أن ظاهرة الأمواج في الطبيعة تظهر أما بصورة أمواج صوتية في وسط مثل الهواء والتي تكون

قابلة للسمع بواسطة الإذن البشرية أو تكون أمواج ضوئية نحصل عليها بواسطة الرؤيا وكذلك

التذبذبات في المواد الصلبة التي تعطي الموسيقى من خلال ظاهرة دراسة الموجة التي تعطي مباشرة

الخصائص المرنة للمادة **.** كذلك يمكن تعريف سرعة الموجة مثل الأمواج الصوتية في الهواء أو

الأمواج الضوئية في الفراغ التي تملك خصائص اضطرابية بزيادات مختلفة التردد تنتشر مع سرع

أحادية لسرعة الصوت أو لسرعة الضوء وعلى التعاقب ويكون جزء الاختلاف على سطح الأمواج

من حزمها عندما تكون الأمواج الجيبية من ترددات مختلفة تمتلك سرعة انتشار مختلفة والذي يدعى

التشتت والذي يظهر كضوء محلل في زجاج الموشور بألوان مختلفة **.**

**فيزياء البلازما**

94

الأمواج الضوئية والأمواج الصوتية مختلفة بطريقة التردد بينما تكون مستعرضة لاتجاه الانتشار في

الضوء وطولية الانتشار في الصوت بينما في المادة الصلبة تكون الأمواج مستعرضة **)** قص **(**

وأمواج طولية **)** مضغوطة **(** والتي تحدث في محيط متشابه التردد وحيثما تكون سرعة الانتشار

مختلفة من النموذجين نحصل على أمواج مختلفة الطول ألموجي عند نفس التردد **.** وفي الغازات

العادية نركز على الأمواج التضاغطية الطولية بسبب عدم وجود قوة قص معيدة **.**

البلازما تمتلك حقائق أعقد بكثير من ما موجود في المادة الاعتيادية بسبب شمول البلازما على الغاز

والقوى الكهرومغناطيسية حيثما تقاد حركة الجسيمات بأنواع موجية غير معرفة بواسطة المجالات

المغناطيسية والمجالات الفيزيائية الأخرى **.** وفي هذا الفصل سوف نحاول أن نعطي استعراض

لأنواع تغير الموجة في البلازما الممغنطة والغير ممغنطة **.**

يمكن تمثيل كل اهتزازة دورية في المائع اعتمادا على تحليل فورييه **)** *Fourier analysis* **(** وكأنها

مجموع

ة اهتزازات جيبيه لها تواترات و

أطوال موجيه مختلفة . وتكون أي من هذه الاهتزازات

موجة بسيطة **.** وعندما تكون سعة الاهتزازة صغيرة ، يكون شكلا جيبيا بشكل عام ، ويكون لدينا

مركبة واحدة فقط للموجة **.** وسندرس هذه الحالة بالتحديد **.**

لنأخذ مثلا كمية جيبية ولتكن الكثافة **n** ، عندئذ نستطيع تمثيلها بالشكل **:**

**- -----------**

**- - - - - - - - - - - )**0 4**(**

حيث نكتب وفق الإحداثيات الديكارتية **:**

**- -----------**

**- - - - - - - - - - - )**1 4**(**

ه

نا ث

ابت يعمل سعة الموجة ؛ المتجه لموجي **.**

عندما تنتشر الموجة في الاتجاه **x** يكون لدينا فقط المركبة **x**، وتصبح المعادلة **)** 0 4 **(** بالشكل **: -**

وإصلاحا ، يعتبر القسم الحقيقي من التابع الآسي كمية قابلة للقياس **.** و

لنفرض أن مقدار حقيقي ،

وسنرى لاحقا أن هذا يعني أن القسم الحقيقي هو **:**

**- --------**

**- - - - - - - - )**3 4**(**

**فيزياء البلازما**

95

و

تتحرك كل نقاط الموجة ذات الطور الثابت ، بحيث تحقق **أي :**

**- -------------**

**- - - - - - - - - - - - - )**4 4**(**

ن

سمي المقدار السرعة الطورية **.**

إ

ذا كانت النسبة موجبة ، فإن الموجة تتحرك نحو اليمين **.** اي أن x تتزايد بتزايد **t**، وبالتالي يبقى

ا

لمقدار ث

ابتا ، اما إذا كانت النسبة سالبة ، تتحرك الموجة نحو اليسار **.**

نستطيع كتابة العلاقة **:**

والتي تدل على إن **K -** السرعة الطورية بمقدار سالب **)** في اتجاه اليسار **( .** ويتضح من العلاقة **)** 3

4**(** ، أن عكس

الإشارة كل من و

لايغير شيئا من العلاقة **.**

ل

نأخذ الآن كمية جيبية أخرى ولتكن المجال الكهربائي ، وبما إننا اخترنا طور الكثافة **n** مساويا

ل

لصفر ، لنفرض الآن وجود طور أخر للمجال الكهربائي وليكن **:**

**- ------- - - - - - - - )**5 4**(**

أو

ح

يث مقدار حقيقي يمثل متجه ثابت .

و

بما أن في الحالة العامة مقدار عقدي ، فإننا نستطيع كتابة **:**

**فيزياء البلازما**

96

ح

يث سعة عقدية **.** و

يمكن الحصول على الطور م

ن حيث :

وبالتالي **:**

**- --------------**

**- - - - - - - - - - - - - - )**6 4**(**

سوف نعتبر من ألان فصاعدا إن جميع السعات هي مقادير عقدية ، وسنهمل كتابة الدليل **C :** وبالتالي

س

نكتب كل المقادير المهتزة بالشكل **:**

**- ----------**

**- - - - - - - - - - )**7 4**(**

ح

يث يمكن ان تكون مقدارا حقيقيا أو مقدارا عقديا **.** ولا يمكن ان نخطئ في تمييز الحالات

المختلفة ، لأنه في حالة المواج الخطية سوف يصبح التابع الاسي **exp** في طرفي العلاقة **.** كما

ويمكن اختصاره من الطرفين **.**

**6 4 السرعة المجموعية** ) **- *Group Velocity*** : )

غالبا تفوق السرعة الطورية لأمواج البلازما سرعة الضوء **C** ، وهذا ليس اختراقا للنظرية النسبية ،

أنه لا يكمن لقطار أمواج لا نهائي ذاو سعة ثابتة حمل المعلومات **.** فمثلا لا يمكن لحامل أمواج

الراديو من حملها ما لم يكن معدلا **)** *modulated* **( .** والامواج المعدلة لاتنتشر بسرعة طورية وإنما

تنتشر بسرعة مجموعية **)** *Group Velocity* **(** ، والتي تكون عادة اقل من سرعة الضوء **c .**

ولتوضيح ذلك يمكننا دراسة أمواج معدلة بإضافة الضربات **)** *beating* **(** الناتجة عن موجتين لهما

تقريبا نفس التواتر ، ولنفرض أن هاتين الموجتين من الشكل **:**

**- --------- - - - - - - - - - )**8 4**(**

**فيزياء البلازما**

97

وتختلف هاتان الموجتان عن بعضهما بالتواتر بالمقدار

***2* .** وبما أن كل موجة يجب أن يكون لها

س

رعة طورية تتعلق بالوسط الذي تنتشر فيه هذه الموجة ، فإنه من المنطقي وجود فرق مقدار

*2* في العدد الموجي بين الموجتين السابقتين **.** ولنفرض للاختصار **:**

**a = Kx -**

وبالتالي يكون لدينا **:**

**- -----**

**- - - - - )**9 4**(**

**- : )** وهي موجية جيبية معدلة كما في الشكل **)** 0 4

**- ) الشكل )** 0 4

حيث يعطي غلاف **)** *envelope* **(** الموجة بالشكل **:**

وهي الموجبة

ا

لحاملة التي تحمل المعلومات ، وتنتشر بسرعة و

عندما نحصل على السرعة

المجموعية **:**

**- --------**

**- - - - - - - - )**01 4**(**

وهي لا يمكن أن تساوي سرعة الضوء **c .**

**فيزياء البلازما**

98

**3 4 الاهتزازات في البلازما** ) **- *Plasma oscillations*** : )

سبق وأشرنا إلى أن البلازما تشكل ما نسبته **77 %** من عالمنا الرحب ، فهي تتواجد في النجوم

والسدم الغازية والرياح الشمسية والغلاف الجوي المحيط بالأرض ) طبقة الأيونوسفير ( ، وتعتبر

هذه الأوساط غنية بالظواهر الموحية ، كما وتلعب دورا هاما في وقاية الحياة على الأرض من

الإشعاعات الكونية **.**

كما وسبق واشرنا إلى أن البلازما تحتوي مزيجا مكونا من جسيمات معتدلة وجسيمات مثارة وايونات

وإلكترونات محققة ما يسمى حالة شبه الاعتدال ، حيث تحتوي على مزيج من شحنات موجبة وسالبة

بمقادير متساوية **.** تساهم هذه الخاصية في استقرار البلازما ، لكن عندما تخضع هذه البلازما

لاضطراب خارجي بحيث يؤدي انحراف هذه المكونات عن وضع اتزانها ، تقوم مجالات الشحنات

الفراغية المتشكلة داخليا نتيجة لهذا الاضطراب إلى زيادة الحركة الجماعية لجسيمات البلازما ، أما

لقوى الإضراب الخارجية فتقوم بتسريع الالكترونات والايونات بصورة جماعية ، إلا أن الايونات

تبقى عاجزة عن مجاراة الالكترونات فتبقى عنها خاضعة بذلك للقصور الذاتي نتيجة كبر كتلتها

مقارنة بكتل الالكترونات ، مما يؤدي إلى ابتعاد الالكترونات عن حالة التوازن الأصلية ، والتي تقود

بدورها نشوء مجالات كهربائية داخلية في الجهة المعاكسة لحركة الالكترونات **.** ونسمي تواتر

اهتزاز الالكترونات في هذه الحالة تواتر البلازما الذي سندرسه لاحقا ، وفي الشكل **)** 1 4 **(** تمثل **-**

المستطيلات البيضاء مانع الايونات ، أما المستطيلات المظلمة فتمثل مانع الالكترونات المنزاحة

بشكل متناوب **.**

**- ) الشكل ) 7 6**

تخضع الالكترونات نتيجة ذلك القوى إرجاع ناتجة عن التجاذب الكهربائي لكولون وبالنتيجة تخضع

الالكترونات تحت تأثير القوى إلى حركة اهتزازية جماعية ، ويتوافق هذا الاهتزاز بتواتر عالي ،

كما تعيد الحركة الاهتزازية نفسها بشكل دوري مترافقة بتزايد أو تناقص الطاقة الحركية لهذه

الالكترونات على حساب الطاقة الكامنة والعكس بالعكس **.** إلا أن سعة هذا الاهتزاز لا تبقى ثابتة في

**فيزياء البلازما**

99

الحالة العامة ، وذلك نتيجة للتصادم بين الالكترونات والجسيمات المتعادلة ، ويترافق هذا التصادم

بتخامد جماعي للحركة الاهتزازية ، وبالتالي تناقص تدريجي في سعة هذه الحركة الاهتزازية **.**

نحصل من خلال هذه الحركات الاهتزازية على اهتزاز كهربائي ساكن **.** وسوف نحسب تواتر

البلازما ضمن التقريبات التالية **:**

عدم وجود مجال مغناطيسي خارجي **.**

الطا

قة الحرارية معدومة **.**

البلازما غير محدودة **.**

ثبات الايونات في الوسط الموافق لتوزع منتظم **.**

نفرض أن حركة الالكترونات وفق الاتجاه **x** فقط **.**

ونستطيع كتابة العلاقات التالية بناءا على التقريبات السابقة **:**

**- --------**

**- - - - - - - - )**00 4**(**

وبالتالي لا يوجد مجال مغناطيسي مهتز **.** وهذه الاهتزازات هي اهتزازات كهربائية ساكنة **.**

تعطى معادلة حركة الالكترونات ومعادلة الاستمرار بالشكل :

**- -------**

**- - - - - - - )**01 4**(**

و

معادلة ماكسويل الوحيدة التي سنحتاج إليها هي التي لا تحوي على المتجه أي المعادلة بواسون **.**

