كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : السادسة/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

مركبة السرعة في الاتجاه y :

يمكن ايجاد v_y من المعادلة الأولى في المعادلات (6) وذلك كما يلي :

$$\dot{v}_x = \frac{q}{m}(E_x + v_y B_z)$$

$$\Rightarrow \dot{v}_y = \frac{m}{qB}\dot{v}_x - \frac{E_y}{B}$$

لنعوض عن $\dot{v}_x$ نشتق العلاقة (9) :

$$v_y = \frac{1}{\omega_c}\omega_c u \cos(\omega_c t - \psi) - \frac{E_x}{B}$$

$$v_y = u\cos(\omega_c t - \psi) - \frac{E_x}{B} \quad \ldots(10)$$

نستنتج أن مركبة سرعة الجسيم المشحون والخاضع لمجالات كهرومغناطيسية ثابتة ومنتظمة بالمستوي العمودي على B $(x\,y)$ تهتز بتواترات مساوية للتواتر السكلتروني ω_c (بتواتر دائري) إضافة إلى سرعة انجراف في هذا المستوي وتساوي إلى :

$$\vec{v}_D = \frac{E_y}{B}\vec{e}_x - \frac{E_x}{B}\vec{e}_y$$

$$\vec{v}_D = \frac{\vec{E}\times\vec{B}}{B^2} \quad \ldots(12)$$ يمكن كتابة سرعة الانجراف هذه بالصيغة التالية :

أثبت ذلك؟

$$v_D = \frac{1}{B}\begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ E_x & E_y & E_z \\ 0 & 0 & B \end{vmatrix} = \frac{1}{B}\left[\vec{e}_x(E_y B) - \vec{e}_y(E_x B) - \vec{e}_z(0)\right]$$

$$= \frac{E_y}{B}\vec{e}_x - \frac{E_x}{B}\vec{e}_y$$

نلاحظ أن سرعة الانجراف لا تعتمد $\vec{v}_D$ على كل من كتلة الجسيم وشحنته ولذلك فإن جميع الجسيمات المشحونة في البلازما تنجرف معاً وأن كثافة التيار الكهربائي الناتج عن هذا الانجراف

كثافة تيار الانجراف $\vec{J}_D = \sum_\alpha n_\alpha q_\alpha \vec{v}_D$ ... (13)

تقود هذه العلاقة إلى حقيقة مهمة جداً بالنسبة للبلازما المتعادلة كهربائياً وهي أن تيار الانجراف معدوم لأن الكثافة الكلية للتيار الكهربائي تساوي الصفر

نصف قطر لارمور Larmor Radius ($\vec{E}=0$ ، B ثابت ومنتظم)

بفرض أن البلازما تخضع لتأثير مجال مغناطيسي ثابت ومنتظم وأن $\vec{E}=0$ تكون في هذه الحالة حركة الجسيمات للبلازما حسب المعادلتين (9) و (10) حركة دائرية حول خطوط الحقل المغناطيسي ويمكن حساب نصف قطر الدوران من معادلة التسارع الناظمي للحركة الدورانية أي من المعادلة التالية:

$$\vec{F} = q\,\vec{v}\times\vec{B} \Rightarrow m\vec{a}_n = q\,\vec{v}_\perp \times \vec{B}$$

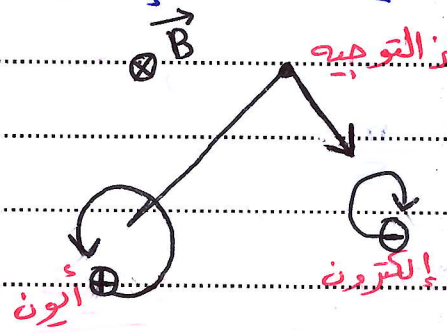
$$\Rightarrow m\vec{a}_n = q\,v_\perp B$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$\Rightarrow m\frac{v_\perp^2}{r_L} = q v_\perp B \Rightarrow r_L = \frac{m v_\perp}{q.B} = \frac{v_\perp}{\omega_c} \quad ...(14)$$

حيث أن $a_n = \frac{v_\perp^2}{r}$ التسارع الناظمي (العمودي)

يلاحظ (نستنتج) أن نصف قطر الدوران للأيون أكبر من نصف قطر الدوران للإلكترون بسبب أن كتلة الأيون أكبر من كتلة الإلكترون ولكن عدد الدورات بالثانية الواحدة للأيون أقل من عدد الدورات بالثانية الواحدة للإلكترون



