حركة دقيقة مشحونة في مجال مغناطيسي منتظم

1 ـ تأثير مجال مغنطيسي على حزمة من إلكترونات

تجربة : عند تقريب مغنطيس من أنبوب مفرغ نلاحظ انحراف الحزمة الإلكترونية . نفس الملاحظة عند تقريب ملف لولبي يمر فيه تيار كهربائي . يتغير منحى الانحراف عند عكس موضعي قطبي المغنطيس أو بعكس منحى التيار الكهربائي المار في الملف اللولبي .

نستنتج :

ميكانيكيا على حزمة الإلكترونات داخل النبوب المفرغ من الهواء . نقرن هذا التأثير الميكانيكي بقوة تسمى القوة المغنطيسية . ما هي مميزاتها ؟

2 ـ القوة المغنطيسية ،

2 ـ 1 علاقة لورنتز

تخضع دقيقة مشحونة ، ذات شحنة q تتحرك بسرعة متجهتها $\vec{v}$ داخل مجال مغنطيسي متجهته $\vec{B}$ إلى قوة مغنطيسية $\vec{F}$ تسمى قوة لورنتز تحددها العلاقة المتجهية التالية : $\vec{F} = q\vec{E} \wedge \vec{B}$

معرفة مميزات المتجهتين $q\vec{v}$ و $\vec{B}$ تمكن من استنتاج مميزات القوة $\vec{F}$.

خلال هذه الدراسة نهمل وزن الدقيقة المشحونة أمام القوة المغنطيسية التي تطبق عليها

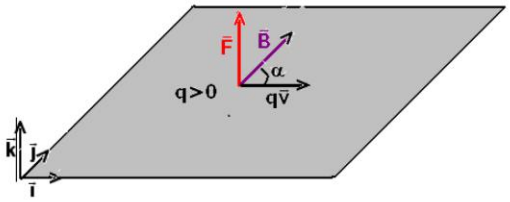
2 ـ 2 مميزات القوة المغنطيسية

مميزات قوة لورنتز هي :

ـ نقطة التأثير الدقيقة نفسها باعتبارها نقطة مادية .

ـ خط التأثير : العمودي على المستوى المحدد بواسطة $(\vec{v}, \vec{B})$ ؛ $\vec{F}$ عمودية على المتجهة $\vec{v}$ وعلى المتجهة $\vec{B}$.

ـ المنحى : هو المنحى بحيث يكون ثلاثي الوجه $(q\vec{v}, \vec{B}, \vec{F})$ مباشرا .



ـ الشدة : $F = |qvB\sin\alpha|$

q : شحنة الدقيقة ب (C)

v : سرعة الدقيقة ب m/s

B : شدة المجال المغنطيسي (T)

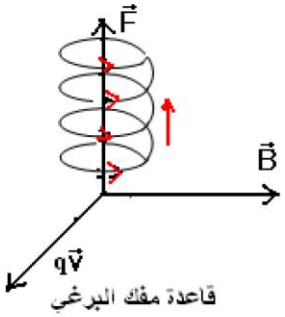
α الزاوية التي تكونها $\vec{v}$ مع $\vec{B}$

F : شدة قوة لورنتز (N)

ملحوظة :

منحى $\vec{F}$ يتغير حسب إشارة q . عمليا للحصول على منحى المتجهة $\vec{F}$ نطبق إحدى القواعد .

ـ قاعدة الأصابع الثلاث لليد اليمنى . الإبهام $q\vec{v}$. السبابة : $\vec{B}$. الوسطى :$\vec{F}$



ـ قاعدة مفك البرغي

ـ قاعدة اليد اليمنى

الحالات التي تنعدم فيها القوة المغناطيسية :

q=0 دقيقة محايدة كهربائيا

$\vec{v} = \vec{0}$ دقيقة متوقفة

$\vec{B} = \vec{0}$ غياب المجال المغنطيسي

$\alpha = \pi$ أو $\alpha = 0$ أي $\vec{v}$ و $\vec{B}$ على استقامة واحدة .

تمرين تطبيقي : **ندخل حزمة من دقائق الهيليوم** $^4_2He^{2+}$ **بسرعة** $v_0 = 10^3 m/s$ **مجالا مغناطيسيا شدته** $B = 2.10^{-3} T$ **. علما أن** $(\vec{v}_0, \vec{B})$ **تكون زاوية** $60°$ **، أحسب شدة القوة المغناطيسية التي تخضع إليها الدقائق الهيليوم . ومثل المتجهات** $\vec{B}$ **و** $\vec{v}_0$ **و** $\vec{F}$ **على تبيانة في الحالتين التاليتين :** $(\vec{v}_0, \vec{B}) = 60°$ **و** $(\vec{B}, \vec{v}_0) = 60°$

الحل : حسب علاقة لورنتز : $\vec{F} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$ حسب المعطيات عندنا $q = +2e$ و $v_0 = 10^3\, m/s$ و $B = 2.10^{-3}\, T$

بما أن شدة القوة $\vec{F}$ هي $F = |qvB\sin\alpha|$ فإن $F = 3,2.10^{-19}\, N$

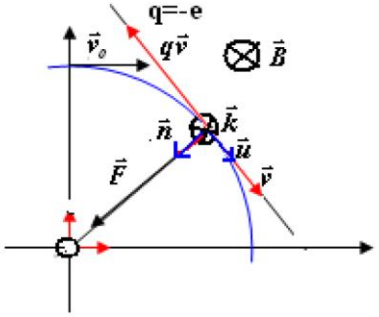
3ـ حركة دقيقة مشحونة في مجال مغناطيسي منتظم

ندرس حركة دقيقة تم نعممها على الحزمة الإلكترونية باعتبار أن جميع الدقائق مماثلة في الحركة
نعتبر دقيقة شحنتها q وكتلتها m تلج مجالا مغنطيسيا منتظما $\vec{B}$ بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ عمودية على $\vec{B}$.

أ ـ طبيعة حركة الحزمة الإلكترونية داخل المجال المغناطيسي $\vec{B}$.

ـ نبين أن مسار الإلكترون مسار مستو ي
نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدقيقة في اللحظة t ،
نهمل وزن الدقيقة أمام الشدة القوة المغناطيسية فتصبح العلاقة المتجهية السابقة على $\vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}$
الشكل التالي : $\vec{F} = m.\vec{a}$ وبما أن $\vec{F} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$ إذن $q\vec{v}_0 \wedge \vec{B} = m.\vec{a}$ أي أن $\vec{a} = \frac{q}{m}\left(\vec{v}_0 \wedge \vec{B}\right)$
في معلم فريني الذي تم اختياره في الشكل $M\left(\vec{u},\vec{n},\vec{k}\right)$ أن $\vec{a}\,(0,a_n,0)$ يعني أن $a_z = 0$ ومنه $z = g(t) = 0$ مما يبين أن حركة الدقيقة تتم في المستوى $(\vec{u},\vec{n})$ وبالتالي فحركة الدقيقة حركة مستوية .

ب ـ ما هو شكل المسار ؟



حسب التحليل السابق وفي معلم فريني $a_t = \frac{dv}{dt} = 0$ أي أن

$v = cte = v_0$

وكذاك $a_n = \frac{v_0^{\,2}}{\rho_{\,n}}$ ونعلم أنه في معلم فريني $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t = \vec{a}_n$

إذن $a = a_n \Rightarrow \frac{q}{m}v_0 B = \frac{v_0^{\,2}}{\rho}$ نستنتج أن $\rho = \frac{m.v_0}{|q|.B} = Cte = R$

إذن مسار الدقيقة هو مسار دائري .

ج ـ خلاصة

حركة دقيقة ذات شحنة q وكتلة m عند ولوجها مجالا مغناطيسيا منتظما $\vec{B}$ بسرعة بدئية $\vec{v}_0$ متعامدة مع $\vec{B}$ ، حركة دائرية منتظمة .
ـ مسارها ينتمي إلى المستوى العمودي على المجال .
ـ شعاعها يساوي : $R = \frac{m.v_0}{|q|.B}$ **(1)**

د ـ الدراسة الطاقية

*** قدرة القوة المغناطيسية**

$\mathcal{P} = \vec{F}.\vec{v} \Leftrightarrow \mathcal{P} = q\left(\vec{v} \wedge \vec{B}\right).\vec{v} = 0$

قدرة القوة المغناطيسية دائما منعدمة لكون أن هذه القوة دائما عمودية على السرعة
نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الدقيقة عند انتقالها خلال مدة زمنية Δt :

$\frac{1}{2}mv^2 = Cte \Rightarrow v = cte = v_0$ إذن $E_c = Cte$ أي أن $\Delta E_c = W(\vec{F}) = 0$

خلاصة : المجال المغناطيسي لا يغير الطاقة الحركية لدقيقة مشحونة .

4 : الإنحراف المغناطيسي

تعريف : نسمي الانحراف المغناطيسي المسافة $\overline{O'P} = D_m$

تلج حزمة دقائق من النقطة O وبسرعة $\vec{v}_0$ حيزا طوله ℓ حيث يخضع لمجال مغناطيسي منتظم ☐ متعامد مع متجهة السرعة البدئية .

مسار كل دقيقة في المجال المغناطيسي هو عبارة عن قوس من دائرة مركزها C وشعاعها $R = \frac{mv_0}{|q|.B}$

.

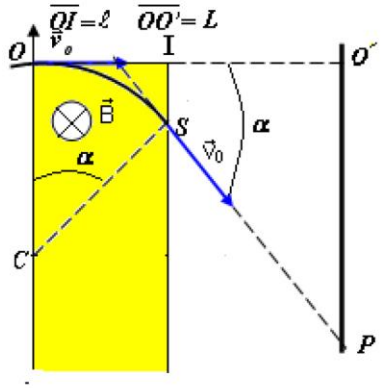
عند النقطة S تغادر الدقيقة المجال المغناطيسي بسرعة $\vec{v}_0$ بحيث تصبح حركتها مستقيمية منتظمة (مبدأ القصور)

الزاوية $\alpha = (OC, OS)$ تسمى بالانحراف الزاوي بحيث أن $\sin\alpha = \frac{\ell}{R}$ وكذلك

$$\tan\alpha = \frac{\overline{O'P}}{\overline{OO'} - \overline{OI}} = \frac{D_m}{L - \overline{OI}}$$

وبما أن في الأجهزة المستعملة α صغيرة جدا وكذلك $\ell << L$ ($\sin\alpha = \tan\alpha$)

$$D_m = \frac{|q|.B.L.\ell}{m.v_0} \quad \text{أي أن} \quad \frac{\ell}{R} = \frac{D_m}{L}$$



ملحوظة : المقارنة بين الانحراف الكهربائي والانحراف المغناطيسي

$D_e = \frac{|q|E.L.\ell}{m.v_0^2}$ و $D_m = \frac{|q|.B.L.\ell}{m.v_0}$

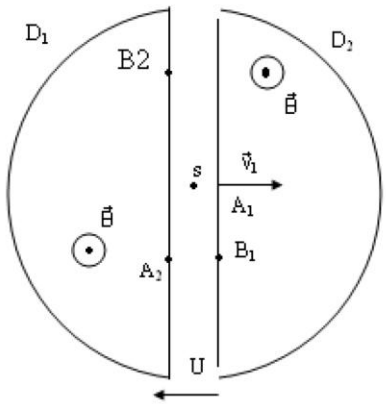
يلاحظ أن ألانحراف المغناطيسي أكثر تكيفا من الانحراف الكهربائي لأنه يتناسب اطرادا مع $\frac{1}{v_0}$. لهذا يستعمل في أنبوب التلفاز .

VI تطبيقات :

1 ـ السيكلوترون

السكلوترون جهاز مسرع الدقائق ، يتكون سيكلوترون من علبتين موصليتين D_1 و D_2 على شكل نصف أسطوانتين مفرغتين تفصل بينهما مسافة جد صغيرة أمام شعاعهما .

يوجد داخل كل علبة مجال مغنطيسي منتظم $\vec{B}$ شدته B =0.14T .



1 ـ نطبق بين العلبتين توترا U تابثا وموجبا . تنطلق حزمة من البروتونات من المنبع S ، فيتم تسرعها نحو العلبة D_1 ، حيث تكون سرعة كل بروتون عند وصوله النقطة A هي : $v_1 = 4.38.10^5 m/s$

1 ـ 2 بتطبيق القانون الثاني لنيوتن أوجد قيمة R_1 ، شعاع المسار الدائري للبروتون داخل D_1 .

1 ـ 2 أوجد قيمة الدور T لحركة البروتون . بين أن T لا ترتبط بسرعة البروتون ولا بشعاع مساره .

2 ـ يصل البروتون إلى B_1 في اللحظة التي تتغير عندها إشارة التوتر U ، فيتسرع البروتون ، من جديد ، نحو العلبة D_2

2 ـ 1 بتطبيق مبرهنة الطاقة الحركية ، أوجد السرعة v_2 للبروتون عند النقطة A_2 ، علما أن U =-2kV قارن v_1 و v_2 .

2 ـ2 ليكن R_2 شعاع مسار البروتون داخل العلبة D_2 برهن على أن $R_2>R_1$.

2 ـ 3 عند وصول البروتون إلى النقطة B_2 ، تتغير إشارة التوتر من جديد . صف حركة البروتون بعد وصوله إلى B_2 . استنتج وظيفة السيكلوترون ، إذا علمت أن إشارة U تتغير دوريا .

نعطي كتلة البروتون $m=1.67.10^{-27}kg$

شحنة البروتون $e = 1.6.10^{-19}C$

2 ـ راسم طيف الكتلة

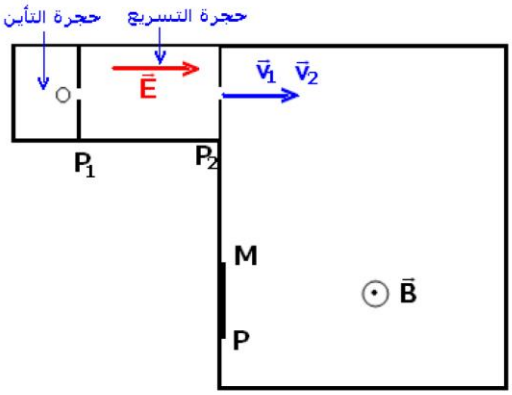
راسم طيف الكتلة جهاز يمكن من فرز أيونات ذات كتل أو شحن مختلفة ، وذلك باستعمال مجال كهرساكن ومجال مغنطيسي .

يتكون راسم الطيف للكتلة من نوع دمبستر (Dempster) من :

حجرة التأين حيث تنتج الأيونات ؛

حجرة التسريع حيث تدخل الأيونات بسرعة تكاد تكون منعدمة لتسرع $\vec{E}$ محدث بواسطة توتر U .

نريد فرز الأيونات $^4_2He^{2+}$,$^3_2He^{2+}$ كتلتاهما إتباعا $m_3= 5.10^{-27}kg$ و $m_4=6.7.10^{-27}$ ندخل الأيونات في مجال كهرساكن منتظم محدث بواسطة توتر U مطبق بين صفيحتين رأسيتين P_1 و P_2 لتسريعهما إلى النقطة A .



1 ـ تخرج الأيونات $^4_2He^{2+}$,$^3_2He^{2+}$ من النقطة A على التتابع بالسرعتين $\vec{v}_1$ و$\vec{v}_2$ نهمل السرعتين عند النقطة O . عبر عن السرعتين v_1 و v_2 بدلالة معطيات النص .

أحسب v_1 وv_2 .

2 ـ تدخل الأيونات ، عند النقطة A ، مجالا مغناطيسيا منتظما $\vec{B}$ عموديا على متجهتي السرعتين $\vec{v}_1$ و$\vec{v}_2$ وتصل إلى منطقة الإستقبال MP المعينة على الشكل .

احسب المسافة MP الفاصلة بين P و M نقطتي وقع الأيونات $^4_2He^{2+}$,$^3_2He^{2+}$ على منطقة استقبال . نعطي U $=10^4V$ و $B=0.5T$