وهي حالة خاصة تطرقنا اليها عند دراسة البلازما كمائع وهي تقريب البلازما **.** وهي لا تفيدنا في

إ

يجاد ، وهي حالة تواترات مرتفعة ، حيث أن اعتبرنا القصور الذاتي للالكترونات عامل مهم ،

والانحراف عن وضع الاستقرار هو العامل المهم في هذه الحالة ، وبالتالي نكتب **:**

**- ---------- ( - - - - - - - - - - )**04 4**( mks )**

04 4 **(** بسهولة عبر جعلها خطية **) – - - ( )** يمكن حل المعادلات **)** 01 4 Linearization **(** ونفهم من

ذلك إن سعة الاهتزاز صغيرة ، و يمكن إهمال الحدود التي لا تحتوي معاملات سعة من درجات

مرتفعة **.** حيث نقوم أولا بفصل المتغيرات إلى قسمين ، قسم يمثل الجزء الثابت ونعطيه الدليل ***0* .**

وقسم يمثل الجزء المضطرب ونعطيه الدليل **1** أي **:**

**فيزياء البلازما**

111

**- -------- - - - - - - - - )**05 4**( en = 0n +**

**; 1n**

وتمثل الأجزاء الثابتة متغيرات البلازما في حالة غياب الاهتزازات **.** وبما إننا ندرس بلازما معتدلة

متجانسة قبل إزاحة الالكترونات ، نحصل على **:**

**- --------**

**- - - - - - - - )**06 4**(**

وتصبح المعادلة **)** 01 4 **(** بالشكل **: -**

**- -------**

**- - - - - - - )**07 4**(**

و

اضح إن الحد هو من الدرجة الثانية بالنسبة للسعة وسنجعل المعادلة خطية وذلك

بإهمال هذا الحد ز وتكون النظرية خطية *Linear theory* ص

حيحة بقدر ما تكون صغيرة

بشكل كاف بحيث يمكننا فعلا اهمال الحد من الدرجة الثانية وتصبح المعادلة **)** 03 4 **(** بالشكل **: -**

**- -------**

**- - - - - - - )**08 4**(**

ن

ذكر أن ف

ي حالفة الاعتدال وذلك في معادلة بواسون **)** 14 4 **(** وذلك بأعتبار **-**

ان الايونات الموجبة الثابتة ، وبالتالي نحصل على **:**

**- ------ ( - - - - - - )**19 4**( mks )**

نفرض إن الحدود المهتزة تسلك سلوكا جيبي ا أي **:**

**- ---------**

**- - - - - - - - - )**21 4**(**

**فيزياء البلازما**

111

و

بالتالي يمكن التعويض عن الاشتقاق بالنسبة للزمن ب

 و

ب

 ، عندئذ تصبح

19 4 **(** بالشكل **: – - - ( )** المعادلات **)** 17 4

**- -------**

**- - - - - - - )**21 4**(**

**- -------**

**- - - - - - - )**22 4**(**

**- --------**

**- - - - - - - - )**23 4**(**

ويحذف ***1n*** و ***1E*** تصبح المعادلة **)** 21 4 **(** بالشكل **: -**

**- -------- ( - - - - - - - - )**24 4**( *mks* )**

ع

ند انعدام تصبح المعادلة **)** 21 4 **(** بالشكل **: -**

**( *mks***

**)**

ويكون تواتر البلازما عندئذ بالشكل **:**

**- ---------- ( - - - - - - - - - - )**25 4**( *mks* )**

**:** كثافة الالكترونات ، ***m* :** كتلة الإلكترون **.**

وبشكل تقريبي وبعد التعويض في الثوابت المعروفة نستطيع استخدام العلاقة **:**

**- ------ ----**

**- - - - - - - - - - )**26 4**(**

حيث يتعلق هذا التردد فقط في كثافة البلازما ، وهو من المتحولات الأساسية لأي بلازما . وبسبب

القيمة الصغيرة ل ***m*** ، ويكون تردد البلازما عادة كبير جداً **.** فمثلاً عندما تكون كثافة البلازما

**n = m 1810 - 3** يكون التردد **:**

**فيزياء البلازما**\_\_