1) طبق مجال مغناطيسي على جسيم مشحون ساكن اسبب نصف قطر الدوران لهذا الجسيم ؟

نصف قطر الدوران لهذا الجسيم صفر لأن المجال المغناطيسي لا يؤثر إلا على الجسيم المشحون المتحرك بسرعة

2) تعطى معادلات (6) و يطلب سرعة الجسيم وفق المحور z وماقشته ثم يطلب سرعة الجسيم v_x و v_y ويطلب مناقشة الحركة في المستوي (xy) ثم ايجاد كثافة التيار وايجاد نصف قطر الدوران في حال $E=0$ و B ثابت ومنتظم ؟

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مثال: يؤثر مجال مغناطيسي مقداره 2 T على بالزما وبوجود مجال كهربائي مقداره $100 \frac{V}{cm}$ ما هو مقدار سرعة الانجراف للسيجات؟

$$v_D = \frac{E \cdot B}{B^2} = \frac{E}{B} \quad ; \quad (\vec{E} \perp \vec{B})$$

$$\Rightarrow v_D = \frac{E}{B} = \frac{100 \frac{V}{cm}}{2 \frac{weber}{m^2}} = 50 \frac{\frac{V}{10^{-2} m}}{\frac{W}{m^2}}$$

$$= 50 \times 10^2 \frac{\frac{W}{S.m}}{\frac{W}{m^2}} = 5 \times 10^3 \frac{m}{S}$$

حيث: $T = \frac{weber}{m^2}$, $V = \frac{weber}{S}$

مثال نظري: اذكر قانون علاقة قوة لورانز: استنتج $\vec{F} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$

علاقة لحساب سرعة انجراف مركز التدوير؟

اذكر قانون علاقة قوة لورانز لدينا:

$$m\vec{v}^{\cdot} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$$

نضرب طرفي هذه العلاقة من اليمين اتجاهياً (خارجياً) بـ المتجه $\vec{B}$ فنحصل على:

$$m\vec{v}^{\cdot} \times \vec{B} = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}] \times \vec{B}$$

$m\vec{v}^{\cdot} \times \vec{B} = 0$ لأن $\vec{v} = \vec{a} \parallel \vec{B}$

$$= q[\vec{E} \times \vec{B} + (\vec{v} \times \vec{B}) \times \vec{B}]$$

$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$\vec{E} \times \vec{B} - \vec{B} \times (\vec{v} \times \vec{B}) = 0$ ← نقسم على q

حسب فيبس

$\vec{E} \times \vec{B} - [\vec{v}(\vec{B}\cdot\vec{B}) - \vec{B}(\vec{v}\cdot\vec{B})] = 0$

$\vec{v} \perp \vec{B}$ لأن $= 0$

$\vec{E} \times \vec{B} - \vec{v} B^2 = 0 \Rightarrow \vec{v}_D = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2} \Rightarrow v_D = \frac{E}{B}$

لأن $\vec{E} \perp \vec{B}$

مثال: احسب الطاقة الحركية الناتجة عن حركة انجراف الالكترون والأيون إذا كان المجال الكهربائي يساوي $10 \frac{kV}{cm}$ والمجال المغناطيسي يساوي $20 kG$ وبفرض أن المجال الكهربائي عمودي على المجال المغناطيسي؟ غادس

لحساب الطاقة الحركية الناتجة عن سرعة الانجراف يجب حساب قيمة سرعة الانجراف ومن ذلك من العلاقة:

$$v_D = \frac{E}{B} = \frac{10 \frac{kV}{cm}}{20 kG} = \frac{1}{2} \frac{\frac{V}{cm}}{G}$$

$T = 10^4 G$ لدينا

$$\Rightarrow v_D = \frac{1}{2} \frac{\frac{weber}{s \cdot 10^2 \cdot m}}{10^{-4} \frac{weber}{m^2}} = \frac{1}{2} 10^2 \cdot 10^4 \frac{m}{s}$$

$$= 5 \times 10^5 \frac{m}{s}$$

الطاقة الحركية للإلكترون $T = \frac{1}{2} m_e v_D^2 = \frac{1}{2} (9.1 \times 10^{-31} kg)(25 \times 10^{10} \frac{m^2}{s^2})$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$= 113,75 \times 10^{-21}\ kg\ \frac{m^2}{s^2} = 113,75 \times 10^{-21}\ Joul$$

$$= \frac{113,75 \times 10^{-21}\ J}{1,6 \times 10^{-19}\ J}\ eV = 71 \times 10^{-2}\ eV$$

الطاقة الحركية للأيون

$$T_1 = \frac{1}{2} m_i v_D^2 = \frac{1}{2} (1,67 \times 10^{-27}\ kg)\, v_D^2$$

$$= 130,5\ eV$$

أن الطاقة الحركية للأيون أكبر من الطاقة الحركية للالكترون لذلك يعبران بنفس السرعة لكن كتلة الأيون أكبر بـ 1300 مرة من الالكترون.

مثال: احسب التردد الدوراني ω_c ونصف قطر لارمور للإلكترون طاقته الحركية 10 eV والطاقة الحركية للأيون 1 eV يتحركان عمودياً على المجال المغناطيسي الذي شدته 3000 G

يعطى التردد الدوراني للإلكترون بالعلاقة التالية:

$$\omega_c = \left| \frac{qB}{m} \right| = \left| \frac{1,6 \times 10^{-19} C \times 3 \times 10^3 G}{9,1 \times 10^{-31}\ kg} \right|$$

$$= \frac{1,6 \times 10^{-19}\ \frac{N.m}{V} \times 3 \times 10^3 \times 10^{-4}\ T}{9,1 \times 10^{-31}\ kg}$$

$$= 10^{15}\ T \times \frac{kg\ \frac{m^2}{s^2}}{V\ kg}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$= 0,527.10^{11}\ \frac{\frac{kg\,m^2}{s^2}\ \frac{W}{m^2}}{kg} = 0,527.10^{11}\ \frac{\frac{W}{s^2}}{V}$$

$$= 0,527.10^{11}\ \frac{\frac{V.s}{s^2}}{V} = 0,527.10^{11}\ \frac{1}{s}$$

$$F = qE$$

$$N = c\frac{V}{m} \Rightarrow c = \frac{N.m}{V} = \frac{kg\,\frac{m}{s^2}\,m}{V}$$

$$T = 10^4 G \rightarrow G = 10^{-4} T$$ وأن

$$G = 10^{-4} T = 10^{-4}\ \frac{W}{m^2} = 10^{-4}\ \frac{V.s}{m^2}$$

وأن نصف قطر لارمور يساوي إلى:

$$r_L = \frac{m v_\perp}{qB} = \frac{v_\perp}{\omega_c}$$

نحسب السرعة $v_\perp$ من علاقة الطاقة الحركية:

إلكترون

$$T = \frac{1}{2} m_e v_\perp^2 \Rightarrow 10\,eV = \frac{1}{2}(9,1\times10^{-31}\,kg)\,v_\perp^2$$

$$= 10 \times 1,6 \times 10^{-19}\,J = 4,55 \times 10^{-31}\,kg\,v_\perp^2$$

$$v_\perp^2 = \frac{10 \times 1,6 \times 10^{-19}\,J}{4,55 \times 10^{-31}\,kg} = \frac{1,6 \times 10^{-18}\,J}{4,55 \times 10^{-31}\,kg}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$= 350 \times 10^{10} \ \frac{N.m}{kg} = 35 \times 10^{11} \ \frac{kg \ \frac{m}{s^2} \ m}{kg}$$

$$= 35 \times 10^{11} \ \frac{m^2}{s^2} \Rightarrow v_\perp = 18,7 \times 10^5 \ \frac{m}{s}$$

ومنه نصف قطر دوران الإلكترون:

$$r_L = \frac{v_\perp}{\omega_c} = \frac{18,7 \times 10^5 \ \frac{m}{s}}{0,527 \times 10^{11} \ \frac{1}{s}} = 35,5 \times 10^{-6} \ m$$

وبنفس الطريقة يمكن حساب كلاً من ω_c و r_L للأيون علماً أن كتلة الأيون $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \ kg$

الانجراف الناتج عن تأثير قوة خارجية (مجال الجاذبية الأرضية)

تحدث سرعة الانجراف نتيجة تطبيق قوة F عمودية على المجال المغناطيسي وفق ما يلي:

$$\vec{F} = q\vec{E} \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

بالتالي فإن سرعة الانجراف الناتجة عن القوة F هي $\vec{v}_F$

$$v_F = \frac{\vec{F} \times \vec{B}}{qB^2}$$

ملاحظة: حساب سرعة الانجراف الناتجة عن قوة الجاذبية يكون

$$\vec{F} = m\vec{g} \Rightarrow v_G = \left| \frac{\vec{F} \times \vec{B}}{qB^2} \right|$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$= \left| \frac{m\vec{g} \times \vec{B}}{qB^2} \right| = \frac{mg}{qB} \quad ; \vec{g} \perp \vec{B}$$

سنتبع بهذه الحالة أن الالكترونات والأيونات الموجبة تنحرف باتجاهين متعاكسين لذلك فإن الحالة هنا تختلف عن حالة المجال الكهربائي حيث ستنتج في هذه الحالة تيار انجراف كثافته تساوي إلى

$$\vec{j}_D = \sum_\alpha n_\alpha q_\alpha \vec{v}_G = \sum_\alpha \frac{n_\alpha m_\alpha (\vec{g} \times \vec{B})}{B^2}$$

$$= \frac{\rho_m (\vec{g} \times \vec{B})}{B^2}$$

حيث $\rho_m = \sum_\alpha n_\alpha m_\alpha$ وهي الكثافة الكتلية للجسيمات المشحونة

تؤدي الحركة الدورانية للجسيم المشحون في المجال المغناطيسي إلى نشوء تيار يشبه التيار المار في ملف دائري مكون من لفة واحدة وهذا بدوره سيؤدي لنشوء عزم مغناطيسي ينتج عن هذه الحركة وتعطى شدة التيار الكهربائي لهذه الحالة بالعلاقة التالية:

$$I = q \cdot f_c = \frac{q}{T} \quad ; \omega_c = 2\pi f_c$$

$$= \frac{q\omega_c}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{q^2 B}{m}$$

لذلك أيضاً $\omega_c = \frac{qB}{m}$ ، $\omega_c = 2\pi f_c$ ← بدلالة التردد

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

ملاحظات:

1- تكون سرعة الانجراف v_F و v_G عمودية على كل من القوى الخارجية $\vec{F}$ ومجال الجاذبية $\vec{g}$

2- يعتمد اتجاه الانجراف على نوع الشحنة كما نلاحظ من المعادلتين

$$v_F = \frac{F}{qB} \quad , \quad v_G = \frac{mg}{qB}$$

3- يحتوي هذا النوع من الانجرافات على الشحنة q وبالتالي فإن ذلك سيؤدي إلى جريان الجسيمات باتجاهات مختلفة مما يؤدي إلى جريان تيار كهربائي وهذا يعني حدوث البلازما حيث أن كل تيار يمر بالبلازما يتسبب في خارتها

سؤال: علل تبقى طبقة الأيونوسفير تدور حول الكرة الأرضية ولا تنجذب نحو مركز الأرض بتأثير قوة الجذب؟

لأن قوة الجذب لهذه الطبقة تكون عمودية على مجال مغناطيس لذلك فإن مركبة هذه الطبقة (سرعتها) تكون عمودية على $\vec{g}$ و $\vec{B}$ وبالتالي تكون في مستوى حول الأرض أي أن طبقة الأيونوسفير سوف تبقى عالقة حول الكرة الأرضية متأثرة بقوة تجعلها تدور حولها ناتجة عن قوة الجاذبية والمجال المغناطيس

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

سؤال: أثبت أن الالكترونات والأيونات لا تتأثر بتسارع الجاذبية الأرضية؟

ينتج عن أي تيار كهربائي عمودي على مجال مغناطيسي قوة مغناطيسية

$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ قوة لورانز

وأن التيار الناتج عن السرعة الانجرافية v_G للإلكترون الواحد يساوي إلى

$$\vec{J} = q\vec{v}_G = q\frac{m\vec{g}\times\vec{B}}{qB^2}$$

$$\vec{F} = \vec{J}\times\vec{B}$$ وبالتالي فإن القوة الناتجة

$$= \frac{m}{B^2}(\vec{g}\times\vec{B})\times\vec{B}$$

$$= \frac{m}{B^2}\left[-\vec{B}\times(\vec{g}\times\vec{B})\right]$$

$$= -\frac{m}{B^2}\left[\vec{g}(B^2) - \vec{B}(\vec{B}\cdot\vec{g})\right]$$

$\vec{B} \perp \vec{g}$ لأن $= 0$

$$= -m\vec{g}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة