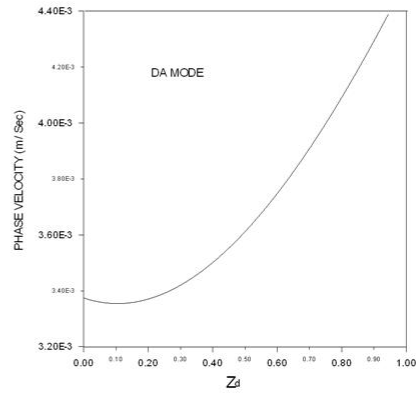
الشكل (3) معامل ترابط كولوم كدالة لشحنة الجسيمية



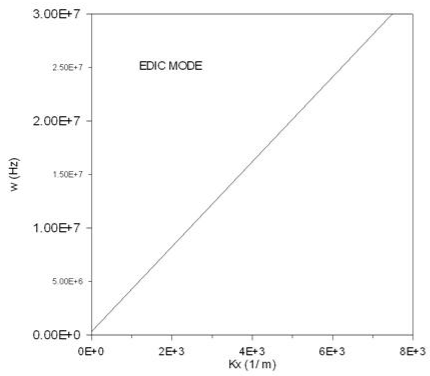
الشكل (2) معامل ترابط كولوم كدالة كثافة الجسيمات



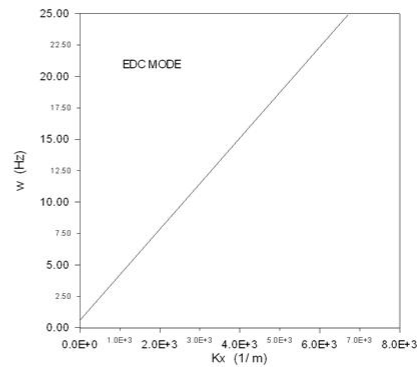
الشكل (5) سرعة الطور لنمط الغبار الصوتي DIA كدالة لكمية الشحنة السالبة التي تحملها حبيبات الغبار لوحدة الحجم ϵZ_d



الشكل (4) سرعة الطور لنمط الغبار الصوتي DA كدالة لكمية الشحنة السالبة التي تحملها حبيبات الغبار لوحدة الحجم ϵZ_d



الشكل (7) علاقة التشتت الخطية لنمط EDIC



الشكل (6) علاقة التشتت الخطية لنمط

7 - الاستنتاجات:

رأينا من خلال بحثنا المختصر هذا كيف ان البلازما المغبرة تعد الحالة الأكثر عمومية للبلازما، فيمكن عن طريقها دراسة بلازما الفضاء والفلك والبلازما الصناعية والمختبرية. ان وجود حبيبات غبار سالبة الشحنة في البلازما يكون له تأثير كبير على أنماط

- البلازما فهي إما أن تحور الأنماط الموجودة كنمط أيون الغبار الصوتي (DIA) و نمط سايكولوجرون أيون غبار الالكتروستاتيكي EDIC واما ان تظهر أنماط جديدة مثل نمط الغبار الصوتي DA ، و نمط سايكولوجرون الغبار الالكتروستاتيكي EDC. أن الأنماط الجديدة هي أنماط ذات اطوال موجية قصيرة (عدة ملليمترات) وترددات قليلة جدا (عدة نذبذبات) ولاشراك حبيبات الغبار في حركات أمواج هذه الأنماط.
- المصادر**
- 1- Anderson H.M.,Badovanov S.B., 1995 "Low Frequency Waves in Dusty Plasmas",J.National Inst.Standard Tech. ,100(4):46-49.
 - 2- D'Angelo N.,1990,"Dusty Plasma Studies in the Gaseous Electronic Conference Reference cell",Planet Space Sci. ,38(19):126-131.
 - 3- Chen F.F.,1988,"Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion "2nd edition,Plenum press,New York, p.273.
 - 4- Ganguli G.,Merlino R.,Sen A.,2001 ,"Oscillation in a Dusty Plasma Medium", Washigton .
 - 5- Bliokh P,Sinitsn V,Yaroshenko V ,1995,"Dusty and Self Gravitational Plasmas in space",Kluwer,Dordrecht ,p.37.
 - 6- Goertz G. K.,1989,"dusty plasma in the solar system",Rev.Geophys., 27 (271):57-59.
 - 7- Ikezi H.,1986,"Coulomb solid of small particles in plasmas",Phys. Fluids, 29(7): 1764-1768.
- 8- Kuo,F.S.Chinese 2000,"Numerical simulation of wave propagation in crystallized dusty plasmas: in one dimensional model" J. phys., August, 38(4):315-325.
 - 9- MendisD.A.,Rosenberg M.,1994 ," Ionization Equilibria in Dusty Environments",Annu.Rev.Astron.Astronoph. , 32(5):419-424.
 - 10- Morfill G.E.,Thomas H.M.,1998," Physics of Dusty Plasmas",p.184, AIP Conference Proceedings 446, Woodbrug, New York,p.431-435.
 - 11- Northrop T.G.,1992," Conditions of Phase Transition in Dusty Plasma", Phys. Scripta, 45, 475
 - 12- Oliver,B.Dietmar P.Alexandar, 2004 ,"Study of Coulomb Parameter in Dusty Plasma",Physcal Review Letters, 93(16):92-98.
 - 13- Rao N.N.,Shukla P.K.,Yu M.,1990 ,"Low Frequency Waves in Dusty Plasma",Planet Space Sci.38(10) :543-546.
 - 14- Salimullah M.,Salahuddin M,Mamun A.A.,1999,"Low Frequency Drift Wave Instabilities in a Magnetized Dusty Plasma",Astroph. Space Sci. ,262(3):215-222
 - 15- Shukla P.K.,SilinV.P,1992," Dustion Acoustic Wave",Phys.Scripta,45 (8):508-513.
 - 16- Spitzer L.,1978,"Physical Processes in the Interstellar Medium", Wily, New York, pp.157-162.

Proparyation of Low frequency microwave in dusty Plasma

H.H.Murbat

Abstract

The numerical simulation for the low frequency waves in dusty plasma has been studied. The studying was done by taking two special cases depending on the direction of the propagation of the wave:First, when the propagation is parallel to the magnetic field $K//B$,this mode is called acoustic mode.Second,when $K \perp B$ this mode is called cyclotron mode.In addition, every one of the two modes divided into two modes depending on the range of the frequency.The Coulomb coupling parameter Γ was studied, with temperature T ,density of the dust particles N_d ,and the charge of the particle Q_d .The low frequency electrostatic waves in dusty grains were studied. Also, the properties of ion-acoustic waves and ion-cyclotron waves are shown to modify even through the dust grains do not participate in the wave dynamics. If the dust dynamics induced in the analysis, new " dust modes " appear.