كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : الكتروديناميك

المحاضرة: الخامسة/نظري/كتابة

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

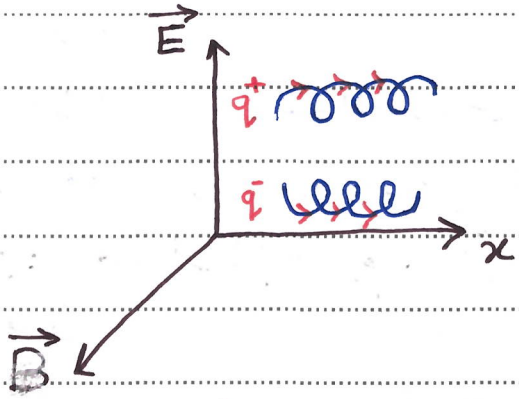
يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

الانحراف الحقل الكهربائي:

سرعة الانحراف $v_d = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{B^2}$ وتنحرف جميع الجسيمات المشحونة مهما كانت كتلتها أو شحنتها بسرعة واحدة وباتجاه واحد.

نفترض أن جسيماً مشحوناً بشحنة موجبة q^+ يتحرك في مسار دائري بفعل الحقل المغناطيسي.

يكون الحقل المغناطيسي متجانس وثابت ومحمول على المحور oz حيث يكون عندئذ مسار هذا الجسيم واقعاً في المستوي xy



إذا وقع هذا الجسيم تحت تأثير حقل كهربائي متجانس وساكن وثابت $\vec{E}$ محمول على oy فإن سرعة هذا الجسيم المشحون تزداد عندما ينزاح باتجاه تأثير هذا الحقل $\vec{E}$ وبالتالي تزداد نصف قطر تقوسس مساره في الجزء العلوي من هذا المسار أما عندما تتغير اتجاه حركة هذا الجسيم الذي كان يتحرك في مسار بنصف قطر تقوسه كبير بفعل الحقل المغناطيسي يبدأ في الحركة في اتجاه معاكس لاتجاه الحقل الكهربائي وتتناقص من جراء ذلك (بسبب ذلك) سرعة

هذا الجسيم وتتناقص نصف قطر تقوسس مساره في الجزء السفلي من هذا المسار حيث يعمل الحقل المغناطيسي في هذا الجزء على ثني مسار الجسيم بشكل أشد مما في الجزء العلوي. بالتالي يتم تغيير اتجاه حركته على جزء صغير من مساره ليبدأ حركته من جديد في الاتجاه الذي يؤثر وفقه الحقل الكهربائي عندئذ لا يعود الجسيم المشحون في أثناء اجتيازه لفة واحدة إلى النقطة التي بدأ منها حركته بل يتباعد وفق المحور ox بالاتجاه الموجب بعد اتمام كل دورة أو لفة.

تقود المعالجة المماثلة في الحالة التي يكون فيها شحنة الجسيم سالبة إلى حدوث انحراف في الاتجاه السابق نفسه ox على الرغم من أن اتجاه الدوران يكون معاكساً وتسمى هذه الظاهرة انحراف الجسيم المشحون في حقل كهربائي بالرجوع إلى عبارتي الحقل الكهربائي $\vec{E}$ والمغناطيسي $\vec{H}$ للموجة الكهرطيسية المستوية.

نلاحظ أن سرعة الضوء هي بدورها سرعة انحراف الحقل الكهربائي لهذه الموجة (نفترض أن متجه الواحدة $\vec{S}$ محمول على ox).

لتعيين مسار الجسيم المشحون المتحرك في الحقلين الكهربائي والمغناطيسي:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= v_1 \cos\left(\omega_c t - \varphi + \frac{E}{B}\right) \\ v_y &= -v_1 \sin(\omega_c t - \varphi) \end{aligned}\right\} \quad (3,1)$$

بإجراء المكاملة:

$$\left.\begin{aligned} x &= x_0 + \frac{v_1}{\omega_c}\sin(\omega_c t - \varphi) + \frac{E}{B}t \\ y &= y_0 + \frac{v_1}{\omega_c}\cos(\omega_c t - \varphi) \end{aligned}\right\} \quad (3,2)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

لتعيين مسار الجسيم المشحون الذي تعين حركته بالمعادلتين (3,2) نلاحظ أن سرعة الانجراف $\vec{v_d}$ المعينة في المعادلة (2,10) تكون محمولة على المحور ox كما يتعين لنا من المعادلة (3,2) لذلك يكون من الملائم الانتقال من المتحول x إلى متحول جديد x_1

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= x - v_d t \\ &= x - \frac{E}{B} t \end{aligned}\right\} \quad (3,3)$$

يحتفظ هذا التحويل بمعنى بسيط وهو الانتقال من جملة الاحداثيات الأساسية إلى جملة احداثيات جديدة متحركة بالنسبة إلى الجملة الأساسية بسرعة ثابتة: $\vec{v_d} = \frac{E}{B}$ ومحمولة على المحور ox باستخدام التحويل (3,2) نلاحظ أن مركبتي معادلة الحركة

$$m \frac{\vec{dv}}{dt} = q\vec{E} + q(\vec{v} \wedge \vec{B})$$

تأخذان في جملة الاحداثيات الجديدة الشكل الآتي:

$$\left.\begin{aligned} \ddot{x_1} &= \ddot{x} = \omega_c \dot{y} \\ \ddot{y} &= \frac{q}{m} E - \omega_c \dot{x} \\ &= \frac{q}{m} E - \omega_c \left(\dot{x} + \frac{E}{B}\right) \\ &= -\omega_c \dot{x_1} \end{aligned}\right\} \quad (3,4)$$

من الملاحظ من هاتين المركبتين الأخيرتين عدم وجود أي أثر للحقل الكهربائي

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

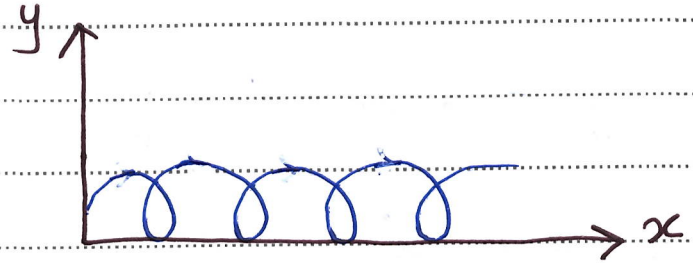
وهما بمثابة معادلتي حركة الجسيم المشحون في حقل مغناطيسي متجانس وثابت ومحمول على المحور oz.

يتضح من ذلك أن الجسيم المشحون يتحرك في الجملة الجديدة xy حركة دائرية بإجراء مكاملة مرتين على العبارة (3,4) بالشكل المبين في (3,1) نعمل على معادلة الحركة (3,2) نظراً لكون الجملة الجديدة xy متحركة بالنسبة إلى الجملة الأساسية بالسرعة $\vec{v}_d = \frac{E}{B}$

نقول أن الحركة المحصلة للجسيم المشحون هي تركيب من حركتين: الأولى: حركة اسحابية منتظمة مركز الدوران وفق المحور ox بسرعة ثابتة هي سرعة انجراف والثانية: حركة دورانية حول هذا المركز بسرعة تساوي $\vec{v}_R$ يعين تركيب هاتين الحركتين في الحالة العامة شكلاً دموجياً ويتعلق معادلاته بالشروط الابتدائية إذا كان الجسيم موجوداً في اللحظة الابتدائية t_0 في مبدأ الاحداثيات وكان الطور $\varphi = 0$ و $x_0 = 0$

و $y_0 = -\frac{v_1}{\omega_c}$

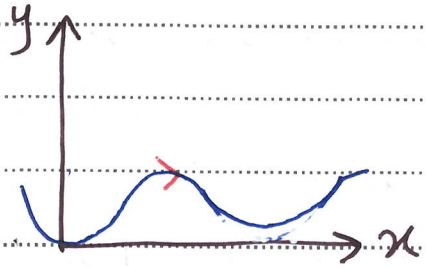
كما يتبين لنا من (3,2) عندئذ يتعين المسار بقيمة مركبة السرعة العمودية v_1 فإذا كانت $|v_1| > \frac{E}{B}$ يكون المسار من الشكل



الشكل (3,a)

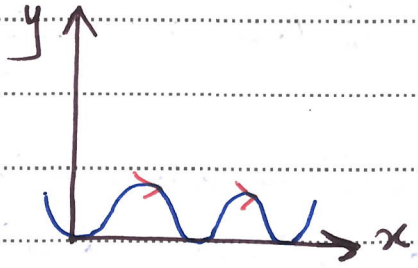
TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

وإذا كان $|v_1| < \frac{E}{B}$ يكون المسار من الشكل



الشكل (3,b)

وإذا كان $|v_1| = \frac{E}{B}$ يكون المسار من الشكل



الشكل (3,c)

حركة الجسيمات المشحونة في الحقول المغناطيسية المتغيرة ببطء:

1- شرطا تقريب التغير البطيء للحقل المغناطيسي:

ننتقل إلى بحث وهي حركة الجسيمات المشحونة في الحقول المغناطيسية المتغيرة ببطء في المكان والزمان

يعد إجراء تكامل معادلات الحركة بالحالة العامة التي تكون فيها الحقول المؤثرة متغيرة مسألة في غاية الصعوبة لذلك نكتفي هنا بمعالجة الحالات الخاصة التي تتغير فيها الحقول مع الزمن ببطء في أثناء الانتقال من نقطة إلى نقطة أخرى مجاورة

إذا كان الحقل المغناطيسي المؤثر يتغير ببطء في المكان والزمان كان بإمكان

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

الجسيم المشحون المتحرك من القيام بعدد كبير من اللفات في مساره قبل أن يتغير هذا الحقل بشكل ملموس وتكون عندئذ هذه الحركة من الناحية العملية كما لو أن الحقل يبقى ثابت.

اعتماداً على ذلك يمكن تتبع حركة المركز اللحظي لدوران الجسيم أو كما يسمى عادة المركز المتقدم للحركة بديلاً عن حركة الجسيم بالذات، لكن يجب أن نأخذ بالحسبان ظهور الحقل الكهربائي ولو ضعيف نسبياً عندما يكون الحقل المغناطيسي متغيراً مع الزمن لأنه وفق معادلة ماكسويل

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = - \frac{\vec{B}}{t}$$

يترتب على تغير حقل المغناطيس بالنسبة للزمن ظهور حقل كهربائي التنافي يضاف إلى الحركة الانسحابية للمركز المتقدم التي تعد بدورها حركة طولانية للجسيم المشحون الذي يقع تحت تأثير حقل مغناطيس ضعيف وحقل كهربائي متولد لحركة آخرى دورانية لهذا الجسيم حول خطوط الحقل المغناطيس بالتالي تكون حركة الجسيم حركة دورانية في دائرة نصف قطرها R_c

وحركة انجراف لمركز هذه الحركة الدورانية وتكون معالجة هذه المسألة بالشكل الموصوف أعلاه ~~وفق الاعتبارين~~ معالجة صحيحة وفقاً للاعتبارين السابقين

إذا كان تغير نصف قطر الدائرة خلال دورة واحدة أقل بشكل ملموس من نصف قطر الدوران بالذات ومن الواضح أن هذا الشرط يتحقق بشكل جيد.

إذا كان الزمن المميز لتغير الحقل Δt (char Field)

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

أكبر بشكل ملحوظ من الزمن اللازم لانجاز لفة واحدة T_c وإذا كان البعد المميز لتغير الحقل

$$\Delta L^{char}_{Field}$$

أكبر بشكل كبير من نصف قطر الدوران R_c

$$\left.\begin{aligned} \Delta t^{char}_{Field} &\gg T_c \\ \Delta L^{char}_{Field} &\gg R_c \end{aligned}\right\} \quad (4,1)$$

بالإمكان معاودة صياغة هذان الشرطين كما بالشكل الآتي:

$$\left.\begin{aligned} T_c \left|\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right| \ll |\vec{B}| &\Rightarrow \frac{1}{\omega_c}\left|\frac{\partial \vec{B}/\partial t}{\vec{B}}\right| \ll 1 \\ R_c \left|\frac{\partial \vec{B}}{\partial r}\right| \ll |\vec{B}| &\Rightarrow R_c\left|\frac{\partial \vec{B}/\partial r}{\vec{B}}\right| \ll 1 \end{aligned}\right\} \quad (4,2)$$

وبشكل مشابه يمكن تعيين الشرطين اللازمين لتغيرات الحقل الكهربائي حتى يمكن عده حقلاً متغيراً ببطء

من الملاحظ أن الشرطين (4,2) يكون محققين بشكل أفضل كلما كانت قيمة الحقل المغناطيسي أكبر لأن التواتر ω_c يزداد بشكل طردي بازدياد

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

عكسياً
قيمة هذا الحقل إما R_c نصف القطر يتناسب مع قيمة الحقل المذكور $\vec{B}$
حتى تكون المعالجة صحيحة يجب أن لا تكون قيمة $\vec{E}$ كبيرة جداً خلال
مدى دورة (لفة) واحدة فقط لا غير - يجب أن لا تتغير سرعة الجسيم
بشكل كبير ويجب أن يحقق هذا التغير الشرط التالي:

$$\delta v \sim \frac{q}{m} E T_c \sim \frac{qE}{m\omega_c} = \frac{E}{B} \ll v$$

أو بكلام أكثر دقة يجب أن يكون تطبيق الشرط التالي

$$E \ll vB \quad (4.3)$$

فإذا كانت قيمة الحقل الكهربائي كبيرة كان بإمكان إهمال تأثير
الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ بالتالي لا يمكن عندئذ حدوث انحراف
أما عندما تكون قيمة $\vec{E}$ صغيرة نسبياً بالمقارنة مع قيمة الحقل $\vec{B}$
فإن الجسيم المشحون يتأثر بالحقل المغناطيسي وينحرف ببطء تحت
تأثير الحقل الكهربائي.
عند تحقق الشروط (4,2) و (4,3) يكون المسار الفعلي للجسيم
مساراً لولبياً مشوهاً بعض الشيء وبتغير نصف قطره وخطوته
ببطء.
تسمى حركة المركز المتقدم بالانجراف وسمي التقريب الذي يعين
حركة هذا المركز المتقدم عند إهمال الدوران الحاصل بتقريب الانجراف

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مكتبة A to Z