كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

المادة : فيزياء البلازما

المحاضرة : السابعة/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

الانجراف الناتج عن العزم المغناطيسي:

يتولد العزم المغناطيسي عند دوران الجسيمات المشحونة حول خطوط المجال المغناطيسي وينشأ عن دوران الجسيمات المشحونة تيار كهربائي يدور مما يولد مجال مغناطيسي يكون هذا المجال المغناطيسي معاكس للمجال المغناطيسي المطبق من الخارج لذلك تسمى البلازما مادة دايا مغناطيسية (تعليل)

يعطى العزم المغناطيسي المتولد بالصيغة: $\vec{\mu} = I . \vec{S}$

$\vec{S}$ المساحة المتجهة للدائرة التي نصف قطرها r_L ، أي أن $S = \pi r_L^2$

وأن $I = \frac{q}{T}$ ، حيث T : زمن دور واحد

$$I = \frac{q}{T} = \frac{q 2\pi}{T 2\pi} = \frac{q 2\pi f}{2\pi} = \frac{q \omega_c}{2\pi}$$

$$S = \pi r_L^2 = \frac{\pi v_\perp^2}{\omega_c^2}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{q \omega_c}{2\pi} \cdot \frac{\pi v_\perp^2}{\omega_c^2} = \frac{1}{2} q \frac{v_\perp^2}{\omega_c} = \frac{1}{2} m \frac{v_\perp^2}{B}$$

$$= \frac{W_\perp}{B} \Rightarrow \mu = \frac{W_\perp}{B} \quad ; \quad W_\perp = \frac{1}{2} m v_\perp^2$$

$$\omega_c = \frac{qB}{m}$$

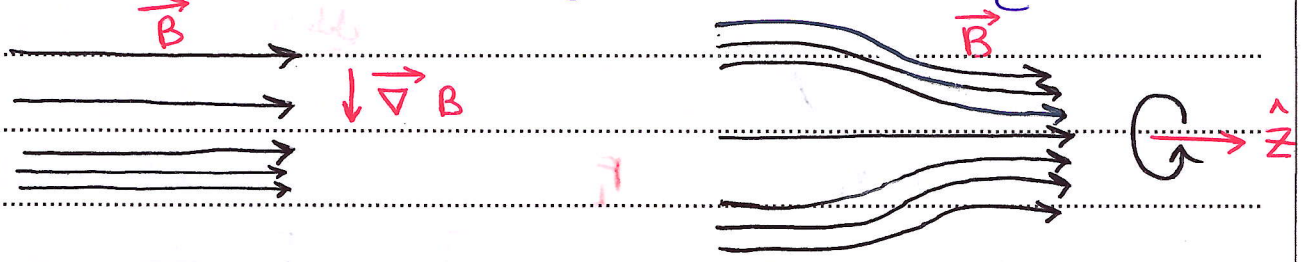
ملاحظات:

1- يستخدم المجال المغناطيسي لحصر البلازما، لأنه يحول الطاقة الأفقية إلى طاقة عمودية (تعليل)

2- إن المجال المغناطيسي المتغير يبطئ لا يتبادل الطاقة مع الجسيمات المشحونة لذلك عند تغيره وحسب معادلة العزم المغناطيسي فإن الزيادة في المجال المغناطيسي تعني الزيادة في الطاقة العمودية ويكون تأثير هذه الزيادة على حساب الطاقة الأفقية لذلك يستخدم المجال المغناطيسي لحصر البلازما

الانجراف الناتج عن تدرج (انحدار) المجال المغناطيسي:

عندما يحدث التدرج (الانحدار) في المجال المغناطيسي فأنه إما يكون عمودياً أو موازياً كما يلي:



عندما يوضع جسيم مشحون في وسط فيه المجال المغناطيسي غير متجانس (متدرج أو متدرج) فأن هذه الجسيمات ستنحرف باتجاه يعتمد على المجال المغناطيسي ويكون حساب سرعة الانجراف هذه كما يلي:

يكافئ الجسيم المشحون المتحرك في دائرة تنائي القطب المغناطيسي يعطى عزمه بالعلاقة:

$$|\vec{\mu}| = \frac{W_\perp}{B}$$

وتؤثر على الجسيم المشحون المتحرك في مجال مغناطيسي متدرج قوة تسمى هذه القوة إلى حركة الجسيم باتجاه تناقص شدة المجال المغناطيسي

$$\vec{F} = -\mu \vec{\nabla} B = -\frac{W_\perp \vec{\nabla} B}{B}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

بتعويض هذه القوة بعبارة سرعة الانجراف نجد أن

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

$$\Rightarrow \vec{v}_{\vec{\nabla}B} = -\frac{\mu \vec{\nabla} B \times \vec{B}}{qB^2} = -\frac{W_\perp \vec{\nabla} B \times \vec{B}}{qB^2}$$

أو بالصيغة:

$$\vec{v}_{\vec{\nabla}B} = \frac{\frac{1}{2} m v_\perp^2 \vec{\nabla} B \times \vec{B}}{qB^2} = \pm \frac{1}{2} v_\perp r_L \frac{\vec{\nabla} B \times \vec{B}}{B^2}$$

نستنتج أنه عند وجود تدرج في المجال المغناطيسي متعامد مع المجال المغناطيسي فإن البلازما سوف تنجرف باتجاه يكون عمودياً على كل من $\vec{B}$ وعلى $\vec{\nabla} B$ ويعتمد هذا الانجراف على نوع الشحنة والناتج هو تيار كهربائي يمر بالبلازما ويسبب خسارتها

سؤال:

برهن أن $\vec{v}_{\vec{\nabla}B} = \frac{W_\perp \vec{B} \times \vec{\nabla} B}{qB^2}$ ؟

الحل:

يتولد عند دوران الجسيمات المشحونة حول المجال المغناطيسي عزم مغناطيسي وينشأ عن دوران الجسيمات تيار كهربائي مما يولد مجال مغناطيسي معاكس للمجال المغناطيسي المطبق من الخارج (البلازما دايا مغناطيسية)

ويعطى العزم المغناطيسي بالعلاقة:

$$\vec{\mu} = I \vec{S} \qquad S = \pi r_L^2$$

$$I = \frac{q}{T} = \frac{q w_c}{2\pi}$$

$$\Rightarrow \vec{\mu} = \ldots$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي ساكن ومنتظم $(\vec{B}=0 \ , \ \vec{E}\neq 0)$

تعطى معادلة الحركة للجسيم في هذه الحالة بالصيغة:

$$\vec{F}=q\vec{E} \Rightarrow m\frac{d\vec{v}}{dt}=q\vec{E} \quad \dots (1)$$

من أجل $\vec{E}$ ثابت (ساكن) يمكن مكاملة المعادلة (1) بشكل مباشر والحصول على

$$\vec{v}=\frac{q\vec{E}}{m}t+\vec{v}_0 \quad \dots (2)$$

وبإجراء تكامل ثاني نحصل على مسار الجسيم

$$\vec{r}=\frac{1}{2}\left(\frac{q\vec{E}}{m}\right)t^2+\vec{v}_0 t+\vec{r}_0 \quad \dots (3)$$

حيث: $\vec{r}_0$: الموضع الابتدائي للجسيم

حيث: $\vec{v}_0$: السرعة الابتدائية

ونستنتج أن الجسيم يتحرك بتسارع ثابت $\left(\frac{q\vec{E}}{m}\right)$

ويكون هذا التسارع في اتجاه $\vec{E}$ إذا كانت الشحنة موجبة وعكس المجال $\vec{E}$ إذا كانت الشحنة سالبة ولا يوجد تسارع في الاتجاه العمودي لـ $\vec{E}$

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي ساكن ومنتظم $(\vec{B}\neq 0 \ , \ \vec{E}=0)$

نفرض أن جسيماً مشحون بشحنة q وله كتلة m يتحرك بسرعة $\vec{v}$ في مجال مغناطيسي ثابت ومنتظم وأن $\vec{E}=0$ تعطى عندئذٍ معادلة حركة الجسيم بالعلاقة

$$m\frac{d\vec{v}}{dt}=q\vec{v}\times\vec{B} \quad \dots (4)$$

يكون من المناسب في هذه الحالة كتابة عبارة السرعة $\vec{v}$ على شكل مجموع مركبتين: مركبة موازية للمجال المغناطيسي ونرمز لها بالرمز $\vec{v}_{//}$ ومركبة معامدة للمجال المغناطيسي ونرمز لها بالرمز $\vec{v}_{\perp}$ أي أن:

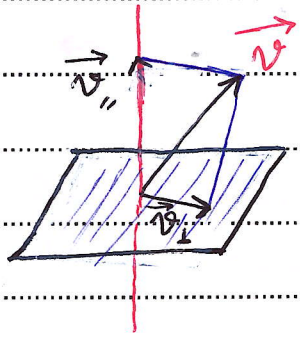
$$\vec{v}=\vec{v}_{//}+\vec{v}_{\perp} \quad \dots (5)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

بالتعويض من (5) في (4) نجد :

$$\frac{d\vec{v}_{//}}{dt} + \frac{d\vec{v}_{\perp}}{dt} = \frac{q}{m}\left[(\vec{v}_{//} + \vec{v}_{\perp}) \times \vec{B}\right]$$

$$= \frac{q}{m}\left[\vec{v}_{\perp} \times \vec{B}\right] \quad \ldots (6)$$



بما أن الحد الناتج عن $\vec{v}_{\perp} \times \vec{B}$ يكون عمودياً على $\vec{B}$ فإن معادلة المركبة الموازية يساوي إلى

$$\frac{d\vec{v}_{//}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{v}_{//} = \vec{v}_{//}(0) \quad \ldots (7)$$

ويساوي معادلة المركبة المعامدة إلى

$$\frac{d\vec{v}_{\perp}}{dt} = \frac{q}{m}\left(\vec{v}_{\perp} \times \vec{B}\right) \quad \ldots (8)$$

تبين المعادلة (7) أن سرعة الجسيم على طول (باتجاه) المجال $\vec{B}$ لا تتغير وتساوي إلى سرعة الجسيم الابتدائي

أما من أجل حركة جسيم في المستوي العمودي على $\vec{B}$ فيمكننا إيجادها من المعادلة (8) بالصيغة

$$\frac{d\vec{v}_{\perp}}{dt} = \frac{q}{m}\left(\vec{v}_{\perp} \times \vec{B}\right)$$

$$= -\frac{q}{m}\left(\vec{B} \times \vec{v}_{\perp}\right) = \vec{\omega}_c \times \vec{v}_{\perp} \quad \ldots (9)$$

حيث $\vec{\omega}_c$ متجه يعين بالصيغة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$\vec{\omega_c} = -\frac{q\vec{B}}{m} \quad \text{يعني} \quad \omega_c = |\vec{\omega_c}| = \left|-\frac{qB}{m}\right|$$

ملاحظة:

بما أن $\vec{\omega_c}$ مقدار ثابت فإنه ينتج من ضرب المعادلة (9) سلمياً (داخلياً) بـ $\vec{v_\perp}$ ينتج أن

$$\Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}v_\perp^2\right) = 0 \Rightarrow \vec{v_\perp} = \overrightarrow{const}$$

تبين المعادلة (9) أن تسارع الجسيم يكون ثابت بالمقدار وأن اتجاهه يكون عمودياً على كلاً من $\vec{v_\perp}$ و $\vec{\omega_c}$ وبالتالي فإن هذا التسارع يوافق حركة دورانية للجسم $\vec{v_\perp}$ في المستوي العمودي على $\vec{B}$ بسرعة زاوية ثابتة ω_c

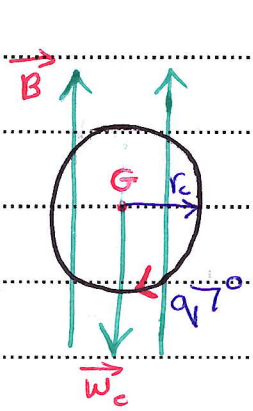
يمكننا مباشرة مكاملة المعادلة (9) مع اعتبار أن ω_c ثابت (تعليل)

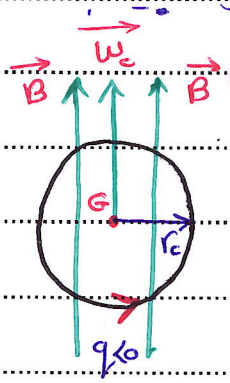
واعتبار أن $\vec{v_\perp} = \frac{d\vec{r_\perp}}{dt}$ نحصل على

$$\vec{v_\perp} = \vec{\omega_c} \times \vec{r_\perp} \quad \ldots(10)$$

حيث $\vec{r_\perp}$: يدل على موضع الجسيم بالنسبة إلى مركز الدوران G في المستوي العمودي على $\vec{B}$ وتكون حركة الجسيم في المستوي العمودي على $\vec{B}$ دائرية بنصف قطر r_c من النقطة G (المركز اللحظي للدوران)

وهذه الحركة مبينة بالشكل أدناه

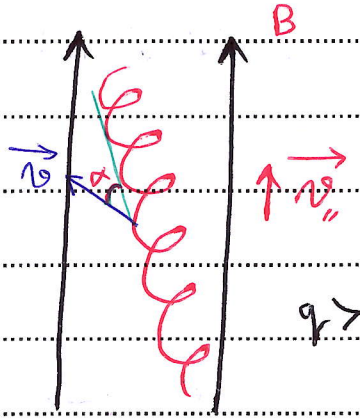




TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

ينتج أن مسار الجسيم يتكون من تركيب حركتين، حركة منتظمة على طول المجال $\vec{B}$ بسرعة ثابتة $\vec{v}_{//}$، وحركة دائرية في المستوي العمودي على $\vec{B}$ بسرعة ثابتة أيضاً $\vec{v}_{\perp}$ وتكون الزاوية بين $\vec{B}$ واتجاه الحركة للجسيم معطاة بالعلاقة التالية:

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{v_{\perp}}{v}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{v_{\perp}}{v_{//}}\right)$$



$v^2 = v_{//}^2 + v_{\perp}^2$ حيث v: السرعة الكلية للجسيم

فعندما $v_{\perp} \neq 0$ و $v_{//} = 0 \Leftarrow \alpha = \frac{\pi}{2}$ والجسيم يتحرك حركة دائرية في المستوي العمودي على $\vec{B}$

وعندما $v_{\perp} = 0$ و $v_{//} \neq 0 \Leftarrow \alpha = 0$ فالجسيم يتحرك مع طول $\vec{B}$ بسرعة $\vec{v}_{//}$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة