كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : التاسعة/نظري/ كتابة

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

وبالتالي يكون تأثير المجال الكهربائي المتغير مع الزمن هو إضافة سرعة الجرافت $\vec{v}_p$ تسمى سرعة الجرافت الاستقطابية بما أن $\vec{v}_p$ تكون في اتجاهات متماكسة لجسيمات لها اشارة شحنة متماكسة فأن المجال الكهربائي المتعلق على الزمن ينتج تيار استقطابي بحيث أن وسط البلازما يتصرف كعازل كهربائي وتكون كثافة تيار الاستقطاب $\vec{j}_p$ هي معدل تدفق الشحنات الموجبة والسالبة خلال وحدة مساحة وتعطى بالعلاقة:

$$\vec{j}_p = \frac{1}{V} \sum_i q_i \vec{v}_{pi}$$

$$= \frac{1}{V} \sum q_i \frac{m_i}{q_i B^2} \left(\frac{d\vec{E}_\perp}{dt} \right) = \frac{M}{V B^2} \frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$$

$$= \frac{\rho_m}{B^2} \frac{d\vec{E}_\perp}{dt} \quad \ldots (6)$$

حيث $\rho_m = \frac{M}{m}$ الكثافة الكتلية الجسيمية للبلازما

سؤال: أثبت باستخدام العلاقة $m \frac{d}{dt} \left(\frac{\vec{E}_\perp \times \vec{B}}{B^2} \right) = q \vec{v}_\perp \times \vec{B}$ أن

$\vec{v}_p$ ماذا يسمى ستنتج من علاقة السرعة $\vec{v}_p = \frac{m}{q B^2} \left(\frac{d\vec{E}_\perp}{dt} \right)$ ؟

مكتبة A to Z - كلية العلوم (جامعة طرطوس) - TEL:0931497960

وهل تكون سرعة الجسيمات الموجبة والسالبة بنفس الجهة ؟

وماذا ينتج من ذلك ؟

اسم $\vec{j}_p$ كثافة تيار الاستقطاب .

الجواب الفقرة السابقة .

ثابت العازلية الكهربائية للبلازما :

يعود سبب تأثير الاستقطاب في البلازما إلى تأثير المجال الكهربائي المتغير مع الزمن .

المجال الكهربائي ثابت لاينتج عنه أي استقطاب ، بما أن البلازما تتصرف كعازل كهربائي فأن كثافة تيار الاستقطاب $\vec{j}_p$ تؤخذ بالاعتبار من خلال إدخال ثابت العازل الكهربائي للبلازما ولهذا الهدف يمكننا فصل كثافة التيار الكلية $\vec{j}$ إلى كثافة تيار الاستقطاب $\vec{j}_p$ وكثافة التيار $\vec{j}_0$ بسبب مصادر أخرى

$$\vec{j} = \vec{j}_0 + \vec{j}_p$$

وبإضافة $\vec{j}_p$ إلى الحد $\varepsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$ الذي يظهر بالطرف اليمين من معادلة ماكسويل الرابعة (قانون آمبير : $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$)

$$\Rightarrow \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}_\perp}{dt} + \vec{j}_p = \varepsilon_0 \frac{d\vec{E}_\perp}{dt} + \frac{\rho_m}{B^2} \frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$$

$$= \varepsilon_0 \left(1 + \frac{\rho_m}{\varepsilon_0 B^2} \right) \frac{d\vec{E}_\perp}{dt}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$= \varepsilon \frac{d\vec{E}_1}{dt} \quad \dots (7)$$

حيث $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

$$\Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 + \frac{\rho_m}{\varepsilon_0 B^2}\right) \quad \dots (8)$$

تعبر العلاقة (8) عن ثابت المازلية الكهربائية الفعالة للبلازما من أجل الحركات العرضية (العمودية على المجال المغناطيسي) و يمكن أن يكون في بعض الحالات المازلية الكهربائية النسبية للبلازما كبيرة جداً $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$

على سبيل المثال:

إذا كانت كثافة البلازما $\rho_m = 10^{20} \frac{\text{جسيم}}{m^3}$ ، $B = 1\,T$ فإن $\varepsilon_r = 10^6$

المجال الكهربائي المتغير بشكل كيفي مع الزمن:

نعتبر في هذه الفقرة أن المجال الكهربائي يتغير بشكل كيفي بالنسبة للزمن لكنه منتظماً [$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$ تغيره بالنسبة للمكان معدوم]

نفرض أن $\vec{E}$ تتغير بشكل توافقي بتردد زاوي ω

$$\vec{E}(t) = \vec{E}_0 e^{-i\omega t} \quad \dots (1)$$

حيث $\vec{E}_0$ السعة العقدية المستقلة عن الزمن وطبقاً لما هو معروف يجب أخذ القسم الحقيقي من هذه العلاقة لتفسير المعنى الفيزيائي للنتائج التي سيتم الحصول عليها

باستخدام العلاقة (1) تعطى معادلة الحركة (قانون لورانز) بالصيغة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\left(\vec{E}_0 e^{-iwt} + \vec{v}\times\vec{B}\right) \quad \ldots (2)$$

بما أنه يطبق على البلازما اهتزازات قسرية (من مجال كهربائي) فإنه يمكن تحليل حركة السرعة لمركبتين:

$$\vec{v} = \vec{v}_m + \vec{v}_e e^{-iwt} \quad \ldots (3)$$

حيث $\vec{v}_m$: السرعة المرتبطة بالمجال المغناطيسي وحده وبالتالي لا تتغير على تغير زمني عند التردد w.

في حين أن $\vec{v}_e$: تعود للمجال الكهربائي المهتز (متذبذب)

ينتج من تعويض العلاقة (3) في (2) أن:

$$m\frac{d\vec{v}_m}{dt} - iwm\vec{v}_e e^{-iwt} = q\left(\vec{E}_0 e^{-iwt} + \vec{v}_m\times\vec{B} + \vec{v}_e\times\vec{B}e^{-iwt}\right) \quad \ldots (4)$$

يتم فصل الحدود الدورية عند التردد الزاوي w عن الحدود الغير دورية بحيث تنفصل المعادلة (4) إلى معادلتين:

واحدة تتضمن فقط السرعة $\vec{v}_m$ المرتبطة بالمجال المغناطيسي وتعطى بالصيغة

$$m\frac{d\vec{v}_m}{dt} = q\,\vec{v}_m\times\vec{B} \quad \ldots (5)$$

وتتعلق المعادلة الثانية فقط بالسرعة $\vec{v}_e$ وهي:

$$-iwm\vec{v}_e = q\left(\vec{E}_0 + \vec{v}_e\times\vec{B}\right) \quad \ldots (6)$$

توافق المعادلة (5) الحركة الدائرية المعتادة للجسيم حول خطوط المجال المغناطيسي عند التردد السكلترونی ω_c

ولحل المعادلة (6) من المناسب فصل هذه المعادلة إلى مركبة موازية ومركبة معامدة للمجال $\vec{B}$ (تحليل $\vec{v}_e$ إلى مركبتين واحدة موازية وأخرى معامدة $\vec{E}_0 = \vec{E}_{0\parallel} + \vec{E}_{0\perp}$ وتحليل $\vec{v}_e = \vec{v}_{e\parallel} + \vec{v}_{e\perp}$ إلى)

ينتج عندئذ من المعادلة (6) أن:

$$-i\omega m(\vec{v}_{e\parallel} + \vec{v}_{e\perp}) = q\left[\vec{E}_{0\parallel} + \vec{E}_{0\perp} + (\vec{v}_{e\parallel} + \vec{v}_{e\perp}) \times \vec{B}\right]$$

$$\Rightarrow -i\omega m \vec{v}_{e\parallel} - i\omega m \vec{v}_{e\perp} = q\vec{E}_{0\parallel} + q\vec{E}_{0\perp} + q\vec{v}_{e\perp} \times \vec{B}$$

$$\Rightarrow -i\omega m \vec{v}_{e\parallel} = q\vec{E}_{0\parallel} \Rightarrow \vec{v}_{e\parallel} = \frac{iq}{m\omega}\vec{E}_{0\parallel} \quad \ldots(7)$$

بينما تحقق مركبة السرعة العمودية العلاقة التالية

$$\left(-i\omega + \frac{q}{m}B\times\right)\vec{v}_{e\perp} = \frac{q}{m}\vec{E}_{0\perp} \quad \ldots(8)$$

بإدخال متجه التردد السكلترونی المعرف بالصيغة $\vec{\omega}_c = -\frac{q\vec{B}}{m}$

إلى العلاقة (8)

$$\xRightarrow{(8)} \left(i\omega + \vec{\omega}_c \times\right)\vec{v}_{e\perp} = -\frac{q}{m}\vec{E}_{0\perp} \quad \ldots(9)$$

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة