كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : التاسعة/نظري/

{{ 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

ومن ذلك نجد أن ⑦ $\vec{v_p} = \frac{m}{qB^2}\frac{\partial \vec{E_\perp}}{\partial t}$ فإنه ينتج أنه تأثير المجال الكهربائي المتغير بطيء مهما كان من مواضعة سرعة الانزياح $\vec{v_p}$ والتي تسمى «انزياح الاستقطاب»

بما أن $\vec{v_p}$ تكون في اتجاهات متعاكسة كهيئات لها إشارة شحنة متعاكسة «الإلكترونات والأيونات الموجبة» فإن المجال الكهربائي المتغير على الزمن ينتج تيار استقطاب في البلازما مقداره (مجموع الشحنات الكلي = 0) تكون كثافة تيار الاستقطاب $\vec{J_p}$ وتساوي إلى معدل التدفق للشحنات الموجبة والسالبة خلال واحدة الحجم وتعطى بالعلاقة:

$$\vec{J_p} = \frac{1}{V}\sum_i q_i \vec{v_{pi}} = \frac{1}{V}\sum q_i \frac{m_i}{q_i B^2}\frac{\partial \vec{E_\perp}}{\partial t}$$

$$= \frac{1}{V}\sum_i m_i \frac{1}{B^2}\frac{\partial \vec{E_\perp}}{\partial t} = \frac{M}{V}\frac{1}{B^2}\frac{\partial \vec{E_\perp}}{\partial t} = \frac{\rho_m}{B^2}\frac{\partial \vec{E_\perp}}{\partial t} \quad \cdots (12)$$

حيث يوضح المجموع على الشحنات الموجبة والسالبة في عنصر الحجم الصغير V

وإن: ρ_m الكثافة الكتلية للحالة (كثافة الكتلة في واحدة الحجم) للبلازما.

سؤال:

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

$\vec{v_p} = \frac{m}{qB^2}\frac{\partial \vec{E_\perp}}{\partial t}$ وماذا نستنتج من هذه العلاقة

هل تكون حركة الشحنات الموجبة والسالبة بنفس الجهة؟

وهل v_p نفس القيمة من أجل الشحنات الموجبة والسالبة؟

ماذا ينتج عن هذه السرعة في الوسط البلازمي؟ اجب $\vec{j}_p$ في هذه الحالة.

* ثابت العازلية للبلازما:

بوجود تأثير الاستقطاب للبلازما إذا تغير المجال الكهربائي بالنسبة للزمن و لا ينتج عن تطبيق مجال كهربائي ثابت استقطاب و حيث يكون للأيونات و الإلكترونات الميل للحفاظ على شبه الحياد عندما يكون المجال الكهربائي ثابت بالنسبة للزمن

ملاحظة: الحقل الكهربائي المتغير بالنسبة للزمن يؤدي إلى استقطاب.

بما أن البلازما تتصرف كعازل كهربائي ذا ثابت كثافة التيار الاستقطابي $\vec{j}_p$ توجد بعين الاعتبار من خلال إدخال ثابت العازل الكهربائي للبلازما والذي

يمكننا أن نمثل كثافة التيار الكلية $\vec{j}$ إلى كثافة تيار الاستقطاب $\vec{j}_p$

و إلى كثافة التيار $\vec{j}_c$ بسبب مصدر أعذى (13) $\vec{j} = \vec{j}_c + \vec{j}_p$

بإضافة الحد $\vec{j}_p$ إلى $\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}_1}{\partial t}$ الذي يسمى تيار الإزاحة ونظهر هذا الحد على شكل عامل أمبير في معادلة مكسويل $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 (\vec{j} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}_1}{\partial t})$

وهذا يؤدي إلى أن

$$\Rightarrow \varepsilon_0 \frac{\partial E_1}{\partial t} + \vec{j}_p = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}_1}{\partial t} + \frac{\rho_m}{B^2} \frac{\partial \vec{E}_1}{\partial t} = \left(\varepsilon_0 + \frac{\rho_m}{B^2}\right) \frac{\partial \vec{E}_1}{\partial t}$$

$$= \varepsilon_0 \left(1 + \frac{\rho_m}{\varepsilon_0 B^2}\right) \frac{\partial \vec{E}_1}{\partial t} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}_1}{\partial t} \quad \cdots (14)$$

حيث أن

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(1 + \frac{\rho_m}{\varepsilon B^2}\right) \quad \cdots (15)$$

و تسمى ε ثابت العازلية الكهربائية المغناطيسية للبلازما من أجل الحركة العمودية على المجال المغناطيسي $\vec{B}$

يمكن في بعض الحالات أن يكون ثابت العازلية النسبية للبلازما كبير جداً

$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \left(1 + \frac{\rho_m}{\varepsilon_0 B^2}\right)$ ثابت العازلية النسبية ليس له وحدة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

ε_r لا يمكن أن يكون سالباً لأن $\rho_m = \frac{M}{V}$ لا يمكن أن تكون سالبة

و B^2 و ε ليست سالبة.

*على سبيل المثال: إذا كانت كثافة البلازما 10^{10} جسيم / المتر المكعب و

B يساوي 1 Tesla فإن $\varepsilon_r = 10^4$

* المجال الكهربائي المتغير مع الزمن:

* حل معادلة الحركة:

نفرض أن $\vec{E}$ تغير بشكل توافقي تردد زاوي ω أي أن $\vec{E} = E_0 e^{-i\omega t}$ ①

حيث أن السعة E_0 مستقلة عن الزمن و $e^{-i\omega t}$ هو معروف لتغير التابع الفيزيائي

يجب أخذ القيم الحقيقية لذلك باستخدام العلاقة ① تعطى معادلة الحركة بالصيغة التالية:

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = q[E_0 e^{-i\omega t} + \vec{v} \wedge \vec{B}] \quad \cdots ②$$

يمكن تحليل سرعة $\vec{v}$ إلى مركبتين: واحدة تتعلق بالحقل المغناطيسي (إذا وجد)

والأخرى تتعلق بالحقل الكهربائي أي أن $\vec{v} = \underbrace{\vec{v}_m}_{\text{مغناطيسية}} + \underbrace{\vec{v}_e e^{-i\omega t}}_{\text{كهربائية}}$ ③

حيث $\vec{v}_m$ هي السرعة المرتبطة بالحقل المغناطيسي وحده وبالتالي لا تتغير مع الزمن

عند التردد ω في حين أن $\vec{v}_e$ تعود إلى المجال الكهربائي المتناوب والمتغير

* التردد يساوي عدد الرنات بالثانية لواحدة

ينتج من تعويض العلاقة ③ في ② أن:

$$m\frac{d\vec{v}_m}{dt} - i\omega\vec{v}_e e^{-i\omega t} = q[\vec{E}_0 e^{-i\omega t} + \vec{v}_m \times \vec{B} + \vec{v}_e \times \vec{B} e^{-i\omega t}]$$

يمكن فصل الحدود الدورية عن التردد الزاوي عن الحدود غير الدورية بحيث تنفصل

المعادلة ④ إلى معادلتين:

الأولى: تتضمن فقط السرعة $\vec{v}_m$ المتعلقة بالمجال المغناطيسي

$$-i\omega\vec{v}_e = q(\vec{E} + \vec{v}_e \times \vec{B}) \quad ⑥$$

$\vec{v}_e$ سرعة الجسيم التي للبلازما المتحركة في الحقل الكهربائي المتغير مع الزمن.

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

من أجل حل المعادلة وإيجاد السرعة $\vec{v}_e$ من الضروري أيضاً تحليل السرعة $\vec{v}_e$ والحقل $\vec{E}_0$ إلى مركبات موازية ومعامدة للحقل المغناطيسي أي أننا نكتب

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_{0\parallel} + \vec{E}_{0\perp} \quad , \quad \vec{v}_e = \vec{v}_{e\parallel} + \vec{v}_{e\perp}$$

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

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

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

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

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

بإدخال تردد السكلوترون المعرف بالصيغة:

$$\vec{\omega}_c = -\frac{q\vec{B}}{m} \quad (9)$$

بالعلاقة (8) نضع عوضاً

تردد سكلوتروني — تردد حال كهربائي

$$(i\omega + \vec{\omega}_c \times)\vec{v}_{e\perp} = -\frac{q}{m}\vec{E}_{0\perp} \quad (10)$$

سرعة الزاوية

لحل هذه المعادلة وإيجاد $\vec{v}_{e\perp}$

نضرب طرفي المعادلة (10) من اليسار بالحد المرافق لـ $(i\omega + \vec{\omega}_c \times)$

$$\Rightarrow (-i\omega + \vec{\omega}_c \times)(+i\omega + \vec{\omega}_c \times)\vec{v}_{e\perp}$$

$$= -\frac{q}{m}(-i\omega + \vec{\omega}_c \times)\vec{E}_{0\perp} \quad (11)$$

نأخذ الطرف اليساري أولاً من (11)

$$(-i\omega + \vec{\omega}_c \times)(i\omega + \vec{\omega}_c \times)\vec{v}_{e\perp}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$= [\omega^2 - i\omega\vec{\omega_c}\times + i\omega\vec{\omega_c}\times + \vec{\omega_c}\times\vec{\omega_c}\times]\vec{v}_{e\perp}$$

$$= [\omega^2\vec{v}_{e\perp} + \vec{\omega_c}\times(\vec{\omega_c}\times\vec{v_e})] = [\omega^2\vec{v}_{e\perp} + \vec{\omega_c}(\vec{\omega_c}\cdot\vec{v}_{e\perp}) - \vec{v}_{e\perp}(\vec{\omega_c}\cdot\vec{\omega_c})]$$

(ضرب عمودي على $\vec{B}$)

$$= (\omega^2 - \omega_c^2)\vec{v}_{e\perp}$$

بالتعويض في الطرف اليسرى في (11)

$$(\omega^2 - \omega_c^2)\vec{v}_{e\perp} = \frac{q}{m}(+i\omega - \vec{\omega_c}\times)\vec{E}_{o\perp}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_{e\perp} = \frac{q}{m}\frac{(i\omega - \vec{\omega_c}\times)\vec{E}_{o\perp}}{\omega^2 - \omega_c^2} \quad \ldots (12)$$

نجمع النتائج الواردة في (12) و (7) و (5)

نحصل على عبارة متجه السرعة الكلية بالصيغة الآتية

$$\vec{v} = \vec{v}_m + \frac{q}{m}\left[\frac{i}{\omega}\vec{E}_{o\parallel} + \frac{(i\omega - \vec{\omega_c}\times)}{(\omega^2 - \omega_c^2)}\vec{E}_{o\perp}\right]e^{-i\omega t} \quad (13)$$

- انتهت المحاضرة -

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة