

المغناطيسية

12

United Arab Emirates
Ministry of Education



الإمارات العربية المتحدة
وزارة التربية والتعليم

7

الوحدة السابعة

I ♥
PHYSICS



Magnetism

الفيزياء

مع أسامة النحوي

الثاني عشر - متقدم

الفصل الدراسي الثاني

الاسم :

إعداد الأستاذ

أسامة إبراهيم النحوي

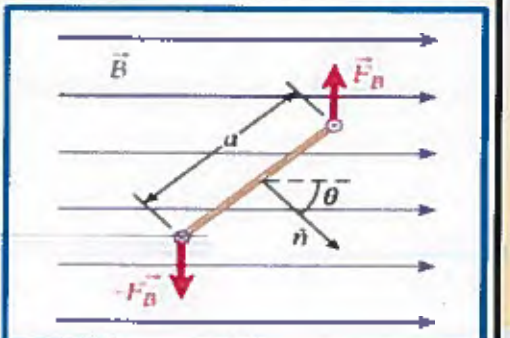
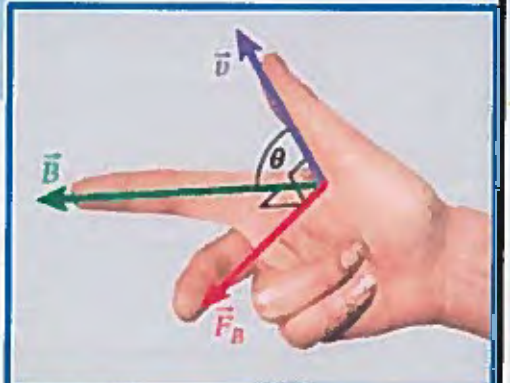
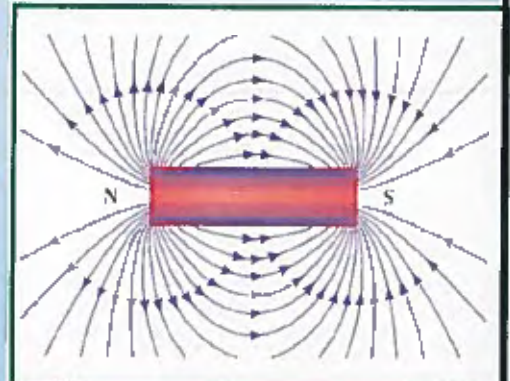
0554543232



العام الدراسي 2018-2019

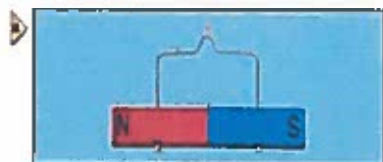
MR Osama Alnahawi

0554543232

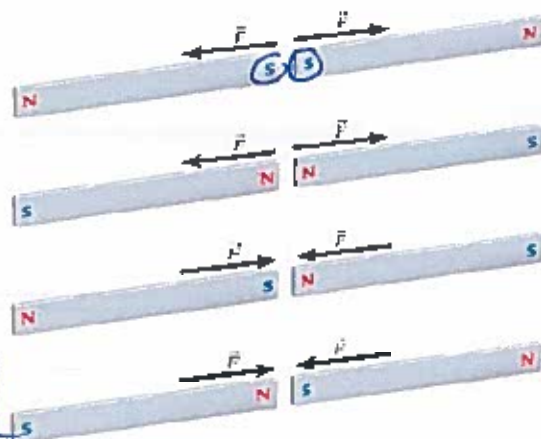


7.1 مغناطيس دائم

إذا علقنا مغناطيسًا بحيط فإن المغناطيس سيتخذ اتجاهًا يتناسب مع الخصائص المغناطيسية للأرض (a)
ستجد أن القطب المغناطيسي قد استقر في اتجاه شمال - جنوب
يمكنك أن نستنتج من خلال هذه التجربة البسيطة أن المغناطيس مستقطب، أي له قطبان متميزان متعاكسان



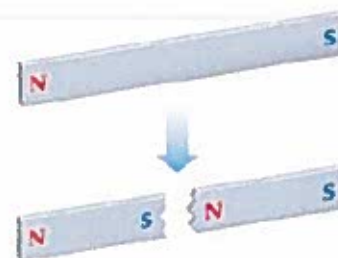
• الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر.
والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب.



يكون القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض
بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي لها .

إذا قسمت المغناطيس إلى نصفين فسيصبح

مغناطيسان جديديان كل منهما له قطبان



* الخصائص العامة للمغناط

- 1- المغناطيس "مستقطب"، أي له قطبان متعاكسان أحدهما شمالي (الباحث عن الشمال) والآخر جنوبي (الباحث عن الجنوب).
 - البوصلة: مغناطيس صغير حر الدوران.
 - 2- الأقطاب المتشابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب.
 - 3- لا توجد قطاب مفردة في المغناط، أي لا يمكن فصل الأقطاب عن بعضها، فعد تقسيم المغناطيس إلى نصفين ينتج مغناطيسان جديديان أصغر،
 - 4- تشير دائما إلى اتجاه (الشمال - الجنوب)، وهو ما يفسر أن الأرض نفسها عبارة عن مغناطيس كبير.
- حيث يشير القطب الشمالي لأبرة البوصلة نحو الشمال الجغرافي حيث يوجد القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض.
ويشير القطب الجنوبي لأبرة البوصلة نحو الجنوب الجغرافي حيث يوجد القطب المغناطيسي الشمالي للأرض.

الحصول على مغناطيس دائم يتم خلط الحديد مع مواد أخرى لإنتاج سبائك تحافظ على ترتيب المناطق المغناطيسية بعد إزالة المجال الخارجي.

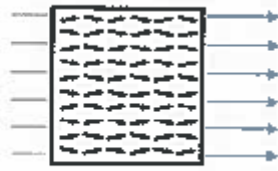
حديد (مادة مغناطيسية)

منطقة المغناطيسية

مكتبة ومكتبة

المغناطيسي لراشتر

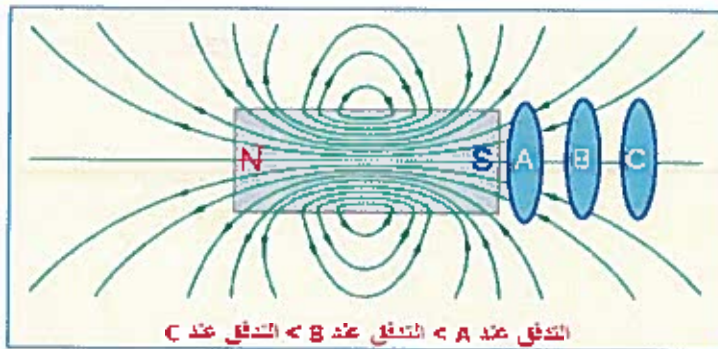
$$B_{net} = 0$$



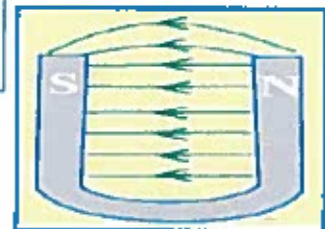
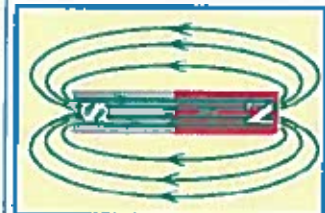
مغناطيسي
المناطق المغناطيسية
بأحدهما واحد
S → N

خصائص خطوط المجال المغناطيسي

- خطوط وهمية تساهم في تصور المجال وتزودنا بمقياس لشدة المجال.
- تبدو خارجة من القطب الشمالي ودخلة إلى الجنوبي خارج المغناطيس ثم تكمل دورتها داخل المغناطيس من القطب الجنوبي إلى الشمالي (شكل حلقات مغلقة) وذلك بسبب عدم وجود مغناطيس أحادي القطب.
- لا تتقاطع، لأنه لو تقاطعت لكان في نقطة التقاطع أكثر من اتجاه للمجال.
- تزداد كثافتها وتقارب أو تتباعد بالقرب من الأقطاب وبقل ترادها كلما ابتعدنا عن الأقطاب أي أن التدفق المغناطيسي (عدد الخطوط التي تخترق وحدة المساحات عمودياً) تكون أكبر ما يمكن عند الأقطاب لأن شدة المجال هناك تكون أكبر ما يمكن.

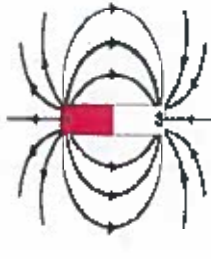
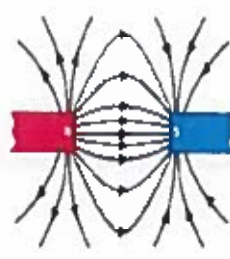
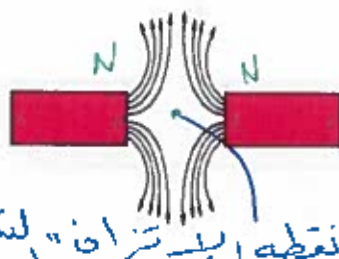
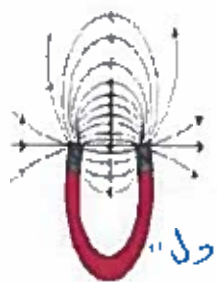


التدفق عند A < التدفق عند B < التدفق عند C



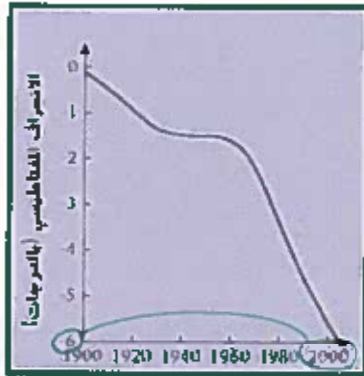
* أنواع المجال :

- مجال منتظم : ثابت المقدار والاتجاه - خطوطه مستقيمة ومتوازية - مثل المجال داخل ساق مغناطيسية.
- مجال غير منتظم : متغير المقدار والاتجاه - خطوطه غير متوازية - مثل المجال خارج ساق مغناطيسية.



أمثلة على
خطوط المجال

نقطة التوازن "لنحو"
 $B_{net} = 0$



نظراً لأن القطب الجغرافي الجنوبي والقطب الشمالي المغناطيسي لا يقعان في الموقع نفسه فإن إبرة البوصلة لا تشير عادةً إلى القطب الجغرافي الشمالي بشكل دقيق. وهذا ما يدعى "الانحراف المغناطيسي".



يكون الانحراف المغناطيسي

موجب إذا كان الشمال المغناطيسي شرق الشمال الحقيقي.

و سالب إذا كان الشمال المغناطيسي غرب الشمال الحقيقي.

ونظراً لأن موقعي قطبي الأرض المغناطيسيين يتغيران بمرور الزمن فإن الانحرافات المغناطيسية للمواقع على سطح الأرض تتغير بمرور الزمن.

تراكب المجالات المغناطيسية

مبدأ تراكب المجالات الكهربائية يشبه مبدأ تراكب المجالات الكهربائية.

$$\vec{B}_{\text{tot}} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \dots$$

مثال : ما مقدار محصلة مجالين مغناطيسيين متعامدين عند نقطة إذا

كان مقدار كل منهما 3T .

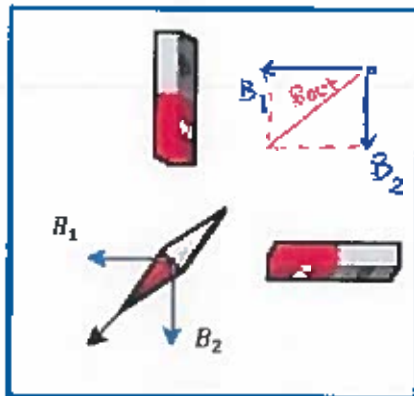
$$B_{\text{net}} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{3^2 + 3^2} = 4.2$$

1.7 (4)

2.4 (3)

4.2 (2)

6 (1)



7.2 القوة المغناطيسية

استخدم الرموز التالية لتحديد الاتجاه لكل من التيار والمجال والقوة والسرعة

•	عمودي على مستوى الصفحة للخارج	×	عمودي على مستوى الصفحة للداخل
→	في مستوى الصفحة لليمين	←	في مستوى الصفحة لليسار
↓	في مستوى الصفحة للأسفل	↑	في مستوى الصفحة للأعلى
تُشير دائماً إلى اتجاه خطوط المجال		N S	إبرة مغناطيسية



قوة المجال المغناطيسي على جسيم مشحون ومتحرك فيه تحسب من العلاقة :

$$F_B = |q|vB\sin\theta$$

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

حيث : $\vec{v} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{v}$

θ : الزاوية المحصورة بين اتجاه السرعة v بوحدة (m/s) واتجاه المجال المغناطيسي B بوحدة (T)

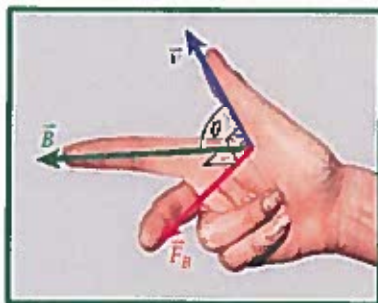
q مقدار الشحنة المتحركة في المجال (دون تعويض الإشارة السالبة) بوحدة الكولوم (C)

اتجاه (F) يعامد كلًا من اتجاهي (B) و (v) وليس شرطاً (B) يعامد (v) .

استنتاجات مهمة من خلال القانون السابق :

1. تتعدم القوة المغناطيسية المؤثرة في الجسيم الموجود في المجال المغناطيسي إذا
 a. الجسيم غير مشحون. $q=0$
 b. إذا كان ساكن $v=0$
 c. الزاوية (صفر أو 180)

2. تكون القوة المغناطيسية أكبر ما يمكن (قيمة قصوى) عندما تتعامد السرعة مع متجه المجال المغناطيسي. (for $\vec{v} \perp \vec{B}$)



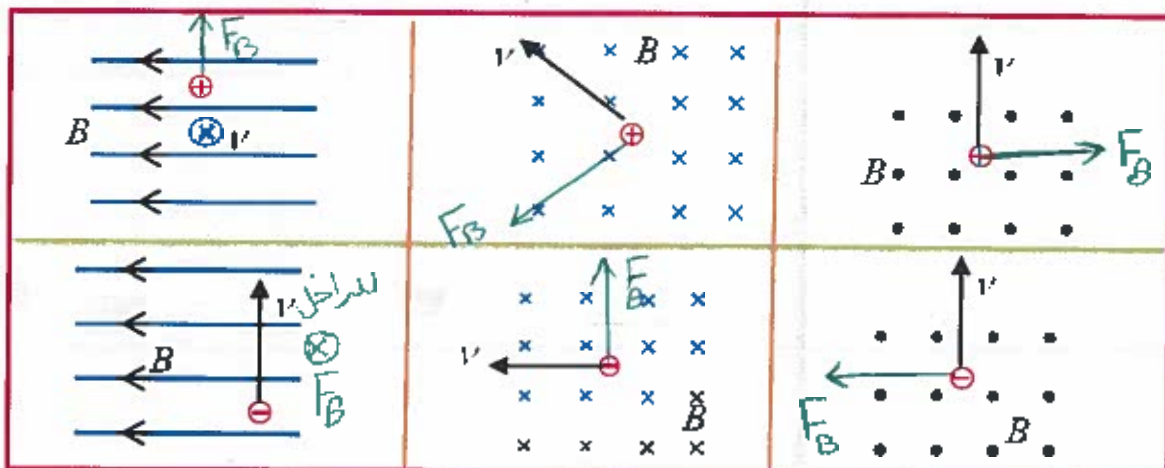
اتجاه القوة : يُحدد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في جسيم مشحون

بشحنة موجبة يتحرك داخل المجال حسب القاعدة الأولى لليد اليمنى

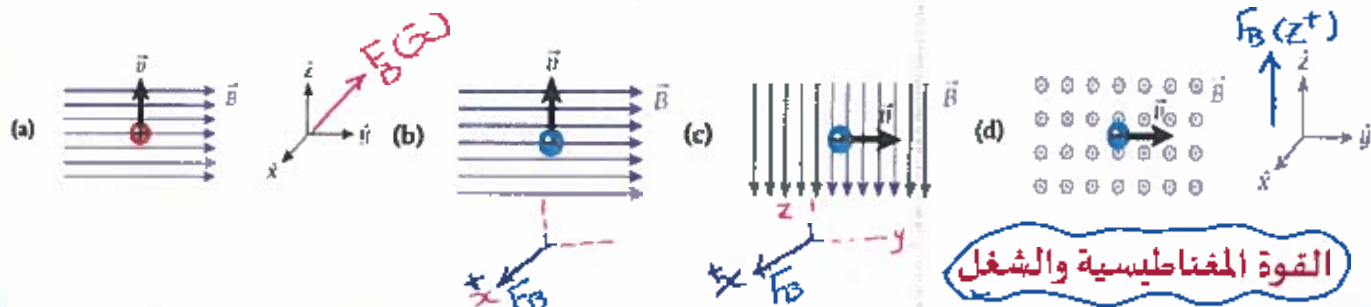
وحسب الشكل المجاور B اصابع v F_B

ملاحظة : إذا كان الجسيم سالب الشحنة تكون القوة بالاتجاه المعاكس.

أمثلة تدريبية على قاعدة اليد اليمنى الأولى (تشمل الشحنات الموجبة والسالبة)



7.13 ارسم القوة المغناطيسية المؤثرة في كل الجسيمات المتحركة الموضحة في الأشكال على النظام الإحداثي XYZ وحدد اتجاهها



القوة المغناطيسية والشغل

بحسب الملاحظة اتجاه (F) يعامد كلاً من اتجاهي (B) و (v) وليس شرطاً (B) يعامد (v).

فستكون القوة دائماً عمودية على اتجاه السرعة لذلك فإنها لن تبذل شغلاً على الجسم أثناء حركته في المجال لأنها غير قادرة على تغيير السرعة وبالتالي الطاقة الحركية ستبقى ثابتة وتغيرها صفر.

$$W = F \cdot d \cos \theta = \Delta K \cdot E = 0$$

علل: تبقى طاقة حركة وسرعة الجسيمات المشحونة ثابتة عند تحركها في المجال المغناطيسي.

F_B يتعامد مع v فنكون $\Delta K = 0$ والشغل صفر وعليه $(W = \Delta K = 0)$ فنكون ΔK و v (السرعة) متان.

وحدات قياس شدة المجال المغناطيسي

$$B = \frac{F_B}{q \cdot v} = \frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{N \cdot s}{C \cdot m}$$

$$1T = \frac{N \cdot s}{C \cdot m} \quad 1T = \frac{N}{A \cdot m}$$

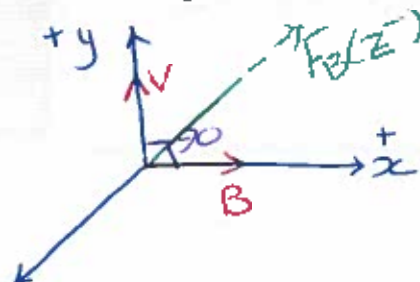
$$\vec{E} = \frac{q}{\epsilon}$$

$$A = \frac{C}{s}$$

$$\frac{1}{A} = \frac{s}{C}$$

7.24 يتحرك بروتون بسرعة $4.00 \times 10^5 \text{ m/s}$ في اتجاه Y الموجب فدخل مجالاً مغناطيسياً منتظماً

مقداره 0.400 T ويؤثر في اتجاه X الموجب. احسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون.



$$F_B = qvB \sin \theta$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^5 \times 0.4 \sin 90$$

$$= 2.56 \times 10^{-14} \text{ N}$$

بجاء (-Z)



7.25 مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في جسيم شحنته $-2e$ ويتحرك بسرعة $v = 1.00 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ هو $3.00 \times 10^{-18} \text{ N}$. ما مقدار مركبة المجال المغناطيسي العمودية على اتجاه حركة الجسيم؟
 $\theta = 90$

$$F = |q|vB \sin \theta$$

$$B = \frac{F_0}{|q|v \sin \theta} = \frac{3 \times 10^{-18}}{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^5} = 9.38 \times 10^{-21} \text{ T}$$

7.26 يتحرك جسيم مشحون شحنته $+10.0 \mu\text{C}$ بسرعة 300.0 m/s في اتجاه Z الموجب.

(a) أوجد أقل مقدار للمجال المغناطيسي اللازم للحفاظ على حركة الجسيم في مسار مستقيم بسرعة ثابتة إذا كان هناك مجال كهربائي منتظم قدره 100 V/m يؤثر في اتجاه Y الموجب.

* لكي تكون سرعته ثابتة يجب

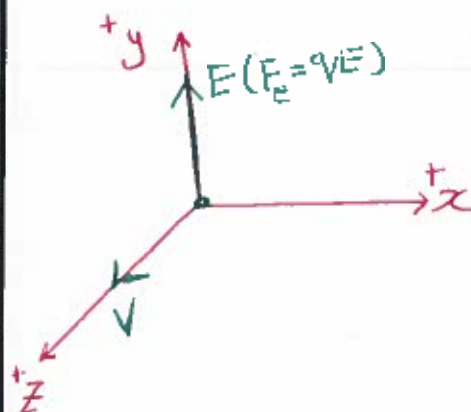
أن تكون $F_{\text{net}} = 0$ ويجب

أن يتواجد قوة مساوية

لـ F_e وتتأكسرها في الاتجاه

هي F_B على محور $(-Y)$

التعلم = صفر
 $a = 0$



$$F_e = F_B$$

$$qE = qvB$$

$$B = \frac{E}{v} = \frac{100}{300} = 0.33 \text{ T}$$

لـ اتجاه $(-x)$

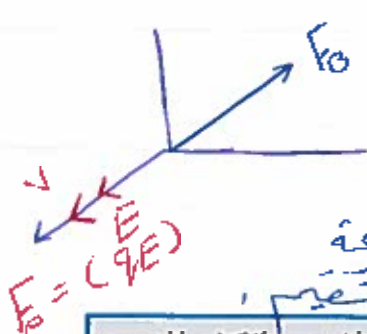
(b) أوجد أقل مقدار للمجال المغناطيسي اللازم للحفاظ على حركة الجسيم في مسار مستقيم

بسرعة ثابتة إذا كان هناك مجال كهربائي منتظم قدره 100 V/m يؤثر في اتجاه Z الموجب.

$$F_{\text{net}} = 0$$

$$\Rightarrow F_B \text{ على } F_e$$

إذا F_B على محور Z^+



$$F_B \parallel v$$

وهذا لا يجوز

لذلك لا يوجد حل

ويبقى الجسم متحركاً بسرعة

ثابتة في خط مستقيم

أنبوب أشعة الكاثود

مسألة محلولة 7.1

في أنبوب أشعة الكاثود



الشكل 7.14 (a) أنبوب أشعة الكاثود. (b) إلكترونات متحركة بسرعة متجهة $\vec{v}$ تدخل مجالاً مغناطيسياً ثابتاً.

المسألة
افترض أنبوب أشعة كاثود مماثلاً للموضح في الشكل 7.11. في هذا الأنبوب. يعمل فرق الجهد $\Delta V = 111 \text{ V}$ على إكساب الإلكترونات عجلة أفقية أبداً من وضع السكون في مدفع الإلكترونات. كما هو موضح في الشكل 7.14a. يحتوي مدفع الإلكترونات على قطب سطحي مادة حاجبة تبعث منه الإلكترونات عند تسخينه. وينحصر الكاثود سالب الشحنة في عدد الإلكترونات المنبعثة. ثم يقوم الأنبود موجباً الشحنة بتركيز الإلكترونات وإسهابها عجلة لتتحرك في شكل حزمة من الإلكترونات. فتتحرك هذه الحزمة من الأنبودين في اتجاه لوجين يميلان على انحراف حزمة الإلكترونات أفقياً ورأسياً. إذا كان أمام مدفع الإلكترونات مجال مغناطيسي منتظم بـ $B = 3.40 \times 10^{-4} \text{ T}$ يتجه إلى أعلى عيوداً على السرعة المنحنية الإلكترون تساوي $19.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ فما مقدار العجلة التي تكتسبها الإلكترونات بسبب تأثير المجال المغناطيسي؟ أكتب

$$F_B = qvB \sin \theta = ma$$

$$a = \frac{qvB}{m}$$

$$= \frac{1.6 \times 10^{-19} \times (6.24 \times 10^6) \times 3.4 \times 10^{-4}}{9.11 \times 10^{-31}}$$

$$a = 3.73 \times 10^{14} \text{ m/s}^2$$

العجلة كبيرة جداً لأن كتلة الإلكترون صغيرة جداً.

الحل
لإيجاد السرعة (v)

$$\Delta K = q\Delta V$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V$$

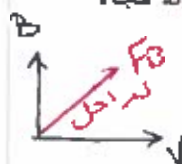
$$v = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 111}{9.11 \times 10^{-31}}}$$

$$= 6.24 \times 10^6 \text{ m/s}$$

مراجعة المفاهيم 7.1

في أي اتجاه سينحرف الإلكترون الموضح في الشكل 7.14b عند دخوله مجالاً مغناطيسياً ثابتاً؟



(a) إلى داخل الصفحة

(b) إلى خارج الصفحة

(c) إلى أعلى

(d) إلى أسفل

(e) لن ينحرف الإلكترون

للتذكير:

العلاقة بين طاقة الحركة والسرعة وطاقة الوضع بفرق الجهد الكهربائي

$$\Delta K + \Delta U = \frac{1}{2}mv^2 + q\Delta V = 0$$

نفسين لإيجاد القوة الناشئة

$$F_{\text{net}} = ma$$

القانون الثاني لنيوتن هو

العلاقة بين المجال الكهربائي والفرق الكهربي الناشئة عنه $\vec{F} = q\vec{E}$

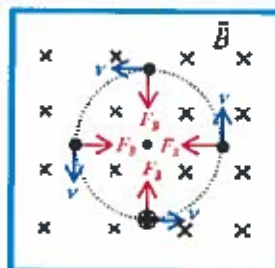
7.3 حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي

1 إذا تحرك جسيم مشحون بسرعة متجهة ثابتة عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم فإنه يسلك مساراً دائرياً؟ لماذا؟

$$F_c = m a_c$$

$$q = \frac{v^2}{r}$$

لأن الجسيم يتأثر بقوة مغناطيسية عمودية وثابتة على اتجاه سرعته تعمل كقوة مركزية (F_c) تحسب من العلاقة $F_c = \frac{mv^2}{r}$ والتي تساوي قوة المجال المغناطيسي ($F_B = F_c$)



$$F_B = F_c$$

$$q v B = m \frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

وكما درسنا سابقاً فإن الزخم (كمية الحركة) $P = m v$ يمكن كتابة المعادلة بالصيغة التالية

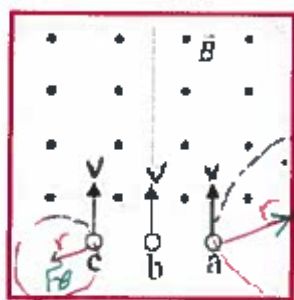
$$r = \frac{P}{qB}$$

زخم (kg m/s)
مجال مغناطيسي (T)
نصف قطر (m)

العوامل التي يعتمد عليها نصف قطر المسار :

- 1 كتلة الجسيم ($r \propto m$)
- 2 سرعة الجسيم ($r \propto v$)
- 3 شحنة الجسيم ($r \propto \frac{1}{q}$)
- 4 المجال المغناطيسي ($r \propto \frac{1}{B}$)

مثال : أدخلت ثلاث شحنات بالسرعة نفسها في مجال مغناطيسي منتظم فتأبعت سيرها كما هو مبين بالشكل

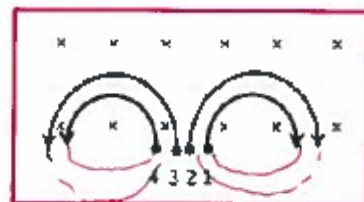


1. حدد نوع شحنة كل جسيم . (طبق ما عده اليد اليمنى)

A موجب B محايد C سالب
 $q_a = 0$

2. إذا علمت أن الجسيمات الثلاث لها نفس الكتلة فاقارن بين شحنتها .

$$r = \frac{mv}{qB} \Rightarrow r \propto \frac{1}{q} \Rightarrow q_a < q_c$$



4 جسيمات متساوية في كل من الشحنة والسرعة أدخلت مجالاً

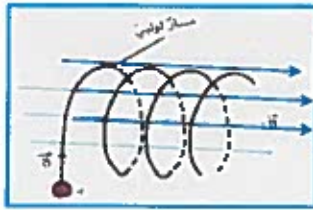
مغناطيسياً منتظماً فأتخذت المسارات المبينة في الشكل . الجسيم الذي

يحمل شحنة سالبة وله أكبر كتلة هو .

$$m = \frac{qBr}{v}$$

طبق قاعدة اليد اليمنى

لاحظ من الأشكال السابقة أن السرعة دائماً مماس للمسار الدائري وأن اتجاه (F_B) دائماً باتجاه المركز .



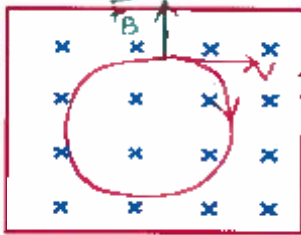
2 إذا لم يكن اتجاه السرعة عمودياً وكان يميل بزاوية على اتجاه المجال فإن مسار الشحنة سيكون لولبياً . علل ؟
لأنه سيكون للسرعة مركبة توازي المجال تحرك الجسم في مسار مستقيم ومركبة تعامد المجال تحرك الجسم في مسار دائري .

3 إذا كان اتجاه السرعة يوازي اتجاه المجال فإن مسار الشحنة يكون مستقيماً .

مجال مغناطيسي منتظم مقداره (0.20T) يؤثر في اتجاه عمودي على الصفحة إلى الداخل كما في الشكل :

1 أرسم في الإطار المجاور مسار جسيم مشحون بشحنة سالبة عند قذفه عمودياً على المجال وينطبق متجه سرعته على مستوى الصفحة ويحدد على المسار اتجاه الحركة .

2 احسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في الإلكترون إذا قذف بسرعة (3 × 10⁴ m/s) عمودياً على المجال



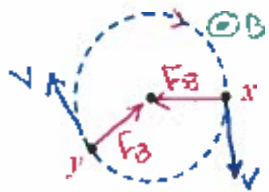
اتجاه F_B يكون بعيداً عن المركز لأن الشحنة سالبة وبالتالي ستكون v مع لمقارب

$$F = qvB \sin \theta$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^4 \times 0.20 \sin 90 = 9.6 \times 10^{-16} \text{ N}$$

يتحرك بروتون (C) (q = 1.6 × 10⁻¹⁹) في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (0.25T) على

مسار دائري في اتجاه عقارب الساعة بسرعة معاكسة مقدارها (2.8 × 10⁵ m/s) :



1 حدد على الشكل اتجاه المجال المغناطيسي واتجاه السرعة والقوة المغناطيسية عند (x) و (y) .

2 احسب القوة المركزية

$$F_c = F_B = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 2.8 \times 10^5 \times 0.25$$

$$= 1.12 \times 10^{-14} \text{ N}$$

3 إذا تضاعف المجال المغناطيسي إلى ثلاثة أمثال ماذا يطرأ على كل مما يلي مع تبرير الإجابة :

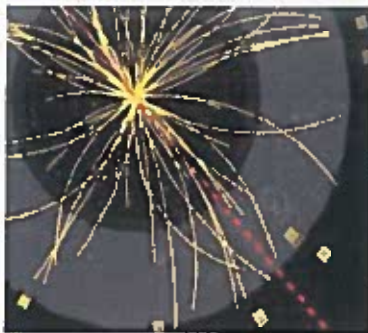
(أ) القوة المغناطيسية (ب) مقدار سرعة البروتون (ج) نصف القطر

$F_B \propto B$ تزداد في أمثال
 $r \propto \frac{1}{B}$ يقل نصف القطر
سرعة لا تتأثر

4 إذا استبدل البروتون بإلكترون يتحرك بنفس السرعة ماذا يطرأ على كل مما يلي مع تبرير الإجابة علماً أن (m_e < m_p) :

(أ) مقدار القوة المغناطيسية (ب) اتجاه الدوران (ج) نصف القطر

لا تتأثر مقداراً
 $r \propto m$ يقل نصف القطر
تتحول اتجاه الدوران لأن الشحنة سالبة



كمية الحركة المستعرضة للجسيم المشحون كما تم رصدها بجهاز الكشف (أطلس)

مثال 7.1

يوضح الشكل 7.18 مسار حركة أحد الجسيمات المشحونة من الشكل 7.17a. نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه هذا الجسيم هو $r = 2.300 \text{ m}$. وشدة المجال المغناطيسي في حجرة الإسقاط الزمني هي $B = 0.5000 \text{ T}$. وستتعرض أن شحنة الجسيم $|q| = 1.602177 \times 10^{-19} \text{ C}$.

المسألة

ما مرتبة كمية حركة الجسيم العمودية على المجال المغناطيسي؟

$$Br = \frac{p}{q}$$

$$p = Brq = 0.5 \times 2.3 \times 10^{-19}$$

$$p = 1.8 \times 10^{-19} \text{ kg m/s}$$

الشكل 7.18 دائرة تطابق مسار أحد الجسيمات المشحونة الناتجة عن تصادم بروتونين متساويين داخل جهاز الكشف (أطلس) في مختبر الأبحاث النووية (سيرن) الموضح في الشكل 7.17a.

الرياح الشمسية والمجال المغناطيسي للأرض

مثال 7.2

نافشتا في القسم 7.1 حزامي فان ألين الإشعاعيين اللذين يحصران الجسيمات المنبعثة من الشمس. تُطلق الشمس ما يقرب من مليون طن من المادة إلى الفضاء كل ثانية. وتتكوّن هذه المادة في معظمها من بروتونات تتحرك بسرعة 400 km/s تقريباً.

المسألة

(إذا كانت البروتونات المنبعثة من الشمس تسقط عمودياً على المجال المغناطيسي للأرض (الذي يبلغ مقداره $50.0 \text{ } \mu\text{T}$ عند خط الاستواء)، فما نصف قطر مدار البروتونات؟ كتلة البروتون تساوي $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.)

$$r = \frac{mv}{qB}$$

$$= \frac{1.67 \times 10^{-27} \times 400 \times 10^3}{1.6 \times 10^{-19} \times 50 \times 10^{-6}} = 83.5 \text{ m}$$



تردد المسرع الدوراني:

إذا أكمل الجسيم دورة كاملة (محيط الدائرة ويساوي $2\pi r$) داخل المجال المغناطيسي

المنتظم، فإن الزمن الدوري اللازم لإتمام دورة كاملة هو: $T = \frac{2\pi r}{v}$

وبتعويض قيمة r بـ $r = \frac{mv}{qB}$



$$T = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

نحصل على قانون الزمن الدوري للمسرّع الدوراني وهو :

الزمن الدوري للمسار بأكمله

$$f = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

التردد (f) لحركة جسيم مشحون تساوي معكوس الزمن الدوري
لـ HZ

$$\omega = 2\pi f = \frac{|q|B}{m}$$

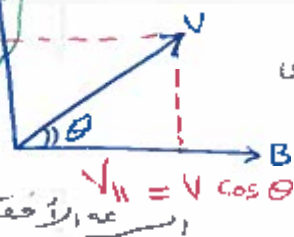
السرعة الزاوية (ω) هي معدل تغير الزاوية مع الزمن
لـ HZ

ملاحظة مهمة جداً جداً :

التردد والسرعة الزاوية لا ترتبطان بسرعة الجسيم إذا لا يرتبطان بالطاقة الحركية للجسيم .
f ω

س30) إلكترون سرعته (v = 4.0 × 10⁵ m/s) دخل مجالاً مغناطيسياً منتظماً مقداره (B = 0.0400 T) بزاوية (35°)

سرعة الحركة
V_⊥ = v sin θ



بالنسبة لخطوط المجال . أجب عما يلي :

- 1) صف شكل المسار ؟ برر إجابتك ؟ لولبي ، لأن القوة ستؤثر على المركبة الرأسية للسرعة فلا فتتحركها مسار دائري أما V_{||} فتتحركها خط مستقيم لذلك سنجد المسار اللولبي .
- 2) احسب نصف قطر المسار ؟

- 3) احسب المسافة التي سيقطعها الإلكترون إلى الأمام بعد إكمال دورة واحدة ؟
d

$$2) \quad r = \frac{m v_{\perp}}{q B}$$

$$\text{نصف قطر دائري} = \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 4 \times 10^5 \sin 35}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.04} = 3.2 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$3) \quad d = v_{||} \cdot T \quad (\text{المسافة} = \text{سرعة} \times \text{الزمن})$$

$$\begin{aligned} &= v \cos \theta \cdot T \\ &= 4 \times 10^5 \cos 35 \times 8.9 \times 10^{-10} \\ &= 2.93 \times 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi m}{q B} \\ &= \frac{2\pi \times 9.11 \times 10^{-31}}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.04} = 8.9 \times 10^{-10} \text{ (s)} \end{aligned}$$

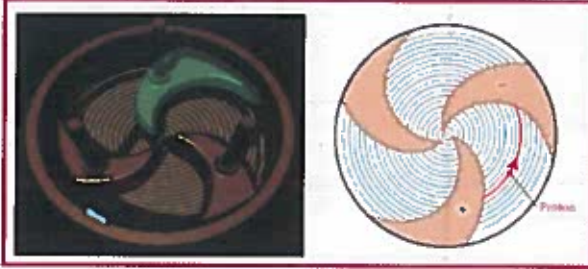


$$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

طاقة المسرع الدوراني

مثال 7.3

ما الطاقة الحركية، بوحدة الميجا إلكترون فولت (MeV)، لبروتون يخرج من مسرع دوري نصف قطره $r = 1.81 \text{ m}$. إذا كان المجال المغناطيسي للمسرّع الدوراني مجالاً منتظماً مقداره $B = 0.851 \text{ T}$ كتلة البروتون تساوي $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$



$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.67 \times 10^{-27} \times (1.48 \times 10^8)^2 = 1.8 \times 10^{-11} \text{ J}$$

لتحويل من J إلى eV نقسم على 1.6×10^{-19} ثم لتحويل إلى MeV نقسم على 10^6

$$KE = 112.5 \text{ MeV}$$

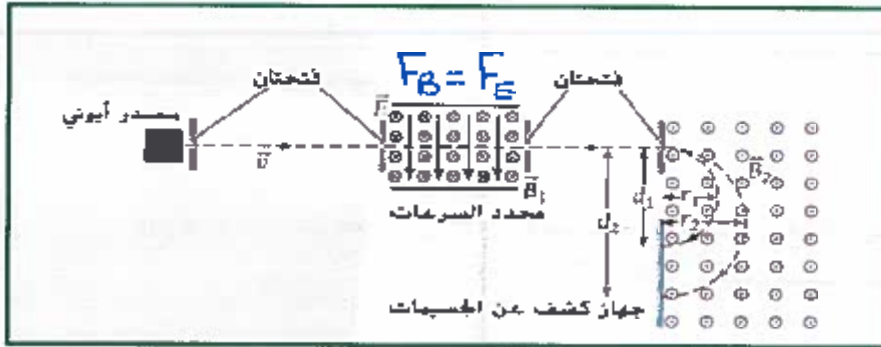
$$r = \frac{mv}{qB} \Rightarrow v = \frac{qBr}{m}$$

$$v = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 0.851 \times 1.81}{1.67 \times 10^{-27}} = 1.48 \times 10^8 \text{ m/s}$$

مطياف الكتلة: هو أحد تطبيقات حركة الجسيمات المشحونة في المجال المغناطيسي.

من أهم استخداماته:

1. يسمح بتحديد الكتل الذرية والجزئية للمواد بشكل دقيق.
2. مفيد في عملية التأريخ الكربوني.
3. تحليل المركبات الكيميائية غير المعروفة.



$$F = qE \quad (\text{شحنة} + \text{تسارع})$$

عمله:

1. يعمل عن طريق تأيين الذرات أو الجزيئات لدراستها وتسريع حركتها عبر جهد كهربائي.
2. تمرر الأيونات من خلال محدد سرعات (يحتوي مجالين كهربائي ومغناطيسي) يسمح بمرور أيونات ذات سرعات محددة فقط والتي تجعل القوتين $F_B = F_E$ ويمنع مرور باقي الأيونات.
3. العلاقة بين المجال الكهربائي والمغناطيسي في مطياف الكتلة وسرعة الأيونات فيه هي $v = \frac{E}{B}$
4. تدخل الأيونات بعد ذلك إلى منطقة مجال مغناطيسي منتظم وفيه يتم تحديد نصف قطر إنحناء مدار كل أيون من خلال المعادلة

$$r = \frac{mv}{qB}$$

* إذا كانت الأيونات أحادية الشحنة فإن نصف قطرها سيتناسب طرئاً مع كتلة الأيون.

سؤال الاختيار الذاتي 7.2



مجال مغناطيسي موجه الى خارج الصفحة ويتحرك جسيم مشحون في مستوى الصفحة كما توضح الأسهم في الشكل.

(a) هل شحنة الجسيم موجبة أم سالبة؟ موجبة (اليمين) / سالبة (اليسار)

(b) هل تقل سرعة الجسيم أم تزداد أم تبقى ثابتة؟ تقل $qBv = mv^2/r$

(c) هل يبذل المجال المغناطيسي شغلاً على الجسيم؟ $F \perp v$

لا يجب أن يكون هناك قوة أخرى تؤثر في الجسيم لتقل من سرعته.

7.29 بروتون يتسارع من السكون بفارق جهد $400V$ وعندما دخل مجالاً مغناطيسياً منتظماً

سلك مساراً دائرياً نصف قطره $20.0cm$ أوجد مقدار المجال المغناطيسي؟

$$B = \frac{mv}{qr}$$

$$= \frac{1.67 \times 10^{-27} \times 2.8 \times 10^5}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.2}$$

$$= 0.015 T$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 400}{1.67 \times 10^{-19}}}$$

$$= 2.8 \times 10^5 m/s$$

$$\Delta K = q\Delta V$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V$$

$$v = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}}$$

7.27 يتحرك جسيم شحنته $20.0\mu C$ على امتداد المحور x بسرعة $50.0 m/s$ فدخل مجالاً

مغناطيسياً مقداره $(\vec{B} = 0.300\hat{y} + 0.700\hat{z})$ بوحدة التسلا. أوجد القوة المغناطيسية المؤثرة

في الجسيم مقداراً واتجاهاً.

* B_y عمودي على v لذلك فانه وحسب قاعدة

اليد اليمنى ستكون $\vec{F}_{By}$ على محور $+z$

* B_z عمودي على v لذلك فان

ستكون على محور $-y$

لإيجاد الاتجاه

لإيجاد المقدار

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_{By}}{F_{Bz}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{qvB_y}{qvB_z}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{0.3}{0.7}\right)$$

$$\theta = 23.2^\circ$$

$$F_{net} = \sqrt{(F_{By})^2 + (F_{Bz})^2}$$

$$= qv\sqrt{B_y^2 + B_z^2}$$

$$= 20 \times 10^{-6} \times 50 \times \sqrt{(0.3)^2 + (0.7)^2}$$

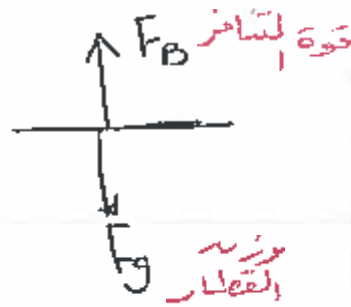
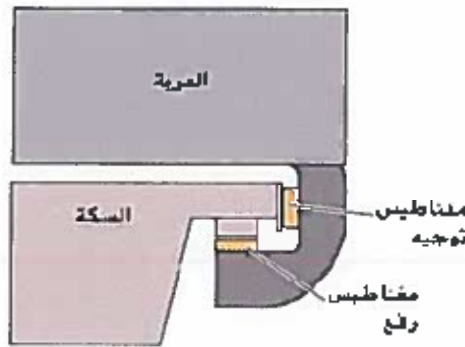
$$= 7.6 \times 10^{-4} N$$



الرفع المغناطيسي :

من أحد التطبيقات للقوة المغناطيسية هو الرفع المغناطيسي وفيه يحدث التوازن بين القوة المغناطيسية المؤثرة في جسم لأعلى وقوة الجاذبية المؤثرة لأسفل (لتحقيق اتزان سكوني دون الحاجة إلى ملامسة الأسطح لبعضها بشكل مباشر)
تشكل قوة التنافر بين الأقطاب المغناطيسية المتشابهة قوة هائلة يمكن استخدامها في رفع الأجسام الثقيلة ، وقد استخدم العلماء هذه الظاهرة في المصانع والورش لعمل ممرات مغناطيسية خاصة للنقل وتحريك المعدات الثقيلة بسهولة تامة بدل من السيور المتحركة .

لقد ذهب العلماء لأبعد من ذلك حيث استخدم هذا المبدأ في تسير قطارات سريعة تسبح في الهواء ولا تسير على قضبان حديدية - يوجد في هذه القطارات مغناطيسات متساوية القوى المغناطيسية على السكة وعلى جانبي أسفل القطار تؤدي إلى إحداث قوة تنافر بينهما تستطيع رفع القطار وإبقائه معلقاً في الهواء فوق السكة الحديدية أثناء السير بحوالى (15.0 cm) .



$$F_B = F_g$$

توازن

مراجعة المفاهيم 7.2

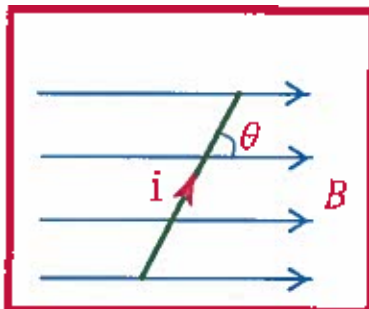
لو لم يعمل المجال المغناطيسي للأرض على انحراف الأشعة الكونية، لغمرت سطح الأرض باستمرار. بالنظر إلى الأرض على أنها ثنائي قطب مغناطيسي تقريباً (انظر الشكل 7.6)، تكون شدة الأشعة الكونية الساقطة على سطحها أكبر ما تكون عند:

- القطبين الشمالي والجنوبي.
- خط الاستواء.
- خطوط العرض المتوسطة.

7.4 القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يمر فيه تيار كهربائي مستمر

يحسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم يحمل تيار مستمر بالعلاقة التالية :

$$F_B = iLB \sin \theta$$



حيث L : الطول الفعال للسلك (الطول المغطى بالمجال) .

i : شدة التيار المار في السلك .

B : مقدار المجال المغناطيسي بوحدة التسلا T ، وهي تساوي $1N / A.m$.

θ : هي الزاوية المحصورة بين شدة التيار والمجال المغناطيسي .

ملاحظات هامة



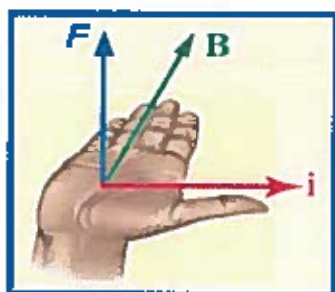
1 إذا كان السلك **يوازي** المجال تكون : $(\theta = 0, 180^\circ)$

تعدم القوة المغناطيسية $(F_B = 0)$



2 إذا كان السلك **يعامد** المجال تكون : $(\theta = 90^\circ)$

تكون القوة المغناطيسية أكبر ما يمكن $(F_B = F_{max})$

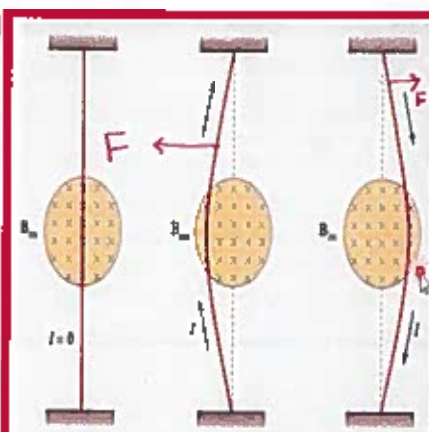
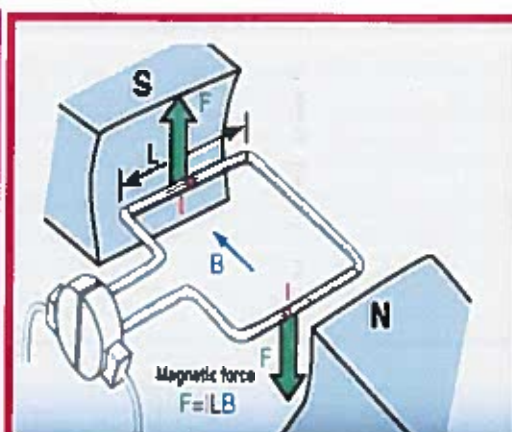
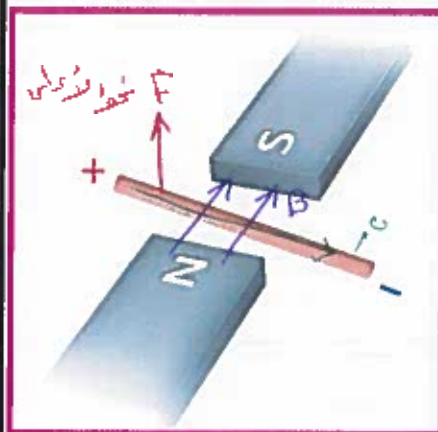
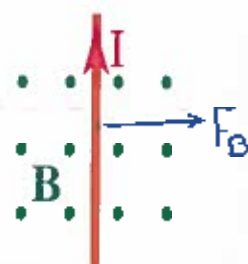
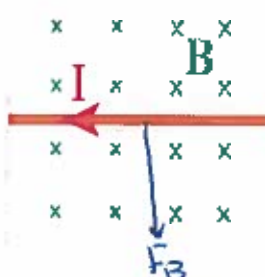
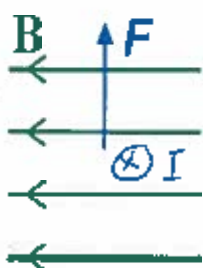
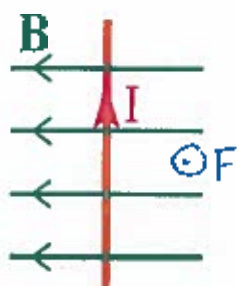


اتجاه القوة : القاعدة الأولى لليد اليمنى .

(الإبهام مع التيار ، الأصابع مع المجال ، الخارج من باطن اليد باتجاه القوة (F_B))

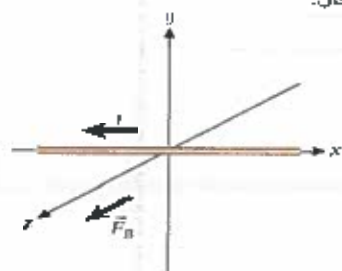
(اتجاه F **يعامد** كلاً من اتجاهي (B, I) وليس شرطاً أن **يعامد** التيار المجال)

أمثلة



مراجعة المفاهيم 7.3

يوضح الشكل سلكاً يقع على امتداد محور x يسري فيه تيار كهربائي i . حدد في اتجاه x السالب، وهو السلك في مجال مغناطيسي منتظم. وتأثر القوة المغناطيسية F_B في السلك في اتجاه z الموجب. إذا تم توجيه المجال المغناطيسي الصحيح القوة أكبر ما يمكن، فما اتجاه هذا المجال؟

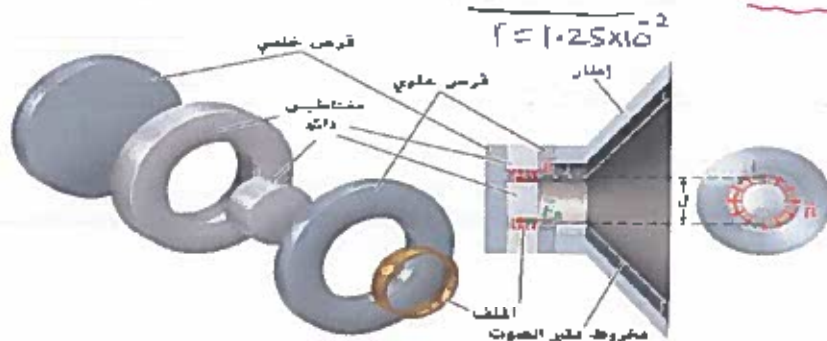


- (a) اتجاه y الموجب
(b) اتجاه x السالب
(c) اتجاه y السالب
(d) اتجاه z الموجب
(e) اتجاه z السالب

القوة المؤثرة في ملف مكبر الصوت

مثال 7.4

يتم تشغيل مكبر الصوت صوتاً عن طريق بذل قوة مغناطيسية على ملف صوت في مجال مغناطيسي. كما هو موضح في الشكل 7.25، يوصل الملف المتحرك بخروط مكبر الصوت المسؤول عن إنتاج الأصوات. ويتم إنتاج المجال المغناطيسي من خلال المغناطيسين الدائريين كما هو موضح بمقدار المجال المغناطيسي هو $B = 1.50 \text{ T}$ ويكون الملف من $N = 100$ لفة من السلك يسري فيه تيار $i = 1.00 \text{ mA}$. وقطر الملف هو $d = 2.50 \text{ cm}$.



المسألة

ما مقدار القوة المغناطيسية التي يبذلها المجال المغناطيسي على الملف في مكبر الصوت؟

$$F_B = iLB \sin 90$$

$$= (1 \times 10^{-3})(7.85)(1.5)$$

$$F_B = 0.12 \text{ N}$$

طول L هو محيط الملف N مرات للطول

$$L = (2\pi r) \times N$$

$$= (2\pi \times 1.25 \times 10^{-2}) \times 100 = 7.85 \text{ m}$$

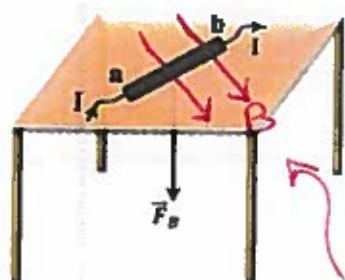
(7.40) وضع سلك مستقيم طوله 2.00 m يسري فيه تيار 24.0 A على سطح طاولة أفقي في مجال مغناطيسي منتظم ويصنع السلك زاوية مقدارها 30.0 درجة مع خطوط المجال المغناطيسي. إذا كان مقدار القوة المؤثرة في السلك 0.500 N فما مقدار المجال المغناطيسي؟

$$B = \frac{F_B}{iL \sin \theta} = \frac{0.5}{24 \times 2 \times \sin 30} = 0.021 \text{ T}$$

وضع موصل مستقيم (a, b) طوله ($L = 0.12 \text{ m}$) فوق سطح طاولة أفقي كما في الشكل المجاور وعندما مر فيه تيار مستمر شدته (6.0 A) تأثر بقوة مغناطيسية مقدارها (0.4 N) في اتجاه عمودي على سطح الطاولة نحو الأسفل.

* احسب أقل مقدار لشدة المجال المغناطيسي المنتظم الذي يؤثر في الموصل. وارسم على الشكل خطوطه

$$\sin \theta = 1$$



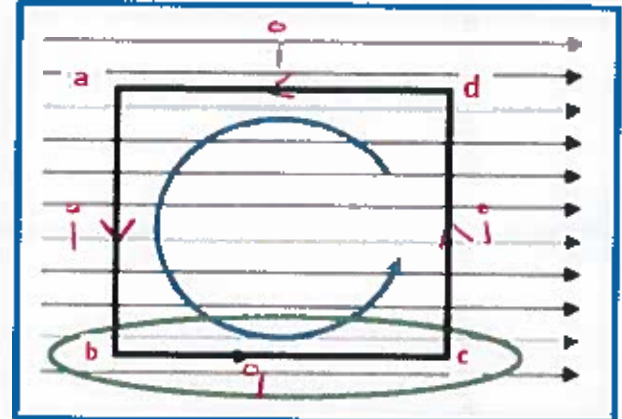
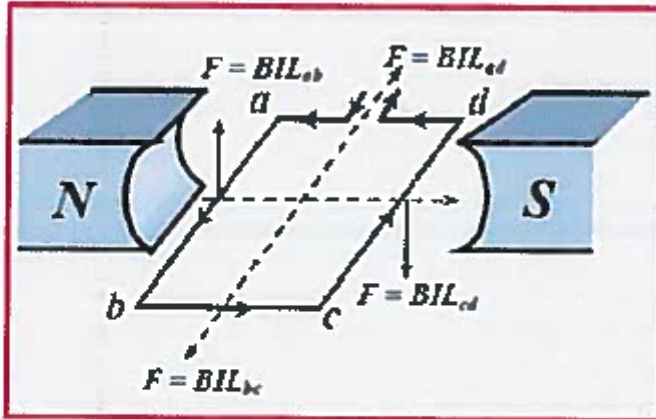
$$B = \frac{F_B}{iL} = \frac{0.4}{6 \times 0.12}$$

$$= 0.56 \text{ T}$$

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى "ا" يكون B نحو

7.5 العزم المؤثر في حلقة يمر بها تيار مستمر

* تعتمد المحركات الكهربائية في عملها على القوة المغناطيسية المبذولة على سلك يسري فيه تيار



لكي تتمكن من تحديد **إتجاه دوران** الحلقة (a-b-c-d) تحت تأثير المجال المغناطيسي المؤثر عليها يجب تحديد إتجاه القوة على كل طرف من أطراف الحلقة .

1. حدد **إتجاه القوة** المغناطيسية المؤثرة على التيار المار في الضلع (ab) **بحسب الإصبع...**
2. حدد **إتجاه القوة** المغناطيسية المؤثرة على التيار المار في الضلع (bc) **بصفر** ($\theta = 0^\circ$)
3. حدد **إتجاه القوة** المغناطيسية المؤثرة على التيار المار في الضلع (cd) **بحسب الإصبع...**
4. حدد **إتجاه القوة** المغناطيسية المؤثرة على التيار المار في الضلع (da) **بصفر** ($\theta = 180^\circ$)
5. حدد **محصلة القوة** المؤثرة على الحلقة بالكامل **بصفر** **بجميعها**

مجموع

الاستنتاج :

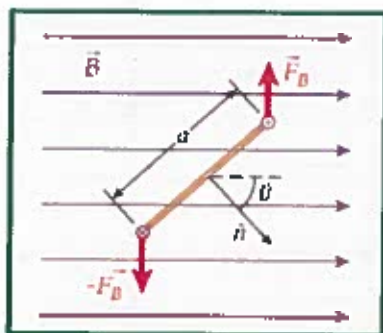
1. * نتيجة لمرور التيار في الملف يتأثر جانبي الملف بقوتين مغناطيسيتين متعاكستين **تولدان عزمًا** تجعل الملف يدور .
2. * لا يتأثر الضلعان الأفقيان للحلقة بأي قوة مغناطيسية (لأنهما موازيان للمجال المغناطيسي وبالتالي لا توجد قوة محصلة

يمكن حساب القوة المغناطيسية المبذولة على الضلعين الرأسيين للحلقة (ab-dc) من خلال

$$F = i \cdot L \cdot B \sin \theta \quad \text{المعادلة}$$

القوتان المغناطيسيتان F_B و $-F_B$ متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الإتجاه . تُنتج هاتان القوتان **عزمًا** دورانيًا يميل إلى تدوير الحلقة حول المحور الراسي (y) .

ناتج جميع هاتان القوتان يساوي **صفر** فلا يتأثر الملف بأي محصلة قوى على الرغم من العزم الناتج .





يمكن حساب القوة المغناطيسية المبذولة على الضلعين الرئيسيين للحلقة (ab-dc) من خلال

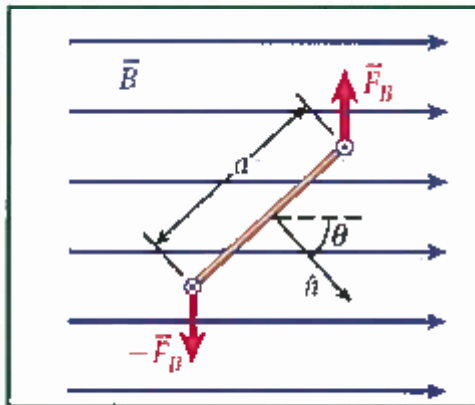
$$F = i a B \sin \theta \quad \text{وفي الشكل } L = a \quad \text{تصبح القوة} \quad F = i L B \sin \theta$$

والعزم المبذول على حلقة واحدة بحسب العلاقة $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

حيث (r) هي ذراع القوة وتساوي $(\frac{1}{2} a)$.

$$\tau_1 = (i a B) \left(\frac{a}{2} \right) \sin \theta \quad \left(\frac{a^2}{2} \right) (i B) \sin \theta$$

محصلة العزم المبذول حول مركز الحلقة : هو مجموع العزمين على الضلعين الرئيسيين للحلقة المربعة وتشكل المساحة لها $(a^2 = A)$



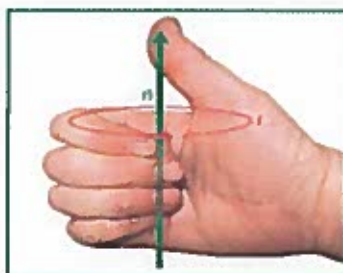
$$= i a^2 B \sin \theta = i A B \sin \theta$$

(n) تمثل متجه الوحدة وهو العمودي على مستوى الملف والمجال.
و (theta) الزاوية المحصورة بين العمودي على مستوى الملف وخطوط المجال.

عند استبدال الحلقة بملف يتكون من عدة حلقات متصلة تماماً (N) ببعضها البعض

فيكون العزم الناتج :

$$\tau = N \tau_1 = N i A B \sin \theta.$$



القاعدة الثانية لليد اليمنى : عند إدارة أصابع اليد اليمنى في اتجاه سريان التيار في الحلقة فسيشير إبهامك إلى اتجاه متجه الوحدة العمودي (n) والذي هو اتجاه العزم المغناطيسي للحلقة.

ملاحظات عامة :

1. عزم الإزدواج المؤثر في ملف أكبر ما يمكن

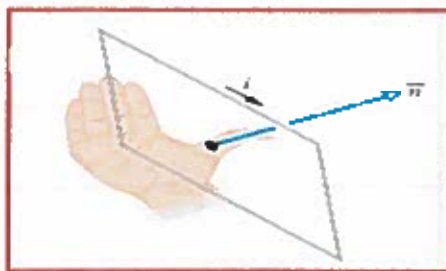
عندما يكون مستوى الملف موازياً للمجال المغناطيسي .

2. عزم الإزدواج المؤثر في ملف يساوي صفر

عندما يكون مستوى الملف عمودياً مع المجال المغناطيسي .

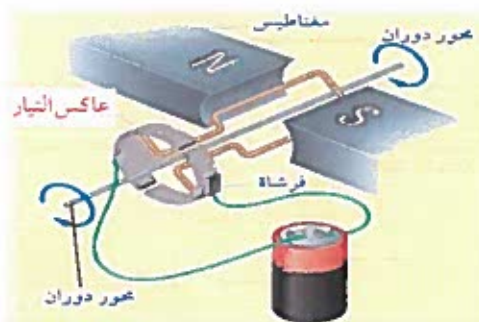
3. يمكن تطبيق العلاقة على أي شكل من الملفات

(مستطيل - دائري - لولبي) .





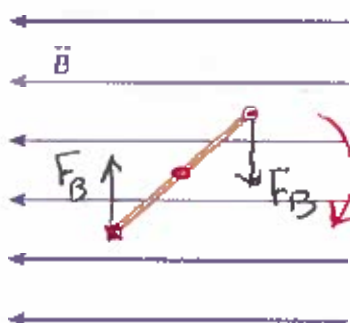
❖ لماذا لا تتوقف الحلقة عن الدوران عند $\theta = 0.0$ ؟



السبب : تواجد ما يسمى **عكس التيار** الذي يسبب تغير اتجاه التيار أثناء عملية دوران الملف . كل 180° ويتكون من حلقة مقسومة الى نصفين متصلين بطرفي الحلقة ويغير التيار المار في الحلقة اتجاهه مرتين لكل دوران كامل الحلقة .

مراجعة المفاهيم 7.4

يوضح الشكل منظرًا علويًا خلفه يسري فيها تيار وموضوعة في مجال مغناطيسي منتظم. سيؤدي العزم المؤثر في الحلقة إلى دورانها،



(a) في اتجاه عقارب الساعة.

(b) في عكس اتجاه عقارب الساعة.

(c) لن تدور الحلقة.

7.11 يتكون ملف من حلقات دائرية نصف قطرها $r = 5.13 \text{ cm}$ و $N = 47$ لفة. ويتدفق تيار $i = 1.27 \text{ A}$ عبر الملف الموضع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.911 T . ما أقصى عزم يؤثر في الملف نتيجة المجال المغناطيسي؟

$$\tau = B i A N \sin \theta$$

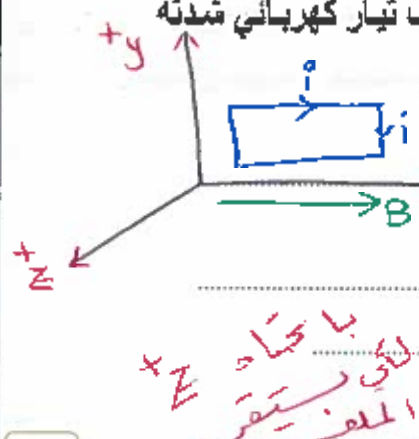
$$= 0.911 \times 1.27 \times 8.3 \times 10^{-3} \times 47 \times 1$$

$$= 0.45 \text{ N} \cdot \text{m}$$

حسب المساحة $A = \pi r^2 = \pi (5.13 \times 10^{-2})^2 = 8.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

0.148 N m (a)
0.211 N m (b)
0.350 N m (c)
0.450 N m (d)
0.622 N m (e)

ملف على شكل مستطيل أبعاده $(0.2\text{m}, 0.5\text{m})$ ويتكون من 50 لفة موضوع على مستوى (xy) في مجال مغناطيسي اتجاهه باتجاه المحور (x) شدته 0.5mT . يسري في الملف تيار كهربائي شدته (20mA) باتجاه عقارب الساعة.



a- ما اتجاه متجه الوحدة $(\hat{n})$ العمودي على مستوى الحلقة حسب قاعدة اليد اليمنى.

b- ما العزم الذي يجب تأثيره على الملف ليبقى مستقرًا مكانه.

$$\tau = B i A N$$

$$= 0.5 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-3} \times (0.2 \times 0.5) \times 50$$

$$= 5 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{m}$$

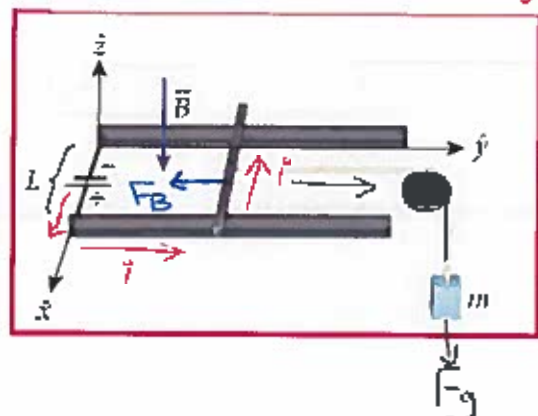
بالمتجه $+z$ لكي يستقر الملف





(7.41) كما في الشكل المجاور يمكن أن ينزلق موصل مستقيم موازي للمحور (X) من دون احتكاك فوق ساق توصيل أفقيين موازيين للمحور (Y) وتفصل بينهما مسافة (L=0.2 m) في مجال مغناطيسي رأسي مقداره (B=1.0T) ويسري في الموصل تيار منتظم شدته (20.0 A). إذا ربط خيط في منتصف الموصل تماماً ومرفوقه بكرة عديمة الاحتكاك

* ما مقدار الكتلة (m) التي تعلق في الخيط بحيث يكون الموصل في وضع السكون ؟



* بتطبيق قاعدة اليد اليمنى، اتجاه F_B نحو اليسار ←

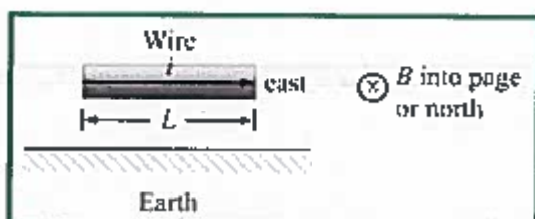
* ولكي يبقى الموصل متزن يجب أن تكون $F_B = F_g$

$$ILB = mg$$

$$m = \frac{ILB}{g} = \frac{20 \times 0.2 \times 1}{9.81}$$

$$= 0.41 \text{ kg}$$

(12.7) سلك نحاسي نصف قطره (0.500 mm) يسري فيه تيار عند خط الإستواء للأرض .



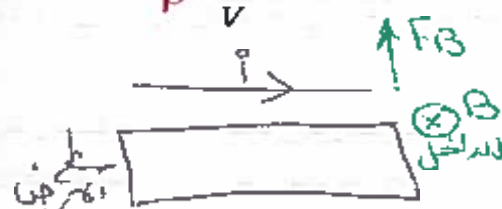
افترض أن المجال المغناطيسي للأرض يساوي (0.500G) عند خط الإستواء وموازي لسطح الأرض . وان التيار الساري في السلك يتدفق تجاه الشرق . فما التيار اللازم للسماح للسلك بالبقاء متزناً في الهواء .

تلميح

جاذبية $1T=10000 \text{ G}$

$$\rho_{\text{Cu}} = 8940 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$



* بتطبيق قاعدة اليد اليمنى، اتجاه F_B متجهاً لأعلى حسب اتجاه التيار

* ولكي يبقى السلك متزن يجب أن يكون $F_B = F_g$

$$ILB = mg$$

$$ILB = (\rho V)g$$

$$IB = \rho \pi r^2 g$$

$$I = \frac{\rho \pi r^2 g}{B}$$

$$= \frac{8940 \times \pi \times (0.5 \times 10^{-3})^2 \times 9.81}{5 \times 10^{-5}}$$

$$= 1377.6 \text{ A}$$

* حجم السلك $V = \pi r^2 L$

$$V = \pi r^2 L$$

$$= \pi r^2 L$$

* لتحويلنا G إلى T نقسم على 10^4 فتصبح $B = 5 \times 10^{-5} \text{ T}$





7.6 عزم ثنائي القطب المغناطيسي

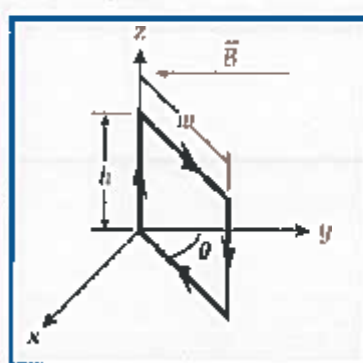
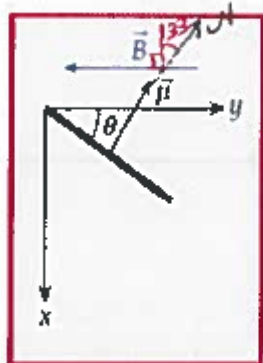
(μ) هو معامل ثنائي القطب ويستخدم لوصف خصائص الملف الذي يسري فيه تيار . وهو كمية متجهة تحتاج الى مقدار ($\mu = NiA$) واتجاه (متجه الوحدة العمودي ($\hat{n}$) من خلال القاعدة الثانية لليد اليمنى) .

حيث (N) عدد لفات الملف ، (i) شدة التيار المار في الملف ، (A) مساحة الحلقة .

يمكن اعادة صياغة معادلة عزم القوة $\tau = (NiA)B \sin \theta = \mu B \sin \theta$

ويمكن ربط العزم مع عزم ثنائي القطب المغناطيسي بالعلاقة التالية $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

وضعت حلقة مستطيلة طولها ($h=6.50 \text{ cm}$) وعرضها ($w=4.50 \text{ cm}$) في مجال مغناطيسي منتظم مقداره ($B=0.250 \text{ T}$) ويؤثر في اتجاه (y) السالب كما هو موضح بالشكل وتمنع الحلقة زاوية مقدارها ($\theta=33.0^\circ$) مع المحور (y) . يسري تيار في الحلقة مقداره ($i=9.0 \text{ A}$) في الاتجاه الموضح ما مقدار العزم المؤثر في الحلقة حول المحور z ؟



$$\tau = B i A N \sin \theta$$

$$= 0.25 \times 9 \times \left(\frac{6.5}{100} \times \frac{4.5}{100} \right) \sin(33.0^\circ)$$

$$= 5.5 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

❖ عند وضع ثنائي القطب المغناطيسي في مجال مغناطيسي خارجي . سيكون له طاقة وضع (U)

❖ تصل طاقة الوضع المغناطيسية لثنائي القطب في المجال الخارجي أعلى قيمة لها ($+\mu B$)

عندما يكون المتجهان متعاكسان .

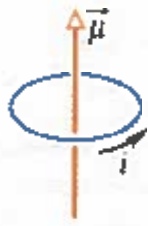
❖ تصل طاقة الوضع المغناطيسية لثنائي القطب في المجال الخارجي أدنى قيمة لها ($-\mu B$)

عندما يكون المتجهان متوازيان بنفس الاتجاه .

❖ طاقة الوضع المغناطيسية (U) لثنائي القطب المغناطيسي في مجال مغناطيسي خارجي $\vec{B}$

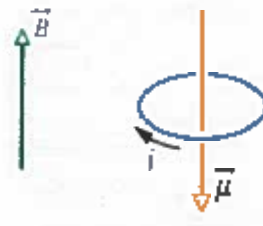
$$U(\theta) = -\mu B \cos \theta = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$





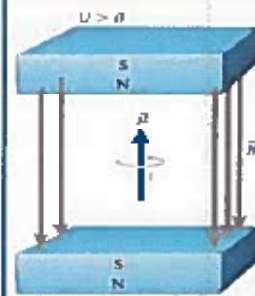
أقل قيمة لطاقة الوضع المغناطيسية

$$U_{min} = -\mu B$$

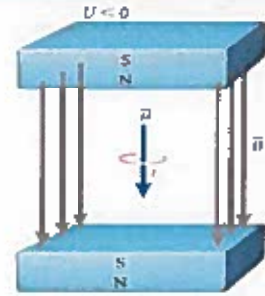


أعلى قيمة لطاقة الوضع المغناطيسية

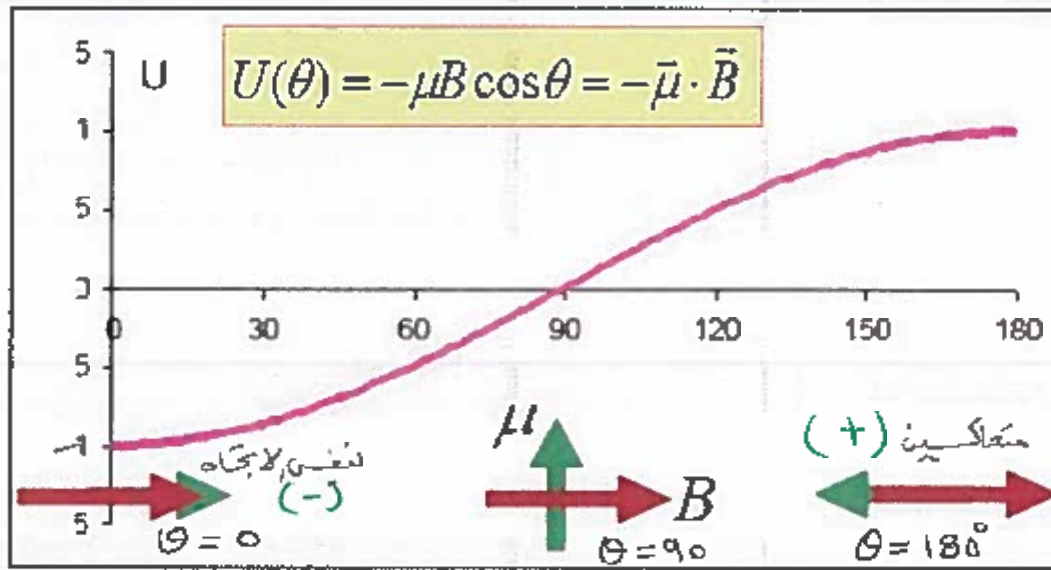
$$U_{max} = +\mu B$$



$$U_{max} = +\mu B$$



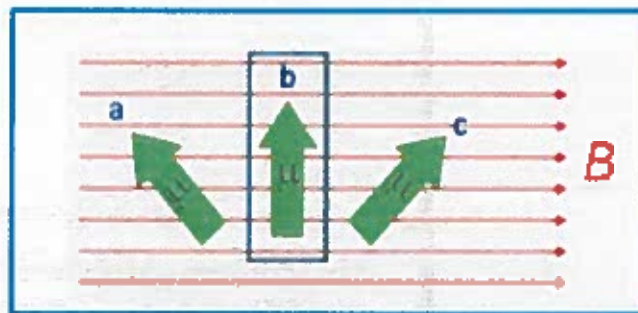
$$U_{min} = -\mu B$$



$$U(0.0) = -\mu B \cos 0.0 = -\mu B$$

$$U(90.0) = -\mu B \cos 90.0 = 0.0$$

$$U(180.0) = -\mu B \cos 180.0 = +\mu B$$



هناك ثلاثة اتجاهات لعزم ثنائي القطب المغناطيسي في مجال مغناطيسي كما في الشكل. رتب عزم الدوران المغناطيسي تنازلياً للمتجهات الثلاث.

$U_a < U_b < U_c$

سؤال الاختبار الذاتي 7.3

ما أقصى فرق في طاقة الوضع المغناطيسية بين اتجاهين مختلفين لحلقة مساحتها 0.1 m^2 يمر بها تيار شدته 2.0 A وموضوعة في مجال مغناطيسي مقداره 0.5 T ؟

$$\Delta U = U_{max} - U_{min}$$

$$= +\mu B - (-\mu B) = 2\mu B = 2(NIA)B$$

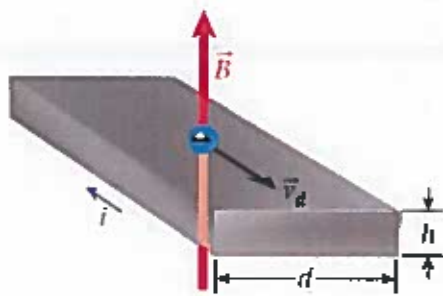
$$= 2 \times 1 \times 2 \times 0.1 \times 0.5 = 0.2 \text{ J}$$

OSama Abnahan

7.7 تأثير هول

هو ميل حاملات الشحنة (الموجبة أو السالبة) للإزدياح نحو أطراف الموصلات الكهربائية بسبب تعرضها لمجال مغناطيسي عمودي على حركتها .

شرح تأثير هول بالاستعانة بالاشكال المجاورة التي تمثل موصل يمر به تيار عمودي على المجال المغناطيسي .



1. تتحرك الإلكترونات بالموصل بسرعة انسياق معاكسة لاتجاه التيار الاصطلاحي .

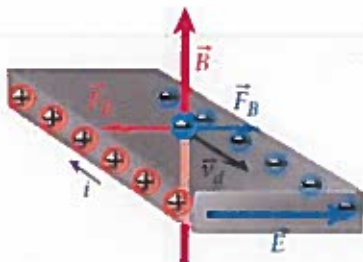
2. بتطبيق قاعدة اليد اليمنى سينتج قوة مغناطيسية (F_B) نحو يمين الموصل مما يؤدي الى تجميع الإلكترونات على الحافة اليمنى وبالتالي الشحنات الموجبة على الطرف الايسر

3. ينتج عن هذا التجمع مجال كهربائي (E) من اليسار الى اليمين وقوة كهربائية (F_E) بالاتجاه المعاكس لانها مؤثرة على الكترون شحنته سالبة ($F_E = qE$) .

4. عندما تتساوى ($F_B = F_E$) يتوقف انتقال الشحنات ولا يتغير مع مرور الزمن وتسمى هذه الحالة بحالة الاتزان . وينتج فرق جهد بين اللوحين يسمى فرق جهد هول

$$\Delta V_H = Ed$$

[يطلق على هذه النتيجة تأثير هول]



ملاحظة مهمة جداً :

إذا كان جهد هول سالب فإن حاملات الشحنة الكهربائية تكون قجوات موجبة .
جهد هول موجب ← الإلكترونات

$$\Delta V_H = \frac{iB}{neh}$$

• يمكننا كتابة قانون جهد هول بالصيغة النهائية على الشكل التالي :

حيث : (i) التيار الكهربائي المار في الشريحة (الموصل)

(B) المجال المغناطيسي (e) شحنة الالكترون .

(h) سمك الشريحة مع ملاحظة أن مساحة الشريحة ($A = hd$) .

(n) عدد الالكترونات لوحدة الحجم - كثافة الالكترونات أو نقلات الشحنة .



7.57 يوضح الشكل رسماً تخطيطياً للتركيب معد لقياس تأثير هول باستخدام طبقة رقيقة من أكسيد الزنك كثافته $(1.50 \mu\text{m}) \times 10^{-6}$

تبلغ شدة التيار المار $(i = 12.3 \text{ mA}) \times 10^{-3}$ ويصل جهد هول إلى $(V_H = -20.1 \text{ mV}) \times 10^{-3}$ عندما يؤثر مجال مغناطيسي مقداره $(B = 0.90 \text{ T})$ عمودياً على التيار المتدفق.



1. ما ناقلات الشحنة في الطبقة الرقيقة؟ ولان جهد هول سالب فان حاسلات الشحنة موجبه - ثَمَوْن -

2. احسب كثافة ناقلات الشحنة في الطبقة الرقيقة.

$$\Delta V_H = \frac{iB}{neh} \Rightarrow n = \frac{iB}{\Delta V_H eh}$$

$$= \frac{12.3 \times 10^{-3} \times 0.90}{20.1 \times 10^{-3} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1.5 \times 10^{-6}} = 2.3 \times 10^{24} \frac{\text{نقبات}}{\text{m}^3}$$

قطعة من الفضة سمكها $h = 0.2 \text{ mm}$ استخدم في قياس تأثير هول فوضعت بمجال مغناطيسي اتجاهه كما بالشكل، فإذا كانت كثافة حاملات الشحنة بالفضة $n = 7.44 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ويمر بها تيار كهربائي

شدته $i = 20 \text{ A}$ وناتج من جهد هول ومقداره $\Delta V_H = 15 \mu\text{V}$

أ- ما مقدار شدة المجال المغناطيسي التي تخضع لها قطعة الفضة؟

$$\Delta V_H = \frac{iB}{neh}$$

$$B = \frac{\Delta V_H \times n \times e \times h}{i}$$

$$= \frac{15 \times 10^{-6} \times 7.44 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.2 \times 10^{-3}}{20} = 1.79 \text{ T}$$

ب- حدد على الشكل الشحنات الموجبة الصافية والالكترونات الصافية على حواف القطعة مبين اتجاه المجال الكهربائي الناتج واحسب مقداره إذا علمت أن عرض القطعة الفضية $d = 12 \text{ cm}$

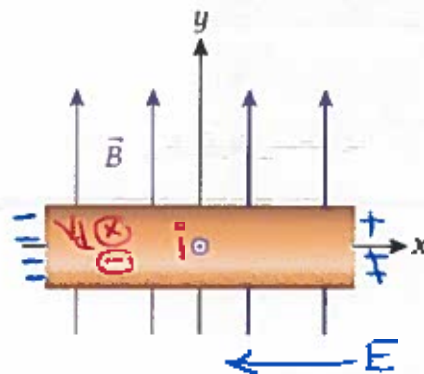
$$\Delta V_H = Ed \Rightarrow E = \frac{\Delta V_H}{d} = \frac{15 \times 10^{-6}}{0.12} = 1.25 \times 10^{-4} \text{ V/m}$$

(a) في اتجاه x الموجب.

(b) في اتجاه x السالب.

(c) في اتجاه y الموجب.

(d) في اتجاه y السالب.



مراجعة المفاهيم 7.5

موصل يمر فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي منتظم، كما هو موضح في الشكل، سيكون المجال الكهربائي الناتج عن تأثير هول:





الفيزياء

الفصل الدراسي الثاني

الثاني عشر - متقدم



الوحدة السابعة

المغناطيسية

تمارين إضافية على الوحدة السابعة

ضع إشارة (✓) داخل المربع أمام أنسب إجابة لكل مما يلي

1- يتحرك جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم عمودياً عليه وبسرعة ثابتة (v) فإذا أصبح المجال المغناطيسي ثلاثة

أمثال ما كان عليه . فإن مقدار سرعة الجسيم المشحون تساوي :

$$\frac{1}{3} v \quad \square$$

$$v \quad \square$$

$$3 v \quad \square$$

$$9 v \quad \square$$

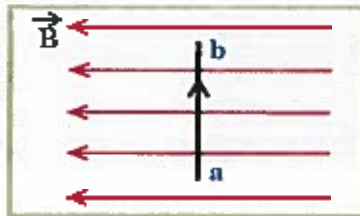
2- اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على جسيم مشحون يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم يكون باتجاه :

□ المجال المغناطيسي المؤثر

□ يميل بزاوية مقدارها 45° عن اتجاه المجال المغناطيسي

□ عمودي على المجال المغناطيسي و اتجاه حركة الجسيم

□ حركة الجسيم المشحون



3- السلك (a b) يمر فيه تيار مستمر و موضوع عمودياً في مجال مغناطيسي منتظم كما في

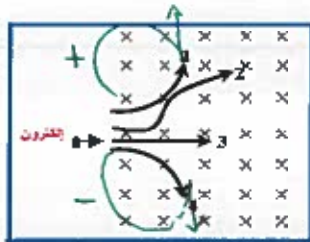
الشكل المجاور ، فإن اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة عليه يكون :

□ في مستوى الورقة نحو اليسار

□ في مستوى الورقة نحو اليمين

□ عمودياً على مستوى الورقة نحو الداخل

□ عمودياً على مستوى الورقة نحو الخارج



4- قذف إلكترون عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم كما في الشكل المجاور. الذي سيتحرك عليه الإلكترون هو:

$$2 \quad \square$$

$$1 \quad \square$$

$$4 \quad \square$$

$$3 \quad \square$$

5- كما بالشكل المجاور تتحرك شحنتان أحدهما سالبة والاخرى موجبة

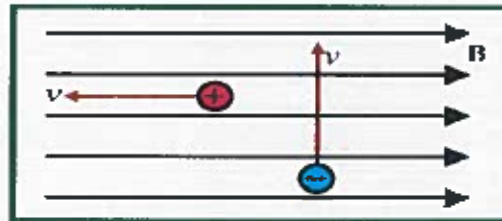
داخل مجال مغناطيسي منتظم فإن القوة F المؤثرة على

□ الشحنة السالبة لليمين و على الشحنة الموجبة للأسفل

□ الشحنة السالبة للداخل و على الشحنة الموجبة صفراً

□ الشحنة السالبة للخارج و على الشحنة الموجبة صفراً

□ الشحنة السالبة لليسر و على الشحنة الموجبة للأعلى



6- إذا كنت واقفاً و تحركت حزمة من البروتونات مقربة منك في اتجاه أفقي و أثناء اقترابها اخترقت مجالاً مغناطيسياً منتظماً

اتجاهه نحو الأسفل فإن المجال المغناطيسي يجعل الحزمة تنحرف إلى :

□ الأسفل

□ الأعلى

□ اليسار

□ اليمين

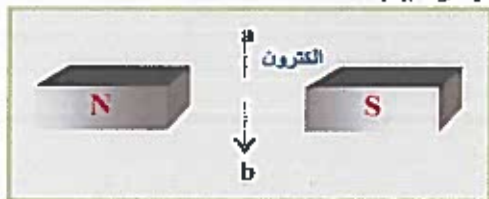
7- قذف إلكترون من (a) إلى (b) و في مستوى الورقة كما في الشكل ، فإنه سيتحرك باتجاه :

□ عمودي على مستوى الورقة نحو الداخل

□ القطب الشمالي للمغناطيس .

□ القطب الجنوبي للمغناطيس .

□ عمودي على مستوى الورقة نحو الخارج .





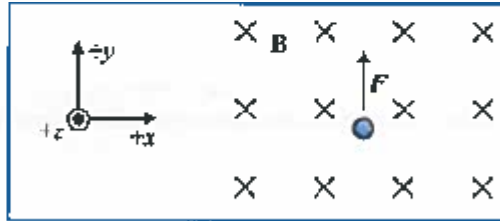
8- في حجرة **منتقي السرعات** لمطياف الكتلة فإن الأيونات التي يسمح لها بالخروج من منتقي السرعات إلى حجرة قياس الكتلة التي تكون سرعتها تساوي

$\beta + E$ ☐

βE ☐

$\frac{E}{\beta}$ ☒

$\frac{\beta}{E}$ ☐



9- **الكثرون** يتحرك بسرعة داخل مجال مغناطيسي منتظم باتجاه **Z** السالب، فتأثر بقوة مغناطيسية **F** باتجاه **y** الموجب كما بالشكل المجاور فإن اتجاه **سرعة** الإلكترون تكون باتجاه

$-y$ ☐

$+x$ ☐

$+z$ ☐

$-x$ ☐

10- وضع سلك (b, n) طوله (15 cm) موازيا لمجال مغناطيسي منتظم مقداره (0.5 T) كما في الشكل المجاور فإذا مر



في السلك تيار كهربائي شدته (4 A) فإن **القوة المغناطيسية** التي يتأثر بها السلك تساوي :

0.3 N ☐ باتجاه المجال .

0.3 N ☐ باتجاه عكس اتجاه المجال .

0.3 N ☒ صفر ☐ $I // B$ لأنه

0.3 N ☐ باتجاه عمودي على المجال .

11- عندما أدخل جسم مشحون بشحنة موجبة في مجال مغناطيسي منتظم، تحرك على المسار الموضح



في الشكل المجاور. إن متجه سرعة الجسم لحظة دخوله للمجال كان :

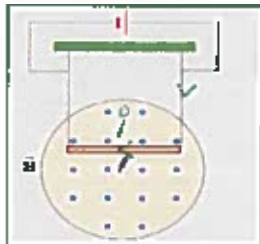
$\square$ عموديا على اتجاه المجال .

$\square$ باتجاه المجال .

$\square$ يصنع زاوية حادة مع اتجاه المجال .

$\square$ باتجاه معاكس لاتجاه المجال .

12- من خلال الشكل المجاور أن السلك L يتحرك بفعل القوة المغناطيسية **نحو**



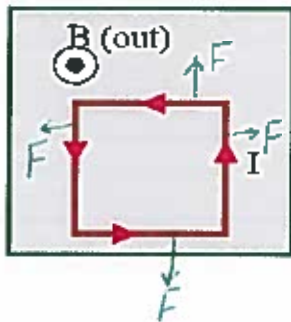
☒ الأعلى

☐ باتجاه المجال المغناطيسي

☐ الأسفل

☐ عكس اتجاه المجال المغناطيسي

13- سلك على شكل مربع يمر به تيار واقع في مجال مغناطيسي منتظم عمودي على الصفحة نحو الخارج فإن السلك المربع



يتأثر **بقوة مغناطيسية**

☐ عمودي على الصفحة نحو الخارج

☐ نحو اليمين

☐ نحو اليسار

☒ صفر





الفيزياء

الفصل الدراسي الثاني

الثاني عشر - متقدم

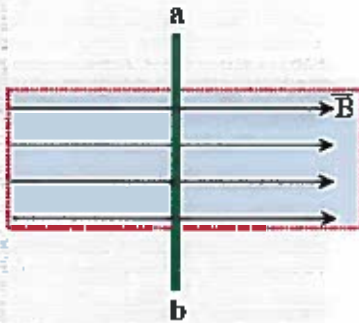


الوحدة السابعة

المغناطيسية

14 عند انطلاق جسيم مشحون بسرعة v وعمودياً على مجال مغناطيسي منتظم فإنها تتأثر بقوة مغناطيسية تعمل على:

- ☐ زيادة سرعة الجسيم المشحون
- ☐ انقاص سرعة الجسيم المشحون.
- ☒ تغيير اتجاه حركته فقط دون تغيير في مقدار سرعته
- ☐ تغيير من مقدار سرعته واتجه حركته .



15 يؤثر مجال مغناطيسي منتظم في المنطقة المستطيلة المتقطعة والمبينة في الشكل المجاور. وضع السلك المستقيم (a b) وطوله (L) في المجال المغناطيسي كما في الشكل. إذا أمر تيار كهربائي مستمر شدته (I) في السلك اتجاهه من (a) إلى (b) فإن السلك سيتأثر بقوة مغناطيسية مقدارها:

- ☐ يساوي (IBL)
- ☒ أقل من (IBL)
- ☐ صفر
- ☐ أكبر من (IBL)

16 ما وظيفة المبدل (حلقة مقسومة نصفين) في المحرك الكهربائي ؟

- ☒ يحافظ على اتجاه التيار الكهربائي في ملف المحرك
- ☐ يعكس اتجاه التيار الكهربائي في ملف المحرك كل نصف دورة
- ☒ يعكس اتجاه دوران المحرك كل نصف دورة
- ☐ يعكس اتجاه دوران المحرك كل دورة كاملة

17 في الشكل المجاور السلك (س ص) حر الحركة ، بأي اتجاه تتوقع أن يتحرك السلك .

عندما يمرر فيه تيار كهربائي مستمر اتجاهه من (س) إلى (ص) ؟

- ☒ نحو اليمين
- ☐ نحو اليسار
- ☐ نحو الأعلى
- ☐ نحو الأسفل



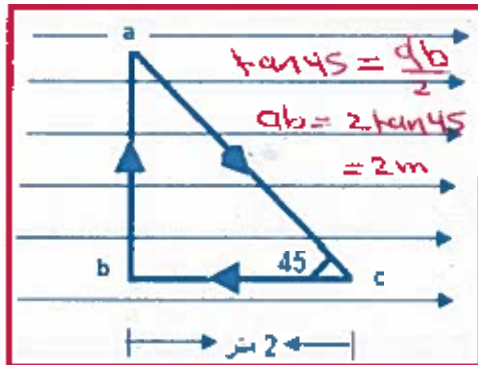
18 إذا وضعت شحنة كهربائية ساكنة (موجبة) في مجال مغناطيسي منتظم فإنها :

- ☐ تتحرك باتجاه المجال المغناطيسي
- ☒ تتحرك في مسار دائري
- ☐ تتحرك باتجاه معاكس لاتجاه المجال المغناطيسي
- ☒ تبقى ساكنة

إجابات الاختيار من متعدد (189-190) الوحدة 7 - المغناطيسية - 12 متقدم

7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10	7.11	7.12
b	c	e	b	a	a	(a-c-d-e) are true b is false	b	e	d	d	d





مجال مغناطيسي منتظم مقداره $1.8T$ نحو اليمين وضع فيه سلك مثلث الشكل مستواه موازي للمجال المغناطيسي كما في الشكل . مر فيه تيار كهربائي مقداره $4.7A$.

1. احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في كل ضلع .
2. ما القوة المحصلة المؤثرة في السلك ؟ هل يتزن السلك ؟
3. صف حركة المثلث .

$$F_{B_{ab}} = I L B \sin \theta$$

$$= 4.7 \times 2 \times 1.8 \sin 90 = 16.9 N$$

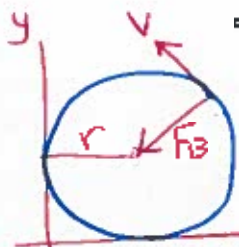
$$ac = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2.83m$$

$$F_{B_{bc}} = 0 \quad (\text{سلكه } bc \text{ موازي للمجال})$$

$$F_{B_{ac}} = I L B \sin 45 = 16.9 N$$

- ① القوة المحصلة = صفر والسلك غير متحرك
- ② سترك السلك حركة دورانية لأنه $F_{ac} = F_{ab}$
- ③ وتعاكسها في الاتجاه وخط عملها ليس على استقامه واحدة لذلك يتبع عن دوراني

(7.33) يتحرك الإلكترون في مجال مغناطيسي عكس اتجاه عقارب الساعة في دائرة على المستوى XY . إذا كان تردد المسرع الدوراني $\omega = 1.20 \times 10^{12} \text{ Hz}$. فما مقدار واتجاه المجال المغناطيسي B ؟



$$\omega = \frac{qB}{m} \Rightarrow B = \frac{m\omega}{q}$$

$$B = \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 1.2 \times 10^{12}}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.8 T$$

تطبق قاعدة اليد اليمنى الأولى نجد أن B فهو الداخل $(-Z)$ ونفسه الجسم الكروي سالب لذلك تكون $(+Z)$ نحو الخارج

(7.34) إلكترون طاقته تساوي $4.0 \times 10^7 \text{ eV}$ وإلكترون طاقته تساوي $2.0 \times 10^2 \text{ eV}$

محصوران في مجال مغناطيسي منتظم ويتحركان في مسارين دائريين في مستوى عمودي على المجال المغناطيسي . ما النسبة بين نصفي قطري مداريهما ؟

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{mv_1}{qB} \times \frac{qB}{mv_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$* \left\{ \begin{aligned} k &= \frac{1}{2} mv^2 \\ v &= \sqrt{\frac{2k}{m}} \end{aligned} \right.$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{2k_1}{m}}}{\sqrt{\frac{2k_2}{m}}} = \frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_2}}$$

$$* \left\{ r = \frac{mv}{qB} \right.$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{4 \times 10^7}}{\sqrt{2 \times 10^2}} = 1.41$$





الفيزياء

الفصل الدراسي الثاني

الثاني عشر - متقدم



الوحدة السابعة

المغناطيسية

7.35 بروتون سرعته المتجهة الأولية $v = (1.00\hat{x} + 2.00\hat{y} + 3.00\hat{z}) (10^5 \text{ m/s})$ ما أن الجسم يتحرك بالفناء

فلن نغير المركبة (z) من مساره لانه موازي لها

$$v = \sqrt{(1 \times 10^5)^2 + (2 \times 10^5)^2} = 2.2 \times 10^5 \text{ m/s}$$

$$r = \frac{mv}{qB} = \frac{1.67 \times 10^{-27} \times 2.2 \times 10^5}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.500} = 4.7 \text{ m}$$

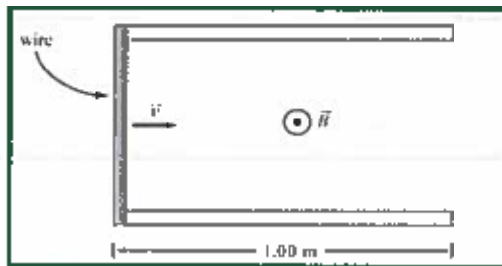
7.36 كرة نحاسية صغيرة كتلتها $3.0 \times 10^{-6} \text{ kg}$ وشحنتها $5.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ تسارعت بدءاً من

السكون عبر فرق جهد 7000 V قبل دخولها مجالاً مغناطيسياً مقداره 4.00 T موجهاً بشكل

عمودي على سرعتها المتجهة. ما نصف قطر انحناء حركة الكرة في المجال المغناطيسي؟

$$r = \frac{mv}{qB} = \frac{3 \times 10^{-6} \times 1527.5}{5 \times 10^{-6} \times 4} = 2.29 \text{ m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 5 \times 10^{-6} \times 7000}{3 \times 10^{-6}}} = 1527.5 \text{ m/s}$$



7.46 مدفع كهرومغناطيسي يُسرع مدفوعاً من وضع السكون باستخدام القوة المغناطيسية البذولة على سلك يسري فيه تيار كهربائي. والسلك نصف قطر $r = 5.10 \times 10^{-4} \text{ m}$ وهو مصنوع من النحاس الذي كثافته $\rho = 8960 \text{ kg/m}^3$ يتكون المدفع من سافتين طول كل منهما $L = 1.00 \text{ m}$ موضوعين في مجال مغناطيسي ثابت مقداره $B = 2.00 \text{ T}$ وموجه عمودياً على مسنوي السافتين. وينشئ السلك توصيلاً كهربائياً عبر السافتين عند طرفيهما. وعند الإطلاق. يتدفق تيار كهربائي مقداره $1.00 \times 10^4 \text{ A}$ عبر السلك. ما تسرع حركة السلك على امتداد السافتين. احسب السرعة النهائية للسلك لحظة مغادرته للسافتين. (تجاهل الاحتكاك).

حساب الكتلة m

$$m = \rho V = \rho (\pi r^2 L) = \rho (\pi (5.1 \times 10^{-4})^2 \times 1.00) = 1.3 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

نحتاج a

$$a = \frac{F}{m} = \frac{ILB}{m} = \frac{1 \times 10^4 \times 2}{1.3 \times 10^{-3}} = 1.54 \times 10^7 \text{ m/s}^2$$

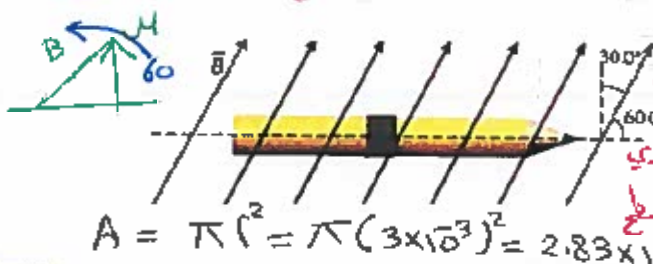
$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x = 0 + 2 \times 1.54 \times 10^7 \times 1.00 = 3.08 \times 10^7$$

$$v_f = 5.55 \times 10^3 \text{ m/s}$$

7.51 تم لف (20) لفة سلكية بقوة حول قلم رصاص قطره (6.0 mm) ثم وضع القلم في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (5.0 T)

كما هو موضح بالشكل إذا مر تيار كهربائي شدته (3.0 A) في حلقات السلك.

* ما مقدار العزم المبذول على القلم الرصاص



$$\tau = BAN \sin \theta = 5 \times 3 \times 2.83 \times 10^{-5} \times 20 \sin 60 = 7.35 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$





7.5S يستخدم مسرع دوراني موضوع في مجال مغناطيسي مقداره ($B=9.0 \text{ T}$) لزيادة سرعة البروتونات إلى (50%) من سرعة الضوء

($B_E = 0.500 \text{ G}$) $(q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}, c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s})$

(1) ما تردد المسرع الدوراني للبروتونات ؟ $r = \frac{mv}{qB} = \frac{m \cdot 2\pi r f}{qB}$

$r = \frac{2\pi m r f}{qB} \Rightarrow f = \frac{qB}{2\pi m_p} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 9}{2\pi \times 1.67 \times 10^{-27}} = 1.4 \times 10^8 \text{ Hz}$

(2) ما نصف قطر مسار البروتونات في المسرع الدوراني ؟

$r = \frac{mv}{qB} = \frac{1.67 \times 10^{-27} \times (0.5 \times 3 \times 10^8)}{1.6 \times 10^{-19} \times 9} = 0.17 \text{ m}$

(3) ما تردد المسرع الدوراني للبروتونات ،

$f = \frac{qB}{2\pi m_p} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times (0.5 \times 10^{-4})}{2\pi \times 1.67 \times 10^{-27}} = 763 \text{ Hz}$

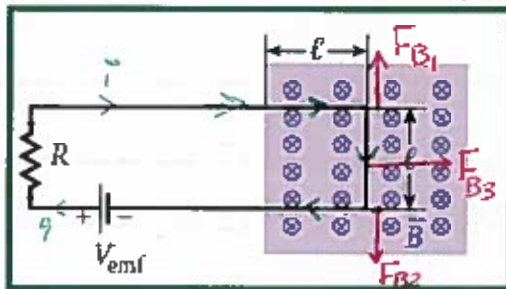
(4) ونصف قطر المسار للبروتونات نفسها في المجال المغناطيسي للأرض

$r = \frac{mv}{qB} = \frac{1.67 \times 10^{-27} \times (0.5 \times 3 \times 10^8)}{1.6 \times 10^{-19} \times (0.5 \times 10^{-4})} = 3.13 \times 10^4 \text{ m}$

7.64 بطارية جهدها الكهربائي ($V_{emf} = 12.0 \text{ V}$) موصلة بمقاوم ($R = 3.0 \Omega$) في حلقة سلكية مستطيلة أبعادها ($L = 3.0 \text{ m}, w = 1.0 \text{ m}$)

كما هو موضح بالشكل ، يوجد جزء من السلك طوله ($L = 1.0 \text{ m}$) في نهاية الحلقة يمتد داخل منطقة ذات مجال مغناطيسي مقداره ($B = 5.0 \text{ T}$) موجه إلى داخل الصفحة .

ما محصلة القوة المؤثرة في الحلقة ؟



F_{B1} ستلغي تأثير F_{B2} لأنها متعاكستان
في الاتجاه بسبب تعاكس التيار
وبالتالي المحصلة ستكون F_{B3} فقط

$F_{net} = F_{B3} = iLB$

$= 4 \times 1 \times 5$

$= 20 \text{ N}$

نحو اليمين

$i = \frac{\Delta V}{R} = \frac{12}{3} = 4 \text{ A}$

