كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : العاشرة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

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

ومن المعادلة السابقة أن حركة سرعة المحامل المغناطيسي تعطى بالعلاقة

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

كما أن عبارة قوة لورنتز الكلية تساوي إلى

$$\vec{v} = \vec{v}_m + \frac{q}{m}\left[\frac{1}{\omega}\vec{E}_{o\parallel} + \frac{(i\omega - \vec{\omega}_c \times)}{(\omega^2 - \omega_c^2)}\vec{E}_{o\perp}\right]e^{-i\omega t} \quad (13)$$

نحاول الآن إيجاد التفسير الفيزيائي لحركة الجسيم الخاضع لتأثير مجال كهربائي متغير مع الزمن بشكل كيفي ومنتظم بالنسبة للمكان وكذلك لتأثير المجال المغناطيسي ثابت ومنتظم.

من المعادلة الواردة في (13) أن حركة الجسيم على طول المجال المغناطيسي تكون حركة اهتزازية بتردد ω وبسعة تساوي إلى

$$\vec{v}_{e\parallel} = \frac{iq}{\omega m}\vec{E}_{o\parallel}$$

وتأخر الاهتزاز للسرعة بزاوية $\frac{\pi}{2}$ عن اهتزاز المجال الكهربائي المطبق وعكس توضيح ذلك من خلال أخذ القسم الحقيقي للمقدارين

$$\vec{v}_{e\parallel}e^{-i\omega t}, \quad \vec{E}_{e\parallel}e^{-i\omega t}$$

$$Re\left[v_{e\parallel}e^{-i\omega t}\right] = Re\left[\frac{iq}{\omega m}\vec{E}_{o\parallel}e^{-i\omega t}\right]$$

$$= Re\left[\frac{iq}{\omega m}\vec{E}_{o\parallel}(\cos\omega t - i\sin\omega t)\right]$$

$$= Re\left\{\frac{q}{\omega m}\vec{E}_{o\parallel}(i\cos\omega t + \sin\omega t)\right\}$$

$$= \frac{q}{\omega m} \vec{E}_{o\perp} \sin\omega t = \frac{q}{\omega m} \vec{E}_{o\perp} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (14)$$

نجد أن القسم الحقيقي للمجال الكهربائي

$$Re\left[\vec{E}_{o\perp} e^{-i\omega t}\right] = Re\left[\vec{E}_{o\perp}(\cos\omega t - i\sin\omega t)\right]$$

$$= \vec{E}_{o\perp} \cos\omega t \quad (15)$$

من الواضح أن السرعة تأخر بزاوية $\frac{\pi}{2}$ عن اهتزاز المجال (الحقل) الكهربائي ولتحليل المعنى الفيزيائي للحركة بالمستوي العمودي على $\vec{B}$ من المناسب تحليل هذه المجال الكهربائي المتغير إلى مركبتين مستقطبتين دائرياً باتجاهين متعاكسين للدوران وتكون الفائدة من المركبتين المستقطبتين دائرياً هي أن المعادلة (12) تنفصل إلى معادلتين تتعلقان بالاستقطابين الدائريين وبالتالي نأخذ

$$\vec{E}_{o\perp} = \vec{E}_R + \vec{E}_L = (\vec{E}_{oR} + \vec{E}_{oL}) e^{-i\omega t} \quad (16)$$

حيث أن

$$\vec{E}_{oR} = \frac{1}{2}(1 + i\hat{B}\times)\vec{E}_{o\perp} \quad (17)$$

$$\vec{E}_{oL} = \frac{1}{2}(1 - i\hat{B}\times)\vec{E}_{o\perp} \quad (18)$$

حيث أن $\hat{B} = \frac{\vec{B}}{B}$ متجه الوحدة على طول المجال $\vec{B}$

وتمثل المركبة $\vec{E}_R$ مجالاً مستقطباً دائرياً يسارياً (باتجاه دوران عقارب الساعة) وتمثل المركبة $\vec{E}_L$ مجالاً مستقطباً دائرياً يسارياً (عكس دوران عقارب الساعة).

ولفهم المعنى الفيزيائي لهذا التحليل نأخذ حالة إحداثيات ديكارتية حيث الحقل $\vec{B}$ باتجاه المحور z والمجال $\vec{E}$ باتجاه المحور x

$$\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp} = \vec{e}_z \times \vec{e}_x E_{o\perp} = \vec{e}_y E_{o\perp} \quad (19)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

بالاستفادة من العلاقة (19) نستطيع أن نكتب المعادلتين في (17) و(18) بالصورة الآتية

$$\vec{E_R} = \vec{E_{oR}}\, e^{-i\omega t} = \frac{1}{2}(1 + i\hat{B}x)\vec{E_{oL}}\, e^{-i\omega t}$$

$$= \frac{1}{2} E_{oL} (\vec{e_x} + i\vec{e_y}) e^{-i\omega t} \quad (20)$$

$$\vec{E_L} = \vec{E_{oL}} e^{-i\omega t} = \frac{1}{2}(1 - i\hat{B}x)\vec{E_{oL}}\, e^{-i\omega t}$$

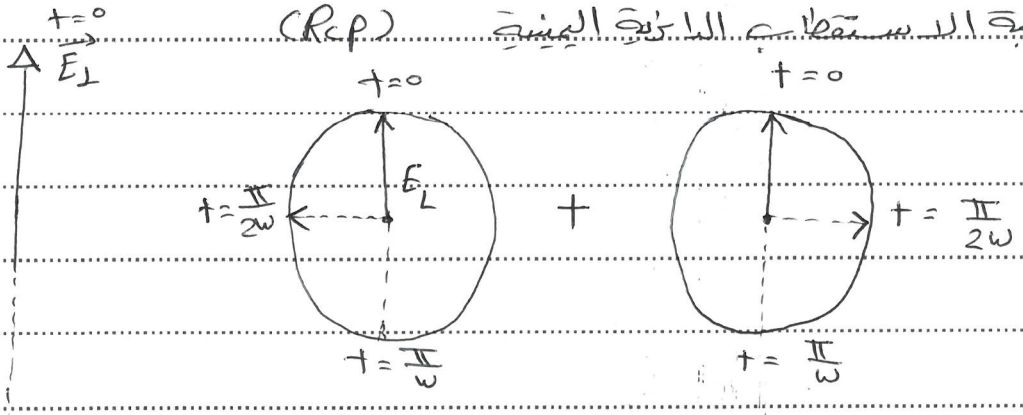
$$= \frac{1}{2} E_{oL} (\vec{e_x} - i\vec{e_y}) e^{-i\omega t} \quad (21)$$

يمكن الحصول على مركبات الحقل الكهربائي الحقيقي بأخذ القسم الحقيقي في (20) و (21) فنحصل على

$$Re[\vec{E_R}] = \frac{1}{2} E_{oL} (\vec{e_x} \cos\omega t + \vec{e_y} \sin\omega t) \quad (22)$$

$$Re[\vec{E_L}] = \frac{1}{2} E_{oL} (\vec{e_x} \cos\omega t - \vec{e_y} \sin\omega t) \quad (23)$$

وبالتالي فإن الحقلين $\vec{E_R}$ و $\vec{E_L}$ ثابتان في المقدار لكنهما يدوران في دائرة يتردد ما ويكون الدوران بالنسبة لـ $\vec{E_R}$ باتجاه عقارب الساعة و تسمى مركبة الاستقطاب الدائرية اليمنى (Rcp)



الحقل الكهربائي لموجة مستوية مستقطبة دائرياً نحو اليمين واليسار.

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

وتسمى $\vec{E}_L$ بركبة استقطاب دائرية يسارية.

لو اهملنا تأثير حركة الجسم من المستوى العمودي على $\vec{v}$ في التعريف في الصيغة (12)

يعطى المؤثر $(i\omega - \vec{\omega}_c \times)$ عند تطبيقه على المركبة المستقطبة دائرياً يساراً (العلاقة 17) الآتي:

$$(i\vec{\omega} - \vec{\omega}_c \times)\vec{E}_{oR} = \frac{1}{2}(i\omega - \vec{\omega}_c \times)[1 + i\hat{B} \times]\vec{E}_{o\perp}$$

$$= \frac{1}{2}(i\omega - \vec{\omega}_c \times)(\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp})$$

$$= \frac{1}{2} i\omega (\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp}) - \frac{1}{2}\vec{\omega}_c (\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp})$$

$$= \frac{1}{2} i\omega (\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp}) + \frac{1}{2}\frac{qB}{m}\hat{B} \times (\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp})$$

$$= \frac{1}{2} i\omega (\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp}) + \frac{1}{2}\frac{qB}{m}(\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times (\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp}))$$

متوازيين — متعامدين

$$= \frac{1}{2} i\omega (\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp}) + \frac{1}{2}\frac{qB}{m}(\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp} + i\hat{B}(\hat{B} \cdot \vec{E}_{o\perp}) - i\vec{E}_{o\perp}(\hat{B} \cdot \hat{B})$$

$$= \frac{1}{2} i\omega (\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp}) + \frac{1}{2}\omega_c (-\vec{E}_{o\perp} + \hat{B} \times \vec{E}_{o\perp})$$

$$= \frac{1}{2} i(\omega - \omega_c)(\vec{E}_{o\perp} + i\hat{B} \times \vec{E}_{o\perp}) = \frac{1}{2} i(\omega - \omega_c)(1 + i\hat{B} \times)\vec{E}_{o\perp}$$

$$= i(\omega - \omega_c)\vec{E}_{oR} \quad (24)$$

كذلك بطريقة مشابهة بالنسبة للمركبة المستقطبة يساراً أن

$$(i\omega - \vec{\omega}_c \times)\vec{E}_{o\perp} = i(\omega + \omega_c)E_{o\perp} \quad (25)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

نستنتج أن كلاً من $\vec{E}_{oR}$ و $\vec{E}_{oL}$ فيه عامل للحد $(i\omega - \vec{\omega}_c \times)$ بحيث عامل $i(\omega + \omega_c)$ و $i(\omega - \omega_c)$ هي

باستخدام المعادلتين (24) و (25) عندنا كتابة المعادلة (12) بالصيغة الآتية:

$$\Rightarrow \vec{v}_{eL} = \frac{q}{m} \frac{(i\omega - \vec{\omega}_c \times)}{(\omega^2 - \omega_c^2)} \vec{E}_{oL}$$

$$= \frac{q}{m} \left[\frac{(i\omega - \vec{\omega}_c \times)}{(\omega^2 - \omega_c^2)} \times \vec{E}_{oR} + \frac{(i\omega - \vec{\omega}_c \times) E_{oL}}{(\omega^2 - \omega_c^2)} \right]$$

$$= i\left(\frac{q}{m}\right) \left[\frac{(\omega - \omega_c) \vec{E}_{oR}}{(\omega^2 - \omega_c^2)} + \frac{(\omega + \omega_c) \vec{E}_{oL}}{(\omega^2 - \omega_c^2)} \right]$$

$$= i\left(\frac{q}{m}\right) \left[\frac{(\omega - \omega_c)}{(\omega - \omega_c)(\omega + \omega_c)} \vec{E}_{oR} + \frac{(\omega + \omega_c)}{(\omega - \omega_c)(\omega + \omega_c)} \vec{E}_{oL} \right]$$

$$= i\left(\frac{q}{m}\right) \left[\frac{1}{(\omega \pm \omega_c)} \vec{E}_{oR} + \frac{1}{(\omega \mp \omega_c)} \vec{E}_{oL} \right] \quad (26)$$

تشير الإشارة العليا في هذه المعادلة لجسيم موجب الشحنة وتشير الإشارة السفلى إلى جسيم سالب الشحنة وبالتالي فإن المعادلة (12) تنفصل إلى مركبتين يمكن كتابتهما بالاتجاهين متعاكسين

$$\Rightarrow \vec{v}_{eL} = \vec{v}_R + \vec{v}_L \quad (27)$$

$$\vec{v}_R = i\left(\frac{q}{m}\right) \frac{1}{(\omega \pm \omega_c)} \vec{E}_{oR} \quad (28)$$

$$\vec{v}_L = i\left(\frac{q}{m}\right) \left(\frac{1}{(\omega \mp \omega_c)} \vec{E}_{oL} \right) \quad (29)$$

بالنسبة للإلكترون يقترب بمرور الزمن من التردد السيكلوترون وحيث الاتجاه لليمين مع الحركة المستقطبة دائرياً يميناً للحالة اليسارية.

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

أما بالنسبة للأيون الموجب فإن ω تقترب من ω_c وحيث كان يوجد تباعد بين اهتزاز الأيون والحركة المستقطبة يسارياً للمجال الكهربائي.

السؤال: (للفقرة السابقة)

تعطى عبارة السرعة الكلية لجسيم بالبلازما تخضع لمجال كهربائي متغير بشكل كيفي مع الزمن وتستطم وتخضع لكل مركبة فوريه ثابت وتنتظم بالعلاقة (13)

$$\vec{v} = \vec{v}_m + \frac{q}{m}\left[\frac{1}{\omega}\vec{E}_{o\parallel} + \frac{(i\omega - \vec{\omega}_c \times)}{(\omega^2 - \omega_c^2)}\vec{E}_{o\perp}\right] e^{-i\omega t}$$

المطلوب:

أ) كيف تكون حركة هذا الجسيم وفق المجال B وهل هي حركة اهتزازية بسرعة متوافقة مع المجال $\vec{E}$ أم متأخرة عنه أم متقدمة وكم قيمة الزاوية عن الإجابة

ب) كيف تكون حركة الجسيم بالمستوي العمودي على B

ت) انطلاقاً من العلاقة (12):

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

اعكس تأثير الحد $(i\omega - \vec{\omega}_c \times)$ على $\vec{E}_{oL}$ و $\vec{E}_{oR}$ وماذا تستنتج من ذلك؟

ث) عند التعويض في العلاقة (12) نحصل على العبارة الآتية:

$$\vec{v}_{e\perp} = i\left(\frac{q}{m}\right)\left[\frac{(\omega - \omega_c)}{(\omega - \omega_c)(\omega + \omega_c)}\vec{E}_{oR} + \frac{(\omega + \omega_c)}{(\omega - \omega_c)(\omega + \omega_c)}\vec{E}_{oL}\right]$$

اختصر هذه العلاقة إلى شكل أبسط من أجل الإلكترون والأيون

ج) مع أي مركبة حيث التذبذب بالإلكترون، وبأي مركبة حيث التذبذب بالأيون؟

- انتهت المحاضرة -

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مكتبة

مكتبة A TO Z

فرع 1
تجمع الكليات(كلية العلوم)

فرع 2
الكورنيش الشرقي جانب MTN

طباعة محاضرات ـ قرطاسية

Mob:0931 497 960