كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : الخامسة/نظري/ كتابة

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

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

دراسة حركة جسيم مشحون في المجالات الكهرومغناطيسية:

مقدمة: تعتبر طريقة دراسة البلازما في المجالات الكهرومغناطيسية واحدة من الطرق الرئيسية لمعالجة مسائل البلازما رياضياً ويمكن تقسيم المجالات الكهرومغناطيسية إلى نوعين

مجالات النوع الأول:

هي مجالات يتم تطبيقها على البلازما بمؤثرات خارجية لأهداف عديدة أهمها حصر البلازما وتسخينها

مجالات النوع الثاني:

هي مجالات تتولد داخلياً في البلازما بفعل تأثير حركة الجسيمات بعضها على بعض

دراسة

حركة جسيم مشحون:

تتأثر الجسيمات المشحونة بالبلازما والخاضعة لمجالات كهرومغناطيسية إلى قوتين:

أ- قوة كهربائية: ناتجة عن تأثير مجال كهربائي $\vec{E}$ وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E} \quad \dots (1)$$

ب- قوة مغناطيسية: تؤثر على الجسيمات المتحركة بسرعة $\vec{v}$ وتعطى بالعلاقة:

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{J} \times \vec{B} \quad \dots (2)$$

و $\vec{J}$: كثافة التيار.

يمكن دراسة حركة الجسيم المشحون المتحرك بسرعة $\vec{v}$ باستخدام قانون نيوتن الثاني:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\left[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right]$$

بضرب طرفي هذه المعادلة سلمياً (داخلياً) بالمتجه $\vec{v}$ فنحصل على:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = q\vec{v}\vec{E} + 0$$

نستنتج أن الطاقة الحركية للجسيم المشحون لا تعتمد على سرعة المجال المغناطيسي

بفرض أن المجال الكهربائي $\vec{E}$ ينتج من جهد كهربائي سلمي ϕ (القوة المؤثرة في قوة محافظة)

أي أن $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$

بالتعويض بالمعادلة السابقة عن قيمة $\vec{E}$ بدلالة ϕ نجد:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = -q\left(\vec{v}\,\vec{\nabla}\phi\right)$$

$$= -q\left(\frac{d\vec{r}}{dt}\,\frac{d\phi}{d\vec{r}}\right) = -q\left(\frac{d\vec{r}}{d\vec{r}}\,\frac{d\phi}{dt}\right)$$

$$= -q\,\frac{d\phi}{dt}$$

تم التبديل بين المشتق المكاني والمشتق الزماني لأنهما مستقلان:

$$\Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2 + q\phi\right) = 0$$

نستنتج من هذه المعادلة أن مجموع الطاقتين الحركية والكمونية الناجمتين عن المجال الكهربائي يبقى ثابتاً وهو قانون حفظ الطاقة في المجال المحافظ

وبالتالي فإن القوة المؤثرة على جسيم مشحون يتحرك بسرعة $\vec{v}$ في مجالات كهرومغناطيسية تساوي إلى:

$$\vec{F} = q\left[\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}\right] \quad \cdots (3)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

هذه القوة معروفة لدينا وتسمى قوة لورانتز ويمكن كتابة هذه القوة باستخدام قانون نيوتن الثاني كما ذكرنا بالشكل

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\left[\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B}\right] \quad \ldots(4)$$

السؤال على الفقرة السابقة:

يخضع جسيم مشحون بشحنة q ويتحرك بسرعة v لمجال كهرومغناطيسي والمطلوب:

أ- استنتج باستخدام قانون نيوتن الثاني علاقة الطاقة الحركية للجسيم لكلاً من $\vec{E}$ و $\vec{B}$ ماذا تستنتج؟

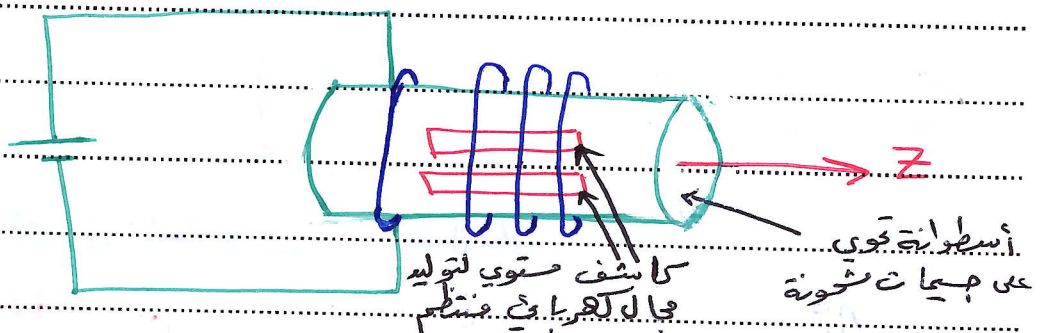
ب- نفرض أن $\vec{E}$ ينشق من كمون سلمي ϕ استنتج قانون حفظ الطاقة؟

دراسة حركة جسيم مشحون في مجالات كهرومغناطيسية ثابتة ومنتظمة:

نفرض أن المحور Z هو المحور الموازي لاتجاه تطبيق المجال المغناطيسي $\vec{B}$ يكون عندئذٍ $\vec{E}$ المجال الكهربائي

$$\vec{E} = E_x\vec{e}_x + E_y\vec{e}_y + E_z\vec{e}_z \quad , \quad \vec{B} = B_z\vec{e}_z \quad \ldots(5)$$

يمكن الحصول على هذه الحالة الفيزيائية مخبرياً من خلال تركيب ملف سلكي حول أنبوب يحتوي على صفيحتين متوازيتين كما في الشكل (1)



الشكل (1): يوضح كيفية توليد مجالات كهربائية ومغناطيسية مخبرياً

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

بالتعويض من العلاقة (5) عن قيمة $\vec{E}$ و $\vec{B}$ في المعادلة (4) نحصل على:

$$m\frac{d}{dt}\left(v_x\vec{e}_x + v_y\vec{e}_y + v_z\vec{e}_z\right) =$$

$$= q\left(E_x\vec{e}_x + E_y\vec{e}_y + E_z\vec{e}_z\right) + q\begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ v_x & v_y & v_z \\ 0 & 0 & B_z \end{vmatrix}$$

$$= q\left(E_x\vec{e}_x + E_y\vec{e}_y + E_z\vec{e}_z\right) + q\left[\vec{e}_x(v_y B_z - 0) - \vec{e}_y(v_x B_z - 0) + \vec{e}_z(0-0)\right]$$

$$= q\left[\left(E_x + v_y B_z\right)\vec{e}_x + \left(E_y - v_x B_z\right)\vec{e}_y + E_z\vec{e}_z\right]$$

بالمطابقة (المساواة) بين أمثال $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ بين الطرفين نحصل على:

$$\left.\begin{aligned} \dot{v}_x &= \frac{q}{m}\left(E_x + v_y B_z\right) \\ \dot{v}_y &= \frac{q}{m}\left(E_y - v_x B_z\right) \\ \dot{v}_z &= \frac{q}{m}E_z \end{aligned}\right\} \quad \dots (6)$$

بمكاملة المعادلة الثالثة في المعادلات (6) نحصل على:

$$v_z = \frac{q}{m}E_z t + v_z(0) \quad \dots (7)$$

حيث $v_z(0)$ سرعة الجسيم عند $t=0$.

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

سنتتبع وتبين هذه المعادلة أن الجسيم يتحرك وفق المحور z (وفق المجه $\vec{B}$) بحركة متسارعة (تسارعها $\frac{q}{m} E_z$)

إيجاد مركبة السرعة باتجاه المحور x :

يمكن إيجاد مركبة السرعة وفق المحور x أي إيجاد v_x من المعادلة الأولى في (6) وذلك باشتقاقها بالنسبة للزمن ونحصل على :

$$\dot{v}_x = \frac{q}{m} v_y B_z$$

نعوض عن قيمة $\dot{v}_y$ من المعادلة الثانية في (6)

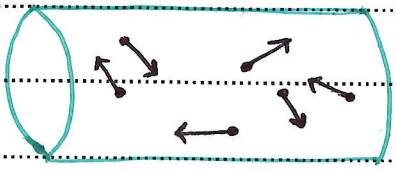
$$\Rightarrow \dot{v}_x = \frac{q}{m}\left[\frac{q}{m}(E_y - v_x B_z)\right] B_z$$

$$\Rightarrow \dot{v}_x = -\frac{q^2 B_z^2}{m^2} v_x + \frac{q^2 B_z}{m^2} E_y$$

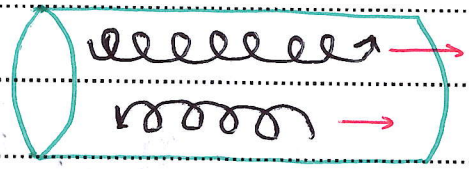
$$\Rightarrow \dot{v}_x + \frac{q^2 B_z^2}{m^2} v_x = \frac{q^2 B_z^2}{m^2 B_z} E_y \quad \cdots (*)$$

نرمز لـ $\frac{|q|B|}{m}$ بـ ω_c وهو مقدار ثابت ويسمى بتردد السكلوتروني أو تردد الدوران للإلزما المحفظة وهو مقدار موجب دوماً.

كما أن التردد الدوراني للإلكترون أكبر من التردد الدوراني للأيون والسبب كتلة الأيون أكبر من كتلة الإلكترون



بلازما بدون تطبيق مجال مغناطيسي



مركبة اشعاعات بوجود حقل مغناطيسي

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

سيكون مثلاً التردد الكلتروني للإلكترون

$$|\omega_c| = 1,76 \times 10^{11}\ B$$

حيث B تقاس بواحدة تسمى التسلا Tesla

ويساوي التسلا

$$Tesla = T = \frac{weber}{m^2}$$

وأن $q = -1,6 \times 10^{-19}\ c$ و $m_e = 9,1 \times 10^{-31}\ kg$

كما أن التردد الكلتروني للأيون يساوي إلى

$$\omega_c = \frac{1,6 \times 10^{-19}}{1,67 \times 10^{-27}}\ B = 1 \times 10^{8}\ B$$

وبالتالي تصبح المعادلة (*) بالصيغة الآتية

$$\ddot{v}_x + \omega_c^2 v_x = \omega_c^2 \frac{E_y}{B} \quad \ldots(8)$$

وتمثل هذه المعادلة معادلة تفاضلية غير متجانسة حلها العام يساوي مجموع حلين.

الحل العام للمعادلة المتجانسة: $U \sin(\omega_c t - \varphi)$

U و φ ثابتا التكامل (ثابتان يعينان من الشروط الابتدائية)

بالإضافة للحل الخاص للمعادلة المتجانسة: $\frac{E_y}{B}$

وبذلك يكون الحل العام للمعادلة (8)

$$v_x = U \sin(\omega_c t - \varphi) + \frac{E_y}{B} \quad \ldots(9)$$

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مكتبة A to Z