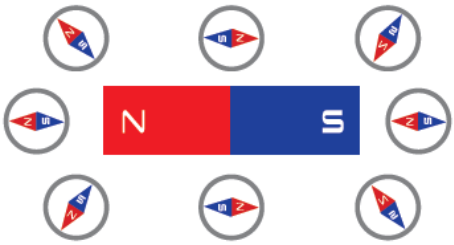
الوحدة الرابعة

1. المجال المغناطيسيّ

المجال المغناطيسيّ Magnetic Field Concept

المجال المغناطيسيّ :خاصية للحيز المحيط بالمغناطيس، ويظهر في هذا الحيّز تأثير المجال على شكل قوى مغناطيسيّة تؤثر في المغانط الأخرى والمواد المغناطيسيّة.

والمجال المغناطيسيّ كميّة مُتّجهة، يمكنُ تحديد اتّجاهه عند نقطةٍ مُعيّنةٍ بوضع بوصلةٍ صغيرةٍ عند تلك النقطة؛ فتشيرُ إبرتُها إلى اتّجاه المجال كما في الشكل التالي:

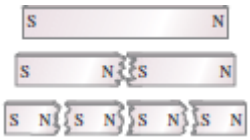


مما تتكون المغانط؟

1. مغانط طبيعية: تستخرج من معدن المغنتيت Magnetite تعرف عليها الأنسان في الطبيعة، وعندما عُلّقت قطعةٌ منها تعليقًا حُرًّا في الهواء أخذت تدور حتى استقرّت باتّجاه شمال-جنوب؛ لذلك صنع منها الصينيون القُدامى وشعوب الفايكنغ البوصلة واستخدموها في الملاحة.
2. مغانط مصنعة: هي مغانط دائمة، تُصنَع المغانط الدائمة من موادّ قابلةٍ للتّمغنُط مثل؛ الحديد، والنيكل، والكوبالت، والنيوديميوم، حيثُ تُسمّى موادَّ مغناطيسيّة.

هل يمكن الحصول على قطب مغناطيسي منفردا؟

توجدُ أقطابُ المغانط دائمًا على شكل أزواج؛ شماليٍّ وجنوبيّ، ولا يوجد قطبُ مغناطيسيٌّ منفردٌ، على خلاف الشحنات الكهربائيّة، حيث يمكن أن توجد شحنةٌ مفردة؛ موجبةٌ أو سالبة. فعند كسر مغناطيس يظهر في كل جزء منه قطبان شمالي وجنوبي، والشكل المجاور يوضح مغناطيس كسر الى جزئين ثم أربع أجزاء ظهر عليها قطبان شمالي وجنوبي على شكل أزواج.



ما هي خصائص المغناطيس:

1. له قطبان شمالي وجنوبي عند تعليقه تعليقاً حراً فانه يتجه شمالاً وجنوباً.
2. تتركز قوة الجذب المغناطيسي في قطبيه وتقل في المناطق الأخرى.
3. الأقطاب المختلفة في النوع تتجاذب والمتشابهة في النوع تتنافر.
4. إذا قُطع المغناطيس من أي منطقة فيه فانه يتكون له قطبان ولا يمكن أن يكون له قطب منفرد عملياً.
5. القوة المغناطيسية قوة تأثير عن بُعد، حيث يؤثر المجال المغناطيسي في الجسيمات المشحونة وفي المغانط الأخرى دون أن يحدث تلامس بينها عن بعد (مثل قوّة الجذب الكتليّ، والقوّة الكهربائيّة).

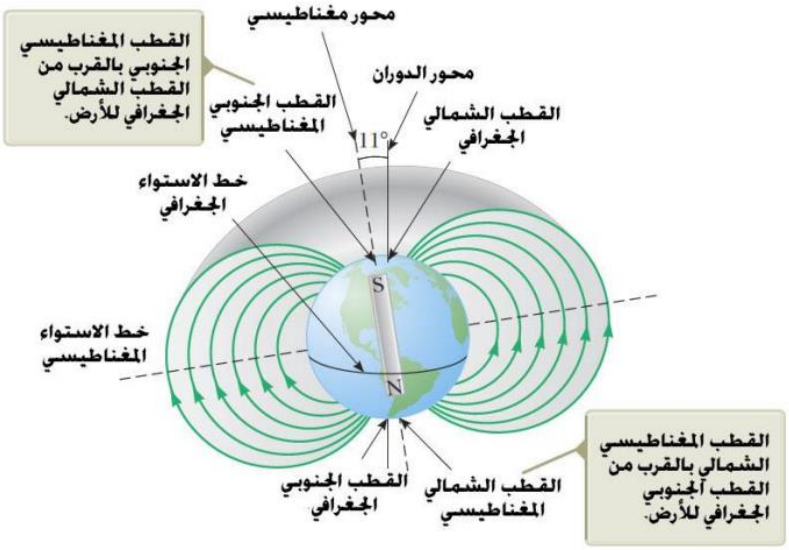
كيف نحدد أقطاب المغناطيس؟

لكلّ مغناطيسٍ قطبان؛ **قطبٌ شماليٌّ North Pole (N) ، وقطبٌ جنوبيّ South Pole (S) .**

عند تعليق مغناطيسٍ مُستقيمٍ بحيثُ يكون حُرَّ الدوران؛ فإنّ قطبهُ الشماليّ يشيرُ نحو الشمال، بينما يشيرُ قطبه الجنوبيُّ نحو الجنوب.

لماذا يتجه القطب الشمالي للمغناطيس الى الشمال الجغرافي والقطب الجنوبي الى الجنوب الجغرافي؟

لان القطب المغناطيسي الجنوبي يقع بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي، القطب المغناطيسي الشمالي يقع بالقرب من القطب الجنوبي الجغرافي (القطب المغناطيسي يخالف القطب الجغرافي) ، والشكل المجاور يوضح هذا التخالف، وعند تعليق مغناطيس تعليقا حرا فان قطبه الشمالي ينجذب الى الشمال الجغرافي الموجود بالقرب منه القطب المغناطيسي الجنوبي.



هل القوّة المغناطيسيّة قوّة تلامس أم قوّة تأثير عن بعد؟ أبرّر إجابتي.

القوة المغناطيسية قوة تأثير عن بُعد، حيث يؤثر المجال المغناطيسي في الجسيمات المشحونة وفي المغانط الأخرى دون أن يحدث تلامس بينها. فعند تعليق مغناطيس حر الحركة دون تلامسه مع الأرض يتجه شمالا جنوبا متأثرا بالمجال المغناطيسي الأرضي.

خطوطُ المجال المغناطيسيّ Magnetic Field Lines

خطوطُ المجال المغناطيسيّ: خط وهمي يمثل مسار حركة وحدة الأقطاب الشمالية الافتراضية حيث تبدو خارجة من القطب الشمالي وداخلة إلى القطب الجنوبي خارج المغناطيس وداخلة من الجنوبي الى الشمالي.

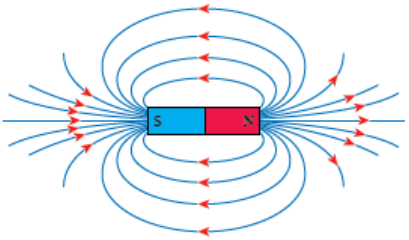
أذكرُ خصائص خطوط المجال المغناطيسيّ؟

1. خطوطٌ وهميّةٌ مُقفَلةٌ تخرجُ من القطب الشماليّ وتدخل القطب الجنوبيّ، وتكملُ مسارها داخل المغناطيس من القطب الجنوبي إلى الشماليّ.
2. اتّجاه المجال المغناطيسيّ عند أيّ نقطةٍ على خطّ المجال يكون على امتداد المَماس للخطّ عند تلك النقطة.
3. لا تتقاطع؛ لأنّ للمجال المغناطيسيّ اتّجاهٌ واحدٌ عند كلّ نقطة، يُحدّد باتّجاه المَماس لخطّ المجال.
4. يُعبّر عن مقدار المجال المغناطيسيّ بعدد الخطوط التي تعبر وحدة المساحة عموديًّا عليها.

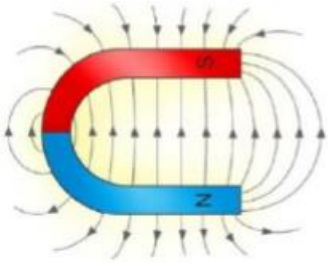
أرسمُ خطوطَ المجال المغناطيسيّ للمغانط التالية:

1. **مغناطيسٍ مستقيم.**
2. **مغناطيس على شكل حرف(U).**
3. **مغناطيسين متشابهين.**
4. **مغناطيسين مختلفين.**

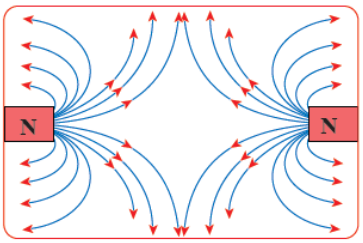
1 . مغناطيسٍ مستقيم:



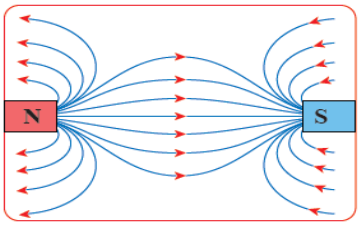
2. مغناطيس على شكل حرف(U):



3. مغناطيسين متشابهين:

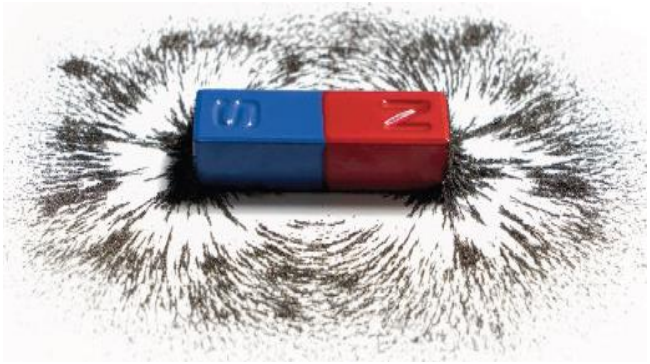


4. مغناطيسين مختلفين:



كيف يتم رسم خطوط المجال المغناطيسي عمليا؟

تستخدَمُ برادةُ الحديد لترسيم خطوط المجال المغناطيسيّ كما يبيّن الشكلُ المجاور حيث يُمثَّل المجال المغناطيسيّ بخطوطٍ تعبّر عن مقداره واتّجاهه. وينشأ مجالٌ مغناطيسيٌّ مُحصّلٌ عند كل نقطة في منطقة المجال.

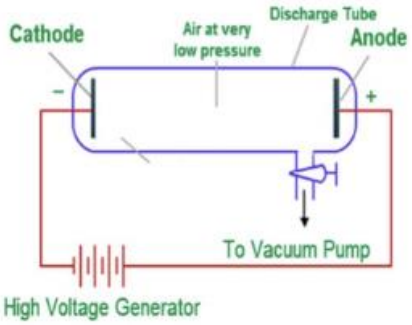


القوّة المؤثرة في شحنةٍ مُتحرّكةٍ في مجالٍ مغناطيسيّ

Force on a Charge Moving in a Magnetic Field

أنبوب الأشعة المهبطية : جهاز مفرغ من الهواء له قطب سالب وأخر موجب يستخدم لدارسة تأثيرَ المجال المغناطيسيّ في مسار الأشعة.

Cathode Ray Tube



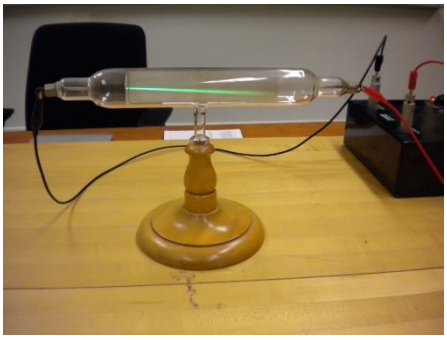
مسار الأشعة المهبطية: تنتقل الأشعة المهبطية من القطب السالب في الأنبوب إلى القطب الموجب، وهي غير مرئية لكن تصـــادمها مع ذرات الغاز داخل الأنبوب يُهيّج الذرات فتصدر عنها أشعة مرئية.

ما أهمية أن يكون ضغط الهواء منخفضًا داخل أنبوب الأشعة المهبطية؟

عند زيادة ضـــغط الغاز داخل الأنبوب، نعني زيادة عدد ذرات الغاز مما يزيد من حالات تصـــادم الأشـــعة المهبطية مع الذرات وفقدانها للطاقة، ولا يمكنها الوصـول إلى القطب الموجب، لذلك يجب تخفيض الضغط داخل الأنبوب.

ماذا يحدث عند تقريب مغناطيس من مسار الأشعة المهبطية وعند عكس أقطاب المغناطيس؟

عند تقريب مغناطيس من مســار أشـعة المهبط تنحرف عن مســارها، لأنها جســيمات مشـــحونة إلكترونات فتتأثر بقوة تتعامد مع اتجاه حركتها ومع اتجاه المجال المغناطيســـي، وعند تغيير القطب الآخر، تنعكس خطوط المجال، فينعكس اتجاه القوة المغناطيســـية، ويتحول انحراف الأشعة نحو الجهة الأخرى.



كيف تحدد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في الشحنات المتحرّكة داخل مجال مغناطيسيّ، واتّجاه المجال المغناطيسيّ؟

أحدد اتجاه المجال المغناطيســـي معتمدًا على نوع القطب المغناطيســـي الذي جرى تقريبه من الأنبوب، واتجاه الأشـــعة المهبطية يكون من القطب السالب (المهبط) إلى القطب الموجب (المصعد). واستخدم قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية.

ما هي خصائص القوّة المغناطيسيّة التي تؤثّر في جُسيم مشحونٍ يتحرّكُ في مجالٍ مغناطيسيّ:

1. يتناسبُ مقدار القوّة المغناطيسيّة طرديًّا مع كل من؛ شحنة الجُسيم (q) ومقدار سرعته (v) ومقدار المجال المغناطيسيّ (B).
2. يعتمد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة على اتّجاه سرعة الجُسيم واتّجاه المجال المغناطيسيّ، وعلى نوع شحنة الجُسيم.

والعلاقة الرياضية التالية تمثل حاصل الضرب المتجهي لقوّة مغناطيسيّة تؤثّر في جُسيم مشحونٍ يتحرّكُ في مجالٍ مغناطيسيّ :

$$\boldsymbol{F_B = qv \times B}$$

$\boldsymbol{F_B}$: مُتّجه القوّة المغناطيسيّة الذي يكون دائمًا عموديًا على كل من؛ متجه المجال المغناطيسي $(\boldsymbol{B})$ ومتجه السرعة $(\boldsymbol{v})$

ويُعطى مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في الشحنة المتحرّكة بالعلاقة الآتية:

$$F_B = qvB \sin\theta$$

حيث (θ) هي الزاوية بين متجه المجال المغناطيسي ($\boldsymbol{B}$) ومتجه السرعة ($\boldsymbol{v}$) .

ملاحظة : نستخدم إشارة الشحنة فقط لتحديد اتجاه القوة ،وتعوض القيمة المطلقة لها عند الحل.

متى تكون القوّة المغناطيسيّة قيمة عظمى لجسيم مشحونٍ متحرّكُ في مجالٍ مغناطيسيّ :

تكون القوّة المغناطيسيّة قيمة عظمى لجسيم مشحونٍ متحرّكُ في مجالٍ مغناطيسيّ عندما تكون الزاوية (θ) بين متجه المجال المغناطيسي ومتجه السرعة تساوي ($90°$) حيث ($\sin 90° = 1$).

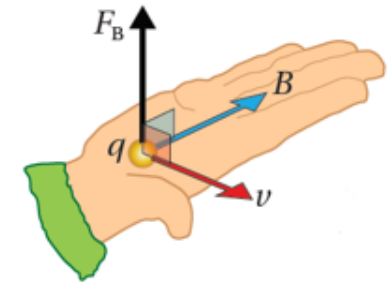
متى تكون القوّة المغناطيسيّة معدومة لجسيم مشحونٍ متحرّكُ في مجالٍ مغناطيسيّ :

1. تنعدم القوّة المغناطيسيّة في حالتين:
   إذا كان ساكنًا ($v = 0$)
2. مُتحرّكًا بسرعةٍ موازيةٍ للمجال المغناطيسيّ، أي ($\theta = 0°$)، أو($\theta = 180°$) حيث ($\sin 180° = \sin 0° = 0$)

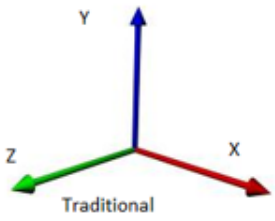
المجال المغناطيسيّ عند نقطةٍ: هو القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في وحدة الشحنات الموجبة لكلّ وحدة سرعة، عندما تتحرك الشحنة بسرعة (1 m/s) باتّجاهٍ عموديٍّ على اتّجاه المجال المغناطيسيّ لحظة مرورها في تلك النقطة، ويُقاس بوحدة تسلا tesla (T) ؛ وفقَ النظام الدولي للوحدات.

$$1T = 1\frac{N}{C\,.\,m/s} = 1\frac{N}{A\,.m}\,,\ (\frac{C}{S} = A)$$

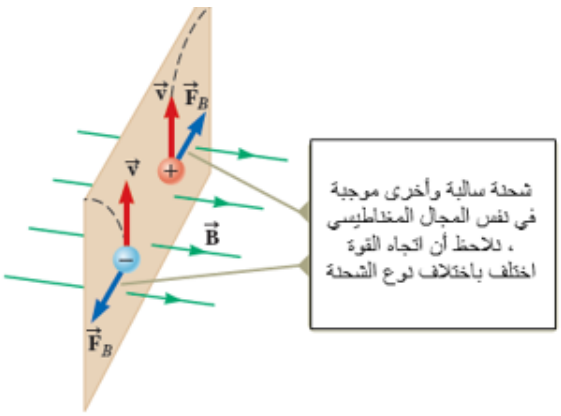
تُستخدم **قاعدة اليد اليمنى** لتحديد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في شحنةٍ كهربائيّةٍ **موجبةٍ** ولتحديد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في شحنةٍ كهربائيّةٍ سالبة نستخدم اليد اليمنى مع عكس النتيجة . حيث تُبسَط اليد؛ بحيث يشير الإبهام إلى اتّجاه السرعة كما في الشكل المجاور وتشير باقي الأصابع إلى اتّجاه المجال المغناطيسيّ، عندها يُحدّد اتّجاه القوّة بسهمٍ يخرُج من باطن الكفّ ويكون عموديًّا عليه.



1.قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في شحنةٍ كهربائيّةٍ (موجبة)



2. المحاور الثلاث(x,y,z)

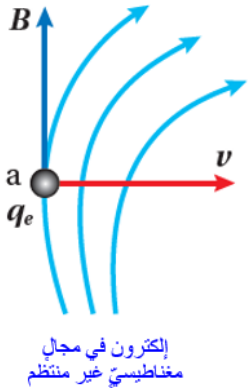


3.اتجاه القوة الناتج عن مجال مغناطيسي لشحنة موجبة وأخرى سالبة

جُسيم مشحون بشحنةٍ موجبة، يتحرّك في مستوًى أفقيّ باتّجاه الشرق($+x$) ، داخل المجال المغناطيسيّ الأرضـــيّ الذي يتّجه من الجنوب إلى الشـــمال($+y$)، أســـتخدمُ قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة التي يؤثّر بها المجال المغناطيسيّ الأرضيّ في الجُسيم، باتّجاه ($+z$) ، أم باتّجاه ($-z$) ؟

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى على الجسـيم، بوضـع الإبهام باتجاه الحركة نحو الشـرق، والأصـابع الأخرى باتجاه المجال المغناطيســي نحو الشــمال، فإن ذلك يتطلب وضــع باطن الكف نحو الأعلى، وتكون القوة خارجة من باطن الكف نحو الأعلى ($+z$).

مثال 1: كتاب



إلكترون في مجالٍ مغناطيسيّ غير منتظم

يتحرّك إلكترون بسـرعة ($5 \times 10^6 m/s$) باتّجاه محور($+x$)؛ أحسـب مقدار القوّة المغناطيسـيّة التي تؤثّر فيه لحظة مروره بالنقطة (a) وأحدّد اتّجاهها، علمًا أنّ المجال المغناطيسيّ عندها ($2 \times 10^{-4} T$) باتّجاه محور ($+y$) كما في الشكل المجاور.

المعطيات:

الشكل، $v = 5 \times 10^6$ m/s, $B = 2 \times 10^{-4}$T, $\theta = 90°$, $q_e = -1.6 \times 10^{-19}$

المطلوب: F_B =?

الحل:

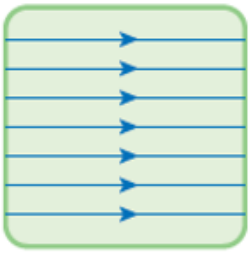
حسب الشكل المبين؛ ألاحظ أنّ خطوط المجال المغناطيسيّ ليست مستقيمة، لكن عند النقطة (a) يكون اتّجاه المجال على امتداد المماس وللأعلى وباتّجاه($+y$).

$$F_B = qvB \sin\theta$$
$$F_B = 1.6 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-4} \times 1$$
$$F_B = 1.6 \times 10^{-16} \text{N}$$

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى؛ أجد أنّ اتّجاه القوّة التي تؤثّر في الإلكترون تكون داخلة في الصفحة باتجاه(-z) بعيدًا عن الناظر (لأن الشـحنة سـالبة). تكون القوّة بهذا المقدار والاتّجاه عند النقطة (a) فقط؛ لأنّ المجال متغيّر في مقداره واتجاهه عند النقاط الأخرى. ألاحظ أنّ إشـارة الشـحنة تستخدم لتحديد اتجاه القوة، وليس في حساب مقدار القوة.

حركةُ جُسيمٍ مشحونٍ في مجالٍ مغناطيسيٍّ منتظم

المجال المغناطيسي **المنتظم:** يكون فيه المجال المغناطيسي ثابتًا في المقدار والاتّجاه عند النقاط جميعها في منطقة المجال.

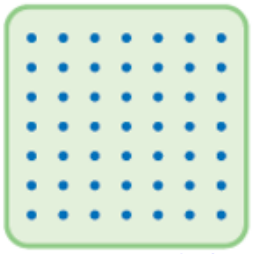


(أ)

مجال المغناطيسيّ منتظم متجه نحو اليمين $(+x)$

كيف يتم تمثيل المجالُ المغناطيسيّ المُنتَظم:

1. يمثَّلُ بخطوطٍ مُستقيمةٍ مُتوازية؛ تكون المسافات بينها متساويةً. كما في الشكل (أ).
2. يمثَّلُ بمجموعة نقاطٍ (رأسُ سهمٍ يتّجهُ نحو الناظر) مُرتّبةٍ بانتظام؛ عندما يكون عموديًّا على الصفحة وكأنّه خارجٌ منها نحو الناظر كما في الشكل(ب)
3. يمثّلُ بمجموعةِ إشارات ضربٍ (ذيلُ سهمٍ يتّجهُ بعيدًا عن الناظر) مُرتّبةٍ بانتظام؛ عندما يكون عموديًّا على الصفحة وكأنّه داخلٌ فيها مبتعدٌ عن الناظر، كما يبيّن الشكلُ (ج).



(ب)

مجال المغناطيسيّ منتظم نحو الناظر

(جـ)

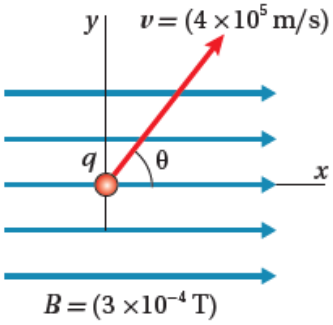
مجال المغناطيسيّ منتظم بعيدًا عن الناظر

جُسيمٌ مشحونٌ يتحرّك في مجالٍ مغناطيسيٍّ منتظمٍ (B) باتّجاهٍ يُوازي خطوطَ المجال. هل يتأثّر الجُسيم بقوّةٍ مغناطيسيّة؟

تُعطى القوة المغناطيسية المؤثرة في الجسيم بالعلاقة $(F_B=qvB\sin\theta)$
وحيث أن $(\sin\theta = 0)$ فإن القوة تساوي صفرا، لا يتأثر الجسيم بقوة لأن الزاوية بين اتجاه المجال واتجاه الحركة تساوي صفراً

مثال 2: كتاب

يتحرّك جُسيمٌ شحنته $(5 \times 10^{-6}\ C)$ في المستوى (x,y) داخل مجالٍ مغناطيسيٍّ منتظم، بسرعة (v) باتّجاهٍ يصنعُ زاوية $(\theta = 53°)$ مع محور$(+x)$ ، كما في الشكل المجاور مُعتمدًا على بيانات الشكل؛ أحسب مقدارَ القوّة المغناطيسيّة التي تؤثّر في الجُسيم، وأحدّد اتّجاهها.



المُعطيات : $v = 4\times10^5$ m/s, $B = 3\times10^{-4}$T, $\theta = 53°$, $q = \times10^{-6}C$

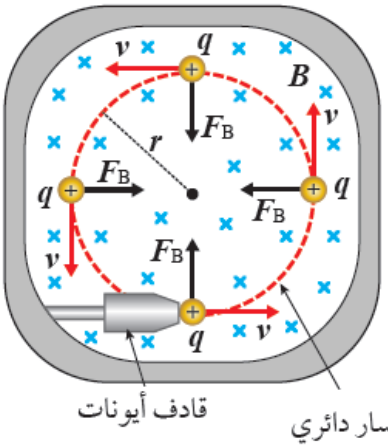
المطلوب : F_B = ? :

الحل:

$$F_B = qvB\sin\theta$$
$$F_B = 5\times10^{-6}\times4\times10^5\times3\times10^{-4}\times\sin53°$$
$$F_B = 5\times10^{-6}\times4\times10^5\times3\times10^{-4}\times0.8$$
$$F_B = 4.8\times10^{-4}\text{N}$$

بتطبيق قاعدةِ اليد اليُمنى؛ بوضع الإبهام باتّجاه السرعة (v) ، وباقي الأصابع باتّجاه المجال$(+x)$ أجدُ أنّ اتّجاه القوّة التي تؤثّر في الشحنة تكون داخلةً في الصفحة، باتجاه $(-z)$ بعيدًا عن الناظر (لأنّ الشحنة موجبة).

الحركة الدائريّةُ لجُسيمٍ مشحونٍ في مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتظم



يظهرُ في الشكل المجاور حزمةُ جُسيماتٍ موجبة الشحنة تتحرّك داخل أُنبوبٍ مفرغٍ من الهواء بسرعةٍ ابتدائيةٍ (v) باتّجاه محور($+x$) ؛ فتدخل مجالاً مغناطيسيّا مُنتظمًا يتّجه داخل الصفحة ($-z$) ، بشكلٍ عموديٍّ عليه. يتأثّر كل جُسيمٍ في هذه الحزمة لحظة دخوله المجال المغناطيسيّ بقوّةٍ مغناطيسيّةٍ يكون اتّجاهُها عموديًّا على كلٍّ من اتّجاه المجال المغناطيسيّ واتّجاه السرعة، أيّ باتّجاه ($+y$)، فتعملُ القوّةُ على انحراف حزمة الجُسيمات باتّجاهها؛ فيتغير اتّجاه سرعة الجُسيمات، ويتغير نتيجة لذلك اتّجاه القوّة، وتبقى القوّة باتّجاهٍ عموديٍّ على كلّ من اتّجاه السرعة واتجاه المجال، ويُعطى مقدارها بالعلاقة التالية:

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

وتتحرّك الجُسيمات بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا في مسارٍ دائريٍّ يقعُ في مستوًى مُتعامِد مع اتّجاه المجال المغناطيسيّ. تعملُ القوّة المغناطيسيّةُ في هذه الحالة عمل القوّة المركزية، ويمكن التعبيرُ عن مقدارها باستخدام القانون الثاني لنيوتن بالعلاقة:

$$F_B = \frac{mv^2}{r}$$

حيث m كتلة الجُسيم و r نصف قطر المسار الدائري.
أستنتجُ من العلاقتين السابقتين أنّ:

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \longrightarrow qB = \frac{mv}{r} \longrightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$$

يُسمّى المقدارُ $\frac{q}{m}$ **الشحنةَ النوعيّة للجُسيم**، وهي ناتجُ قسمة شحنة الجُسيم على كتلته. وتُعدّ صفةً فيزيائيّة للمادّة؛ يستخدمها العلماءُ للتعرُّف على الجُسيمات المجهولة. حيث صُمّمت أجهزةٌ عدّةٌ تستخدم القوّة المغناطيسيّة في توجيه الجُسيمات المشحونة؛ منها مطيافُ الكتلة ومسارع السينكروترون.

فسّرْ لماذا لا تبذلُ القوّة المغناطيسيّة شغلًا على جُسيمٍ مشحونٍ يتحرك داخل مجال مغناطيسيٍّ مُنتظم. وهي تختلف بذلك عن القوّة الكهربائيّة التي تبذل شغلاً على جسمٍ مشحونٍ يتحرك داخل مجالٍ كهربائيّ.

القوة المغناطيسية تؤثر في الجسيم المشحون المتحرك داخل المجال المغناطيسي باتجاه يكون دائمًا عمودي على اتجاه الحركة، فتكون الزاوية بين الإزاحة والقوة (90°) والشغل يساوي صفرا، بينما عند تأثير القوة الكهربائية في الجسيم المشحون تكون الزاوية بين القوة والإزاحة صفر أو (180°)، أو أي زاوية أخرى ، وبذلك يوجد شغل موجب أو سالب، ويكون هذا الشغل صفرا في حال كانت الزاوية (90°).

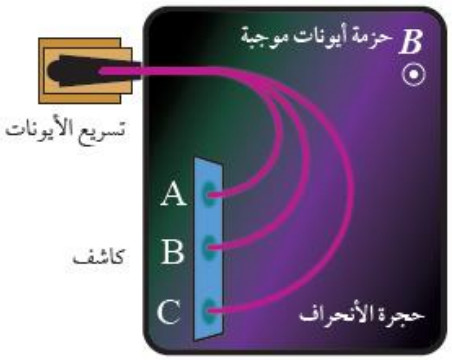
لماذا تختلف الشحنة النوعية للإلكترون عنها للبروتون؟
الشحنة النوعية هي ناتج قسمة الشحنة على الكتلة، وحيث أن كتلة البروتون تختلف عن كتلة الإلكترون فإن الشحنة النوعية لهما مختلفة، على الرغم من أن القيم المطلقة لشحنتيهما متساوية.

تطبيقات تكنولوجية:

1.مطيافُ الكتلة: Mass Spectrometer

جهازٌ يستخدم لقياس كتل الجُسيمات الذريّة لتحديد مكوّنات عيّنةٍ مجهولة.

كيف يعمل جهاز مطيافُ الكتلة؟



1. التسخين :تُحوّل العيّنة إلى الحالة الغازية .
2. التأيين :تؤيّن جُسيماتها؛ بحيث يفقدُ كلٌّ منها عددًا متساويًا من الإلكترونات؛ فتصبحُ جميعُها متساويةَ الشحنة رغم اختلاف كُتَلها
3. الانحراف: ثمّ تدخل هذه الأيونات بالسرعة نفسها مجالً مغناطيسيًّا مُنتَظمًا عموديًّا على اتّجاه السرعة، فيتحرك كلُّ أيونٍ في مسارٍ دائريٍّ نتيجةً للقوّة المغناطيسيّة المركزية المؤثّرة فيه وتُعطى بالعلاقة:

$$F_B = \frac{mv^2}{r} \longrightarrow r = \frac{mv^2}{F_B} = \frac{mv^2}{qvB} = \frac{mv}{qB}$$

4. الكشف والتحليل: وبسبب اختلاف كُتَل الأيونات يختلف نصفُ قطر المسار الدائري(r) لكل منها؛ كما في الشكل ، وبما أنّ مقاديرَ كلٍّ من السرعة والمجال والشحنة ثابتةٌ، فإنّ نصفَ قطر المسار يتناسب طرديًّا مع الكتلة (m) وبمعرفة قيمة (r)؛ يجري حسابُ الشحنة النوعية لكلّ أيون، ثم التعرُّف على هُويّة مكوّنات العيّنة.

ملاحظة : في الشكل السابق الأيونات موجبة تتحرك باتجاه $(+x)$ والمجال المغناطيسي خارج من الصفحة ،وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى فإنّ اتجاه الانحراف للأسفل .
وعندما تكون الأيونات سالبة متحركة باتجاه $(+x)$ والمجال المغناطيسي خارج من الصفحة ، وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى (مع عكس النتيجة) فإنّ اتجاه الانحراف يكون للأعلى .

2.مسارع السينكروترون: Synchrotron

جهازٌ يُستخدم لتسريع الجُسيمات المشحونة مثل الإلكترون، والبروتون، والأيونات إلى سرعاتٍ عالية؛ لاستخدامها في الأبحاث العلمية. ويُستخدمُ لذلك مجالٌ كهربائيّ، ومجالٌ مغناطيسيّ.

أهميةُ المجال الكهربائيّ : تزويد الجُسيمات المشحونة بالطاقة الحركية نتيجةَ مُسارعتها في فرق جهد كهربائيّ، ويجري تعديل تردّد المجال الكهربائيّ بما يتناسب مع سرعة الجُسيمات والتردّد المداريّ لحركتها.

أهميةُ المجال المغناطيسيّ: هناك وظيفتان رئيستان للمجال المغناطيسيّ في السينكروترون:

الأولى: أنّه يعمل على تغيير مسار الجُسيمات لإبقائها في مسارٍ حلقيّ (قد يكون دائريًا) ويجري زيادةُ المجال المغناطيسيّ كُلّما زاد الزخَم الخطي للجُسيمات، لتوفير القوّة المغناطيسيّة الكافية للحفاظ على المسار الدائري. وهذا ما يميّز السينكروترون عن المسارع القديم (السيكلترون)

الثانية: إكساب الإلكترونات تسارعًا مركزيًا (تغيير اتّجاه سرعتها) الأمر الذي يؤدي الى إنتاج موجات كهرومغناطيسية مختلفة الطول المَوْجيّ.

لماذا تجري زيادة المجال المغناطيسي في السينكروترون كُلّما زاد الزخَم الخطيُّ للجُسيمات المُتسارعة فيه.

بزيادة الزخم الخطي للجسيم المشحون تزداد سرعته، وهذا يتطلب قوة مركزية أكبر لإبقاء الجسيم محافظًا على حركته الدائرية من دون زيادة في نصف القطر، لذلك يجب زيادة المجال المغناطيسي.

ما استخدامات كُلٍّ من جهازي مِطياف الكتلة والسينكروترون؟ وما وظيفةُ المجال المغناطيسيّ في كلٍّ منهما؟

مطياف الكتلة: يستخدم لقياس كتل الجُسيمات الذريّة لتحديد مكوّنات عيّنةٍ مجهولة

السنكروترون: يستخدم لتسريع الجُسيمات المشحونة مثل الإلكترون ، والبروتون ، والأيونات إلى سرعا ت عالية؛ لاستخدامها في الأبحاث العلمية.

وظيفة المجال المغناطيسي في مطياف الكتلة : تحريك الجسيمات المشحونة حركة دائرية.

وظيفة للمجال المغناطيسيّ في السينكروترون:

الأولى: أنّه يعمل على تغيير مسار الجُسيمات لإبقائها في مسارٍ حلقيّ (قد يكون دائريًا) ويجري زيادةُ المجال المغناطيسيّ كُلّما زاد الزخَم الخطيّ للجُسيمات، لتوفير القوّة المغناطيسيّة الكافية للحفاظ على المسار الدائري. وهذا ما يميّز السينكروترون عن المسارع القديم (السيكلترون)

الثانية: إكساب الإلكترونات تسارعًا مركزيًا (تغيير اتّجاه سرعتها) الأمر الذي يؤدي الى إنتاج موجاتٍ كهرومغناطيسية مختلفة الطول المَوْجيّ.

ما هي الاستخدامات العلمية للسينكروترون؟

الموجاتُ الكهرومغناطيسية الصادرة عن السينكروترون، يمكن التحكُّم فيها لإعطاء حُزَمٍ تتراوح أطواله المَوجيّة من تحت الحمراء إلى الأشعة السينيّة، حيث أنّ موجات الضوء المرئيّ الناتجة تفوق ضوء الشمس في سطوعها. بحيثُ يستخدم الطول الموجي المناسب في الأبحاث العلمية في مجالات الفيزياء والكيمياء؛ مثل اكتشاف الخصائص الذريّة والجُزيئيّة وطول الروابط بين الذرات داخل الجزيء الواحد على مستوى النانومتر(nm) ..

مثال 3: كتاب

قُذف بروتونٍ بسرعةٍ ابتدائيةٍ (4.7×10^6 m/s) داخل مجالٍ مغناطيسيّ منتظم (0.35 T)؛ بحيث تتعامدُ سرعةُ البروتون مع المجال فسلك مسارًا دائريًّا. إذا علمتُ أنّ شحنة البروتون ($1.6\times10^{-19}c$) وكتلته تساوي(1.67×10^{-27}kg) ، أحسبُ نصف قطر المسار الدائري للبروتون.

المُعطيات : $v = 4.7 \times 10^6$ m/s, $B = 0.35$ T, $\theta = 90°$

$m_p = 1.67 \times 10^{-27}$kg, $q_p = 1.6 \times 10^{-19}$C

المطلوب : r = ?

الحل:

$$\frac{q}{m_p} = \frac{v}{Br} \rightarrow r == \frac{m_p v}{qB}$$

$$r = \frac{1.67 \times 10^{-27} \times 4.7 \times 10^6}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.35} = 1.4\times10^{-1}\text{m}$$

مثال 4: كتاب

استُخدمَ مطياف الكتلة لفصل خام اليورانيوم إلى ذرات اليورانيوم (235) واليورانيوم (238)؛ تمّ تأيينُ الذرّات فأصبحت شحنةُ كلّ أيونٍ منها (1.6×10^{-19} C) ، ثمّ قُذفَت جميعُها داخل مجالٍ مغناطيسيّ مُنتظم (1.2 T) بسرعة ($4\times10^4 m/s$) ، عموديّةٍ عليه ($\theta = 90^\circ$) إذا كان نصف قطر مسار أحدهما (8.177cm) والثاني (8.281cm) ؛ أحسبُ كُلًّ من:

أ . الشحنة النوعية لأيون كُلِّ ذرّة.

ب . كتلةُ كُلِّ أيون.

المعطيات:

$v = 4.0\times10^4$ m/s, B =1.2 T, $\theta = 90°$, r_1 = 8.177cm, r_2 = 8.281cm, q=1.6×10^{-19}C

المطلوب:

$$q/m_1 = ?\ ,\ q/m_2 = ?\ ,\ m_1 = ?\ ,\ m_2 = ?$$

الحل:

أ . الشحنة النوعيّة لكلا الأيونين:

$$\frac{q}{m_1} = \frac{v}{Br_1} = \frac{4.0\times10^4}{1.2\times8.177\times10^{-2}} \approx 407647 \text{ C/kg}$$

$$\frac{q}{m_2} = \frac{v}{Br_2} = \frac{4.0\times10^4}{1.2\times8.281\times10^{-2}} \approx 402528 \text{ C/kg}$$

ب . لحساب كتلة كل أيون؛ نستخدم العلاقة:

$$\frac{q}{m_1} = 407647 \text{ C/kg}$$

$$\frac{1.6\times10^{-19}}{m_1} = 407647 \rightarrow m_1 = 3.925\times10^{-25}\text{kg}$$

$$\frac{q}{m_2} = 402528 \text{ C/kg}$$

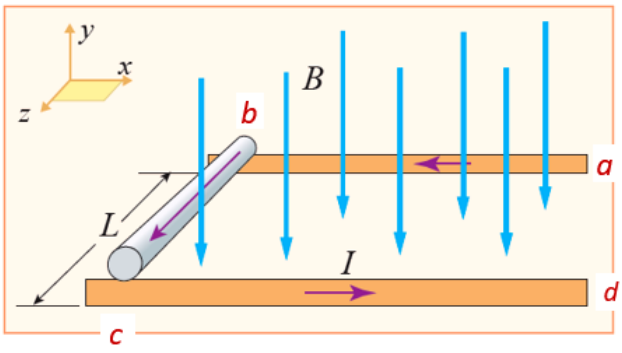
$$\frac{1.6\times10^{-19}}{m_2} = 402528 \rightarrow m_2 = 3.975\times10^{-25}\text{ kg}$$

ألاحظُ أنّ الأيون الذي يسلك مسارًا نصفُ قطره أكبر يمتلك الكتلة الأكبر، وهو أيون ذرة اليورانيوم (238)، في حين يسلك أيون ذرة اليورانيوم (235) المسار الآخر الذي نصف قطره أصغر.

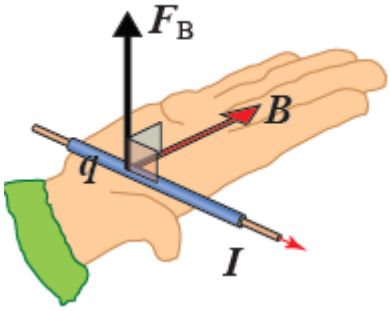
القوّة المؤثّرة في موصلٍ يحمل تيارًا في مجالٍ مغناطيسيّ

Force on a Current-Carrying Conductor in a Magnetic Field

في الطبيعة هناك مواد قابلة للتمغنط مثل(الحديد) وهناك مواد غير قابلة للتمغنط مثل (النحاس والألمنيوم) وعند وضع الموصلات الفلزية (نحاس أو الألمنيوم) في مجال مغناطيسي وتمرير تيار كهربائي فيها ، نعتبر الموصل في هذه الحالة مسار لسيل من الشحنات الكهربائية (تيار كهربائي) تتحرك معا في الموصل الفلزي، وتتأثر بالمجال المغناطيسي .



في الشكل المجاور عبارة عن قضيبين من النحاس ثابتين، موضوع فوقهما سلك نحاسي أسطواني قابل للحركة فوق القضيبين الثابتين، بحيث يضمن استمرار سريان التيار الكهربائي في السلك الأسطواني أثناء حركته فوق القضيبين الثابتين. والنظام المكون من مجموعة القضيبين الثابتين والقضيب المتحرك مغمور في مجال مجالٍ مغناطيسيٍّ باتّجاهٍ رأسيٍّ نحو الأسفل $(-y)$، ويسري في السلك تيّارٌ كهربائيّ من النقطة (b) الى النقطة (c) باتّجاه $(+z)$.



القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في الموصل تساوي مُحصّلة القوى المغناطيسيّة المؤثرة في الشحنات التي تنقل التيار الكهربائيّ.

لتحديد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في الموصل؛ أستخدم قاعدة اليد اليُمنى، حيث يشير الإبهام إلى اتّجاه حركة الشحنات الموجبة داخل الموصل، وتشير أصابع اليد الأربعة إلى اتّجاه المجال المغناطيسيّ، عندها يُحدّد اتّجاه القوّة المؤثّرة في الموصل بسهمٍ يخرج من باطن الكف بشكل عموديّ عليه كما في الشكل المجاور.

ملاحظة (1): في الشكل السابق اتجاه التيار في السلك الأسطواني على طول القضيب من النقطة (b) الى النقطة (c) باتّجاه $(+z)$.

(2) :اتجاه القوة المؤثرة في القضيب حسب قاعدة اليد اليمنى باتجاه $(+x)$.

ماذا يحدث إذا أصبح اتجاه التيار من النقطة (c) الى النقطة (b) باتّجاه $(-z)$.

عند عكس التيار فان اتجاه القوة المؤثرة في القضيب حسب قاعدة اليد اليمنى تصبح باتجاه $(-x)$.

ماذا يحدث إذا أصبح اتجاه المجال المغناطيسي للأعلى باتجاه $(+y)$

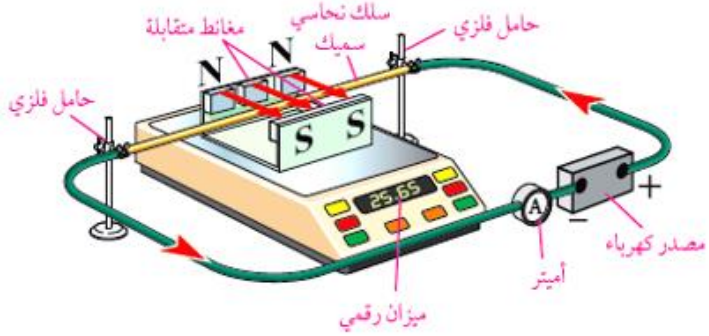
عند عكس اتجاه المجال المغناطيسي فان اتجاه القوة المؤثرة في القضيب حسب قاعدة اليد اليمنى تصبح باتجاه $(-x)$.

متى يمكن لشريطٍ من الألمنيوم أن يتأثّر بقوّةٍ مغناطيسيّة عند وضعه في مجال مغناطيسيّ؟

عندما يسري فيه تيار كهربائي ويكون متجه طول الموصل غير موازٍ لاتجاه خطوط المجال، أو عندما يتحرك الشريط نفسه بسرعة باتجاه لا يوازي خطوط المجال.

كيف يمكن قياس مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثر في موصل فلزي يسري فيه تيار؟

إن القوة المغناطيسية قوة متبادلة بين الموصل الذي يحمل التيار وبين مصدر المجال المغناطيسي ، فاذا استطعنا أن نجعل اتجاه القوة المغناطيسية للأسفل باتجاه ميزان حساس نستطيع حسابها . لاحظ الشكل المجاور.



في الشكل المجاور عند مرور تيار في السلك فانة يتأثر بقوة مغناطيسية للأعلى حسب قاعدة اليد اليمنى ، ويتأثر بنفس المقدار وبالاتجاه المعاكس قاعدة المغانط الموضوعة على الميزان الحساس ، إذا تغير الجهد المطبق على السلك النحاسي فيتبع ذلك تغير في التيار المار في السلك نستدل عليه من قراءة الأميتر الموصول على التوالي مع السلك.

ملاحظات :

1. السلك النحاسي يتأثر بقوة للأعلى لكنه لا يتحرك لأنه مثبت على حامل فلزي .
2. قاعدة المغانط بالإضافة الى المغانط لها وزن، لذلك يجب تصفير الميزان عند وضع القاعدة عليه.
3. القوى بين السلك والقاعدة متبادلة كفعل ورد فعل.
4. تغيير الجهد المطبق على الموصل يؤدي الى تغير قيمة التيار المار في الموصل.
5. إذا كانت قراءة الميزان بالجرام (g) تحول الى كيلوجرام (kg) وتضرب في $(9.8\ m/s^2)$ ، والقيمة الناتجة تعبر عن القوة المغناطيسية بوحدة النيوتن (N).
6. كلما زاد التيار في السلك تزداد قراءة الميزان.
7. تم تثبيت متغيّرات هي المجال المغناطيسيّ، وطول الموصل، والزاوية بين الموصل والمجال المغناطيسيّ لغايات دراسة متغيرات أخرى .
8. المجال المغناطيسيّ، والقوّة المغناطيسيّة الناتجة، ومُتّجه طول الموصل جميعُها مُتّجهاتٍ متعامدة؛ علمًا أنّ مُتّجه طول الموصل :هو مُتّجه؛ مقدارهُ يساوي طول الموصل واتّجاهه باتّجاه سريان التيار الكهربائي في الموصل.
9. استنتجُت أن العلاقة بين التيار والقوّة المغناطيسيّة طرديّةٌ.

حدد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة التي أثّر بها المجالُ في السلك النحاسيّ، واتّجاه قوّة ردّ الفعل التي أثّر بها السلك في المغانط والقاعدة الفولاذيّة، معتمدًا على التغيُّر في قراءة الميزان.

معتمدًا على زيادة قراءة الميزان، أستنتج أن زيادة الوزن ناتجة عن تأثر المغانط بقوة(رد فعل) نحو الأسفل من السلك، في حين يتأثر السلك بقوة مغناطيسية (فعل) نحو الأعلى من المغانط.

قارن بين اتّجاه القوّة الذي استنتجتُه مع الاتّجاه الذي يمكن التوصُّل إليه بتطبيق قاعدة اليد اليُمنى.

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى أستنتج أن القوة المؤثرة في السلك تكون نحو الأعلى، وهذا يتفق مع الاستنتاج السابق من ملاحظة قراءة الميزان.

العلاقة بين التيار والقوة المغناطيسية علاقة طرديه ، وعند اخذ متغيرات مثل طول السلك والزاوية بين المجال ومتجه طول السلك تصبح العلاقة :

$$F_B = IBL \sin\theta$$

عند مرور تيار كهربائي في موصل فلزي مغمور في مجال مغناطيسي متى تكون القوة المغناطيسية اعلى ما يمكن؟

عندما يكون المجال متعامد مع متجه طول الموصل ($\theta=90°$).

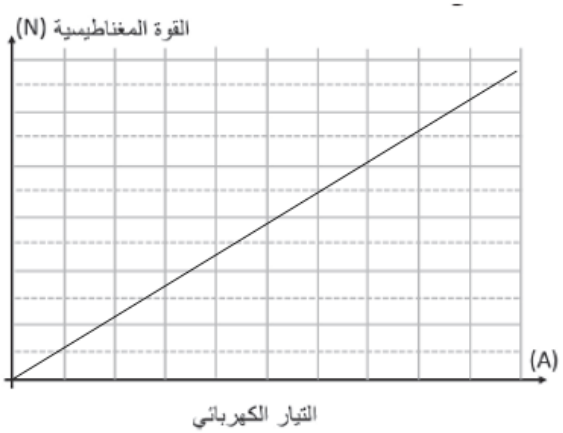
عند مرور تيار كهربائي في موصل فلزي مغمور في مجال مغناطيسي متى تكون القوة المغناطيسية الناتجة معدومة؟

عندما يكون المجال موازي لمتجه طول الموصل ($\theta=180°$ or $\theta = 0°$) .

وضّح المقصودَ بمُتّجه طول الموصل، وبيّنْ كيف أحدّد اتّجاهه.

هو مُتّجه؛ مقدار هُ يساوي طول الموصل واتّجاهه باتّجاه التيار الكهربائيّ الذي يمرّ في الموصل.

في الشكل المجاور الذي يمثل منحنى العلاقة بين التيار الكهربائي والقوة المغناطيسية الناتجة ، جد الميل وحدد القيمَ التي يمثّلُها في العلاقة الرياضية: ($F_B = IBL$).



$$Slope = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{F_B}{I}$$

$$F_B = IBL \rightarrow \frac{F_B}{I} = BL$$

مثال 5: كتاب

أحسبُ مقدار مجالٍ مغناطيسيّ يؤثّر بقوّةٍ (75 mN) في سلكٍ طولهُ (5cm) ؛ يحملُ تيارًا كهربائيًّا (3A) ويصنع زاوية (90 °) مع المجال المغناطيسيّ.

المُعطيات: $F_B = 75$ mN, $L = 5$ cm, $I = 3$ A, $\theta = 90°$

المطلوب: B =?

الحل:

$$F_B = IBL \sin\theta$$

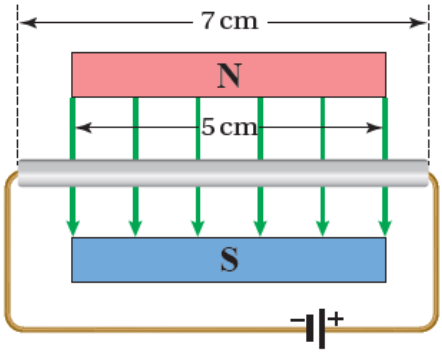
$$B = \frac{F_B}{IL \sin\theta} = \frac{75\times10^{-3}}{3\times5\times10^{-2}\times1} = 0.5 \text{ T}$$

مثال 6: كتاب

يبيّنُ الشكلُ المجاور سلك ألمنيوم طولهُ (7 cm) يحمل تيّارًا(5.2A) ؛ جزءٌ منه داخل مجال مغناطيسيّ (250 mT) وعموديٌّ عليه. معتمدًا على بيانات الشكل؛ أجد ما يأتي:

أ . اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في السلك.

ب . مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في السلك.



المُعطيات: $L = 5 \times 10^{-2}$ m, $B = 0.25$ T, $I = 5.2$ A, $\theta = 90°$

المطلوب: F_B=?

الحل:

أ . باستخدام قاعدة اليد اليمنى: مُتّجه طول الموصل نحو اليسار(-x) ،
واتّجاه المجال المغناطيسيّ نحو الاسفل(-y)؛ بذلك يكون اتّجاه القوّة المغناطيسيّة خارجًا من الصفحة وعموديًّا عليها نحو الناظر (+z).

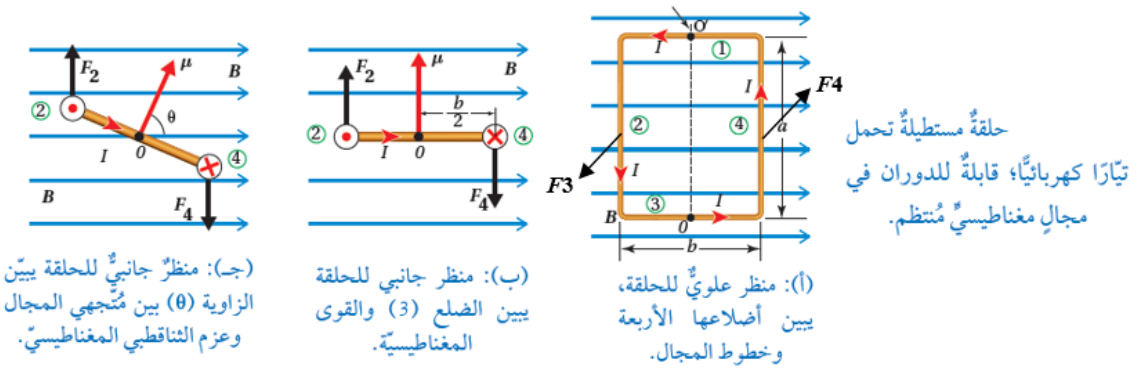
ب . أستخدمُ طولَ الجزء المغمور داخل المجال المغناطيسيّ فقط من السلك.

$F_B = IBL \sin\theta$

$F_B = 5.2 \times 0.25 \times 5 \times 10^{-2} \times 1 = 6.5 \times 10^{-2}$ N

العزم المؤثّر في حلقةٍ تحملُ تيّارًا في مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتظم

Torque on a Current Loop in a Uniform Magnetic field



(جـ): منظرٌ جانبيٌّ للحلقة يبيّن الزاوية (θ) بين مُتّجهي المجال وعزم الثناقطبي المغناطيسيّ.

(ب): منظر جانبي للحلقة يبين الضلع (3) والقوى المغناطيسيّة.

(أ): منظر علويٌّ للحلقة، يبين أضلاعها الأربعة وخطوط المجال.

حلقةٌ مستطيلةٌ تحمل تيّارًا كهربائيًّا؛ قابلةٌ للدوران في مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتظم.

يوضّح الشكل في الأعلى منظرًا علويًّا لحلقةٍ مُوصلةٍ مستطيلةٍ طولُها (a) وعرضُها (b)؛ تحمل تيارًا كهربائيًّا(I) ، موضوعةٌ أفقيًّا في مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتظم، خطوطهُ توازي مستوى الحلقة .

الشكل (أ) : المجال المغناطيسي باتجاه (+x) ، يؤثر على الضلعين (1) و (3) موازيا للتيار (I) بزاوية (180°) على الضلع (1) و زاوية (0°) على الضلع (3) وحيث أن $(\sin 180° = \sin 0° = 0)$ ، في هذه الحالة المجال المغناطيسي لا يؤثر بقوة على الضلعين(1) و (3)لان متجه طول الموصل موازي لخطوط المجال المغناطيسي.

بالنسبة للضلعين (2) و (4) ، يكون المجال المغناطيسي متعامد مع متجه طول الموصل ، الضلع رقم (2) يتأثر بقوة (F_2) خارجه من مستوى الصفحة باتجاه $(+z)$ حسب قاعدة اليد اليمنى ، الضلع رقم (4) يتأثر بقوة (F_4) داخلة في مستوى الصفحة باتجاه $(-z)$ حسب قاعدة اليد اليمنى .
القوتان (F_2, F_4) متساويتان في المقدار لانهما مغمورتان في نفس المجال المغناطيسي ، ومتعاكستين في الاتجاه لانهما يحملان تيارين متعاكسين ، وخطّا عملهُما غير مُنطبقين. وحيث أنّ مقداريهما متساويان فهما تُشكّلان ازدواجًا يعمل على تدوير الحلقة مع اتّجاه دوران عقارب الساعة، حول محورٍ ثابتٍ(O Ò) ؛ يقعُ في مستوى الحلقة ، ولحساب العزم الناتج عن القوتين:

$F_2 = F_4 = IaB$ (لان القوتين متساويتين)

$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{F} \times \boldsymbol{r}$ (العزم الناتج من كل قوة)
$\tau = F\, r \sin\theta$
$\tau_{max} = F\, r$ (لأن مُتّجه القوّة يتعامدُ مع طول ذراعها؛ فإنّه يكون للعزم قيمةٌ عُظمى)
$\tau_{\text{copuel max}} = F_2\, r_2 + F_4\, r_4$ (لأن القوتين متساويتان في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه وخطّا عملهُما غير مُنطبقين)
$r_2 = r_4 = \dfrac{b}{2}$ (لأن ذراع القوة ينصف الضلع (b))
$\tau_{\text{copuel max}} = F_2\, r_2 + F_4\, r_4$
$= IaB\dfrac{b}{2} + IaB\dfrac{b}{2} = IabB$

وبمعرفة أنّ مساحة الحلقة ($A = ab$) ؛ فإنّ :

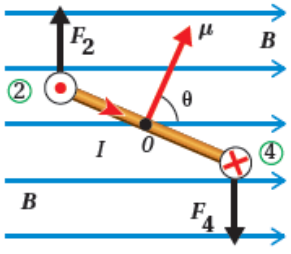
$\tau_{\text{copuel max}} = IAB$

الكميّةُ (IA) تُسمّى **عزم الثناقطبي المغناطيسيّ** ويرمز له بالرمز $(\boldsymbol{\mu})$
عزم الثناقطبي المغناطيسيّ $(\boldsymbol{\mu})$: كميّة مُتّجهة تساوي حاصل ضرب التيار الكهربائيّ (I)الذي يسري في حلقة في متجه مساحة الحلقة $(\boldsymbol{A})$.

$$\boldsymbol{\mu} = I\, A$$

مُتّجه المساحة $(\boldsymbol{A})$:متّجهٌ عموديٌّ على المساحة.
اتجاه عزم الثناقطبي المغناطيسي $(\boldsymbol{\mu})$
يحدّد اتّجاهها باستخدام قاعدة اليد اليمنى؛ بحيث تشير الأصابع الأربعة إلى اتّجاه التيار في الحلقة، ويشير الإبهام إلى اتّجاه العزم المغناطيسيّ.
وبتعويض قيمة عزم الثناقطبي المغناطيسيّ في عزم الازدواج تصبح العلاقة كما يلي:

$$\tau_{\text{copuel max}} = \boldsymbol{\mu}\, B$$



العلاقة السابقة خاصة بعزم الازدواج كقيمة عظمى ، وعند الدوران يتناقصُ العزم عن قيمته العُظمى في نتيجةَ تغيُّر الزاوية(θ) ، ويُعطى بالعلاقة :

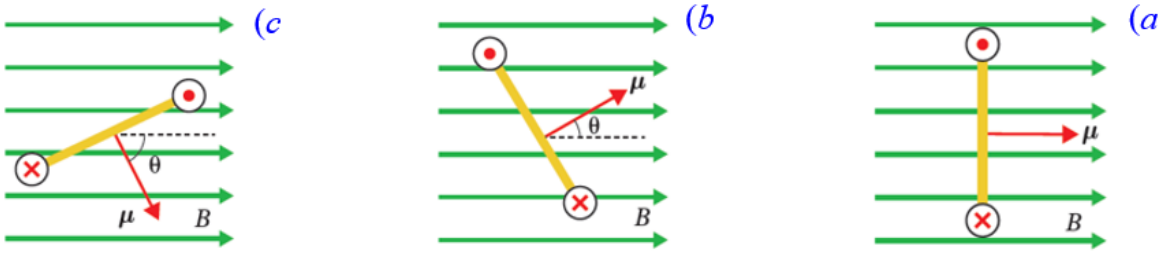
$$\tau = \mu B \sin\theta$$

حيث تقع الزاوية (θ) بين اتجاه المجال المغناطيسيّ ومُتّجه عزم الثناقطبي المغناطيسيّ $(\boldsymbol{\mu})$ للحلقة كما في الشكل المجاور.
وفي حالة كان الملف يتكون من (N) لفّة، فإن العزم المؤثر فيه يُعطى بالعلاقة:

$$\tau = \mu BN \sin\theta$$

ملاحظة : الإشارة ⊗ تعني أن التيار داخل في مستوى الصفحة باتجاه (-z).
و الإشارة ⊙ تعني أن التيار خارج من مستوى الصفحة باتجاه (+z).
والإشارتين معاً مع السلك الواصل بينهما يشير الى الثناقطبي المغناطيسي.

يبيّن الشكلُ التالي مشاهد لمقطعٍ جانبيّ تظهرُ فيه الحافّة القريبةُ من الناظر لحلقةٍ تحملُ تيّارًا كهربائيًّا، موضوعةٍ في مجالٍ مغناطيسيٍّ أفقيّ. أقارنُ بين عزم الدوران الذي تتأثّرُ فيه كلُّ حلقة واتّجاه دورانها.

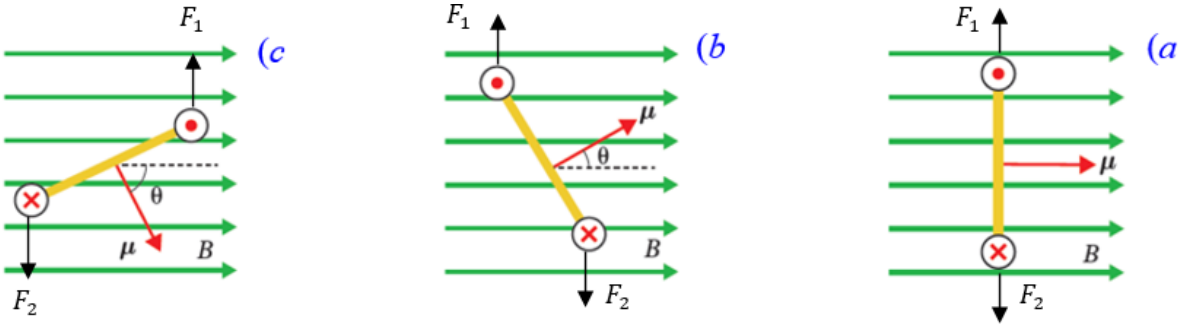


الحل:

في الشكل (a): لا يوجد عزم دوران لان الزاوية بين $\boldsymbol{B}$ و $\boldsymbol{\mu}$ تساوي صفر ، لاحظ أيضا أن خط عمل القوتين متطابقين وهذا يلغي عزم الازدواج.

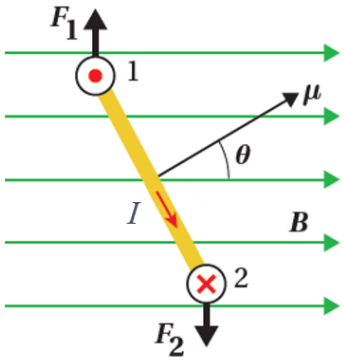
في الشكل (b): يكون العزم قليلًا، لأن الزاوية بين $\boldsymbol{B}$ و $\boldsymbol{\mu}$ صغيرة (الزاوية بين متجه عزم الثناقطبي المغناطيسي للحلقة واتجاه المجال)، ويكون عزم الازدواج (لدوران) مع اتجاه عقارب الساعة.

في الشكل (c): يكون العزم كبير، لأن الزاوية بين $\boldsymbol{B}$ و $\boldsymbol{\mu}$ كبيرة (الزاوية بين متجه عزم الثناقطبي المغناطيسي للحلقة واتجاه المجال)، ويكون عزم الازدواج (لدوران) عكس عقارب الساعة.



مثال 7: كتاب

حلقةٌ مستطيلةُ الشكل مساحتها (3 cm × 8 cm) يسري فيها تيار (12A) ملقاةٌ داخل مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتظم (600 mT) ، والزاوية بين المجال ومُتّجه عزم الثناقطبيّ (θ = 30°) ، كما يبيّن الشكلُ المجاور أحسب العزم الذي يؤثّر به المجال المغناطيسيّ في الحلقة، وأحدّدُ اتّجاه الدوران.



المُعطيات: $a = 8 \times 10^{-2}$ m, $b = 3 \times 10^{-2}$ m, $I = 12$ A, $\theta = 30°$, $B = 0.6$ T

المطلوب: τ = ?

الحلّ:

$A = a \times b = 8 \times 10^{-2} \times 3 \times 10^{-2}$
$A = 2.4 \times 10^{-3} m^2$
$\tau = IAB \sin \theta$
$\tau = 12 \times 2.4 \times 10^{-3} \times 0.6 \times \sin 30^\circ$
$\tau = 17.28 \times 10^{-3} \times 0.5$
$\tau = 8.64 \times 10^{-3}$ N.m

باستخدام قاعدة اليد اليمنى؛ أحدّد اتّجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في الضلع 1؛ حيثُ أنّ المجالَ باتّجاه ($+x$) والتيار باتّجاه($+z$) ، فتكون القوّة باتّجاه ($+y$) ، وتكون القوّة المؤثّرة في الضلع 2 باتّجاه($-y$) وبذلك يكون دوران الحلقة مع اتّجاه دوران عقارب الساعة.

تطبيقاتٌ تكنولوجية:

1.الغلفانوميتر Galvanometer

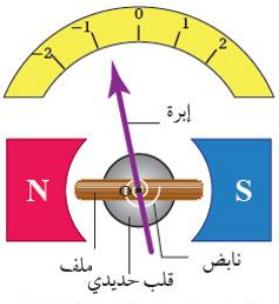
الغلفانوميتر :أداة تستخدم للكشف عن التيار الكهربائي وقياسه.

صنع قبل 200 سنةٍ تقريبًا، ثم تطوّرت صناعته.
النوع المُستخدَم منه الآن يسمى الغلفانوميتر ذو الملف المُتحرّك الذي يمكنه قياس تيّاراتٍ صغيرةٍ جدًّا بالمايكرو أمبير (μA).

على ماذا يعتمد مبدأ عمل الغلفانوميتر؟

مبدأ العمل : يعتمد في عمله على العزم الذي يؤثّر به المجال المغناطيسيّ المنتظم في ملفٍّ قابلٍ للدوران عند مرور تيارٍ كهربائيٍّ فيه، وعلى نابض يعيده الى نقطة الصفر بغياب التيار.

ما أجزاء الغلفانوميتر ووظائفها:

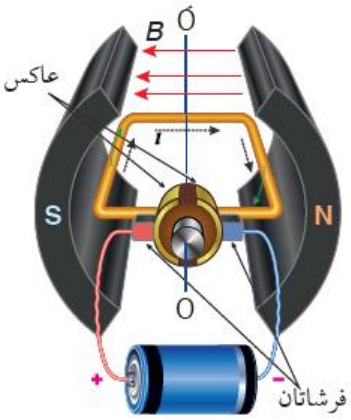


غلفانوميتر ذو الملف المُتحرّك

1. القطبان :قطبا مغناطيس متقابلان بينهما مجال مغناطيسيّ؛ يؤثّر بقوّةٍ مغناطيسيّة في الملف عند سريان تيار كهربائيّ فيه، كما في الشكلُ المجاور.
2. الملف :ملفٌّ مستطيلٌ من سلكٍ نُحاسيٍّ رفيعٍ معزولٍ مغمورٍ في المجال المغناطيسيّ.عند مرور تيارٍ كهربائيٍّ في الملف يتأثّر بعزم ازدواجٍ فيدور حول محورٍ يمرُّ بالنقطة (O) وعموديٌّ على الصفحة، وتدور معه إبرةٌ تشيرُ إلى تدريجٍ مُعيّنٍ يتناسب مع قيمة التيار.
3. القلب الحديدي :قلبٌ حديديٌّ داخل الملف وظيفتهُ تركيزُ المجال المغناطيسيّ في الملفّ لأن الحديد مادّة مغناطيسية تسمح بنفاذية عالية لخطوط المجال المغناطيسي (سأتعرّف ذلك في الدرس الثاني)
4. النابض :نابضٌ حلزونيٌّ مثبّتٌ في أحد طرفي المحور. وظيفته إرجاع الملفِّ إلى وضع الصفر بعد توقُّف مرور التيار الكهربائيّ فيه.

2.المحرك الكهربائيّ Electric Motor

المحرك الكهربائيّ: جهازٌ يحوّل الطاقة الكهربائيّة إلى طاقةٍ حركيّة.



على ماذا يعتمد مبدأ عمل المحرك الكهربائي؟

مبدأ العمل : يعتمد في عمله على العزم الذي يؤثّر به المجال المغناطيسيّ المنتظم في ملفٍّ قابلٍ للدوران عند مرور تيارٍ كهربائيٍّ فيه وعلى عاكس يضمن اسمرار حركته. يُستخدَم في كثيرٍ من التطبيقات؛ مثل السيارة الكهربائيّة.

ما هي أجزاء المحرك الكهربائي ووظائفها؟

يتكوّن المحرّكُ الكهربائيّ كما يبيّن الشكلُ المجاور من الأجزاء الرئيسة الآتية:

1. القطبان : قطبا مغناطيس متقابلان يولّدان مجالً مغناطيسيًّا.
2. الملف : ملفٌّ من سلكٍ نُحاسيٍّ معزولٍ ومغمورٍ في مجالٍ مغناطيسيٍّ يؤدي إلى دورانه حول محور (O Ò) نتيجة تأثّره بعزمٍ عند مرور تيار كهربائيّ فيه نتيجةً للقوّة المغناطيسيّة المؤثّرة فيه.
3. العاكس: وهو نصفا أسطوانةٍ موصلة، يتّصل كُلُّ نصفٍ بأحد طرفي الملفّ، وظيفتهُ توصيل التيار الكهربائيّ إلى الملف وعكس اتّجاهه كل نصف دورة.
4. الفرشاتان : فرشاتان من الكربون تُلامسان العاكس وتتّصلان بمصدر التيار، فتنقُلانه إلى العاكس، وعند دوران الملفّ يحدُث تبديلٌ في تلامُس إحدى الفرشاتين مع أحدِ نصفي العاكس كُلَّ نصفِ دورةٍ، فينعكسُ اتّجاه التيار الكهربائيّ في الملفّ وتنعكس القُوى المغناطيسيّة المؤثّرة فيه فيواصل دورانه باتجاه واحد. تعتمد سرعة دوران المُحرّك الكهربائيّ على العزم الذي تُولّدهُ القوّة المغناطيسيّة على الملف.

كيف تستفيد الأقمار الصناعية من المجال المغناطيسي الأرضي ؟

تحتاج الأقمار الصناعية لضبط توجيهها من حين لآخر، لذلك تُزوَّد بملفاتٍ يجري إيصالها بالتيار عند الحاجة؛ فيؤثّر المجال المغناطيسيّ الأرضيّ فيها بعزمٍ يعمل على تدوير القمر الصناعي لضبط اتّجاهه ،علمًا أنّ مصدر التيار هو الخلايا الشمسية.

قمر صناعي يستخدم خلايا شمسية ومحرك باستخدام المجال المغناطيسي الأرضي

ما وظيفة النابض في الغلفانوميتر ، ولماذا لا يوجد في المحرك الكهربائي نابض ؟

وظيفته النابض(الملف الحلزوني) إرجاع الملفِّ إلى وضع الصفر بعد توقُّف مرور التيار الكهربائيّ فيه ،ولا يوجد في المحرك نابض لان المحرك يكمل دورته الكاملة لتحويل الطاقة الكهربائية الى دورانية، ولا يوجد حاجة لإعادته لوضع الصفر .

ما وظيفة العاكس في المحرك الكهربائي، ولماذا لا يوجد في الغلفانوميتر عاكس ؟

وظيفتهُ العاكس توصيل التيار الكهربائيّ إلى الملف وعكس اتّجاهه كل نصف دورة ، لضمان استمرار الدوران ، ولا يوجد في الغلفانوميتر عاكس لعدم الحاجة الي الدورة الكاملة.

أسئلة الدرس الأول

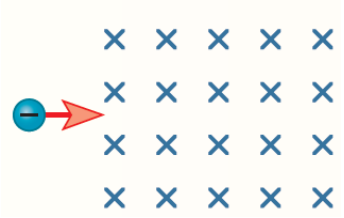
1. **الفكرةُ الرئيسة:** أعرّفُ المجالَ المغناطيسيّ عند نقطة، وأذكر وحدة قياسه في النظام الدوليّ للوحدات. ثم أُعدّدُ خصائص خطوط المجال المغناطيسي.

المجال المغناطيسيّ عند نقطةٍ: هو القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في وحدة الشحنات الموجبة لكلّ وحدة سرعة، عندما تتحرك الشحنة بسرعة (1 m/s) باتّجاهٍ عموديٍّ على اتّجاه المجال المغناطيسيّ لحظة مرورها في تلك النقطة، ويُقاس بوحدة تسلا tesla (T) ؛ وفقَ النظام الدولي للوحدات.

خصائص خطوط المجال المغناطيسيّ؟

a. خطوطٌ وهميّةٌ مُقفَلةٌ تخرجُ من القطب الشماليّ وتدخل القطب الجنوبيّ، وتكملُ مسارها داخل المغناطيس من القطب الجنوبي إلى الشماليّ.
b. اتّجاه المجال المغناطيسيّ عند أيّ نقطةٍ على خطّ المجال يكون على امتداد المَماس للخطّ عند تلك النقطة.
c. لا تتقاطع؛ لأنّ للمجال المغناطيسيّ اتّجاهٌ واحدٌ عند كلِّ نقطة، يُحدّد باتّجاه المَماس لخطّ المجال.
d. يُعبّر عن مقدار المجال المغناطيسيّ بعدد الخطوط التي تعبر وحدة المساحة عموديًّا عليها.

2. **أستنتجُ وأفسّرُ**: يتحرّك إلكترونٌ باتّجاه محور ($+x$) فيدخل مجالً مغناطيسيًّا مُنتظمًا اتّجاهه مع محور ($-z$) كما في الشكل. أستنتجُ اتّجاه القوّة المغناطيسيّة التي يؤثّر بها المجال في الإلكترون لحظة دخوله منطقة المجال، ثم أبيّن إن كانت هذه القوّة ستحافظ على اتّجاهها بعد أن يغير الإلكترون موقعه، أم لا، وأفسّرُ إجابتي.

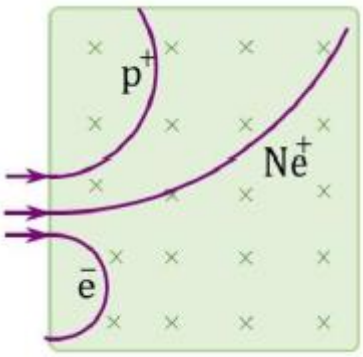


بتطبيق قاعدة اليد اليمنى لمعرفة اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الإلكترون، مع مراعاة أن شحنته سالبة، يكون اتجاه القوة نحو الأسفل، باتجاه محور ($-y$) وكلما تغيّر اتجاه سرعة الإلكترون يتغير اتجاه القوة المغناطيسية، لأنها تؤثر باستمرار باتجاه يتعامد مع اتجاهي السرعة والمجال.

3. **أحلّلُ:** معتمدًا على العلاقة الرياضية التي أستخدمها في حساب مقدار القوّة المغناطيسيّة التي يؤثّر بها مجال مغناطيسيٌّ في شحنةٍ مُتحرّكةٍ فيه؛ أستنتجُ العوامل التي يعتمد عليها مقدارُ القوّة وأبيّنُ نوع العلاقة.

معتمدًا على العلاقة $F_B=qvB\sin\theta$: أجد أن القوة المغناطيسية تتناسب طرديًا مع مقدار كل من: الشحنة الكهربائية، سرعتها والمجال المغناطيسي وجيب الزاوية بين اتجاهي السرعة والمجال.

4. **أتوقّعُ:** ثلاث جُسيمات مشحونة: إلكترون، وبروتون، وأيون صوديوم (Na^+)؛ دخلت منطقةَ مجالٍ مغناطيسيّ مُنتظمٍ في جهاز مطياف الكتلة بالسرعة نفسها. كيف أُميّز كل جُسيم منها عن طريق اتّجاه الانحراف ونصف قُطر المسار؟ أوضّحُ إجابتي بالرسم.



الجسيمات الثلاثة متساوية في الشحنة والسرعة، لذلك تتأثر بقوى متساوية، الإلكترون سالب الشحنة فينحرف (حسب اتجاه السرعة والمجال المبين بالرسم) مع اتجاه عقارب الساعة. أما البروتون وأيون الصوديوم فإن شحنتيهما موجبتان، وينحرفان عكس اتجاه عقارب الساعة. وحيث أن أيون الصوديوم أكبرها كتلة فيكون لمساره أكبر نصف قطر، كما في الشكل .

5. أجيب عن السؤالين الآتيين، وأفسّرُ إجابتي:
أ . هل يمكنُ لمجالٍ مغناطيسيٍّ أن يجعل إلكترونًا يبدأ حركته من السكون؟
ب. هل ينحرف النيوترون عندما يتحرّكُ داخل مجالٍ مغناطيسيٍّ باتجاه عموديٍّ عليه؟

أ. لا يمكن للإلكترون أو أي جسيم مشحون آخر أن يبدأ حركته من السكون بتأثير مجال مغناطيسي، لأن المجال لا يؤثر بقوة في الشحنات الساكنة.
ب. لا ينحرف النيوترون عندما يتحرك داخل مجال مغناطيسي باتجاه عموديّ عليه، لأنه غير مشحون، والقوة المغناطيسية تؤثر في الأجسام المشحونة.

6. **أحسبُ:** يتحرّك بروتونٌ بسرعة (4×10^6 m/s) في مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتظمٍ مقدارهُ (1.7 T) ؛ فيتأثّرُ بقوّةٍ مغناطيسيّةٍ (8.2×10^{-13}N) أجدُ قياس الزاوية بين مُتّجهي سرعة البروتون وخطوط المجال المغناطيسيّ.

الحل:

$$F_B = qvB\sin\theta \rightarrow \sin\theta = \frac{F_B}{qvB} = \frac{8.2\times10^{-13}}{1.6\times10^{-19}\times4\times10^{6}\times1.7} = 0.75$$

$$\theta = \sin^{-1}(0.75) \approx 48.6°$$

7. **تفكيرٌ ناقد:** معتمدًا على العلاقة الرياضية للعزم المؤثّر في ملفٍّ داخل مجالٍ مغناطيسيّ؛ أستنتجُ العوامل التي تعتمد عليها سرعة دوران المحرك الكهربائيّ.

معتمدًا على العلاقة: $\tau = IABN\sin\theta$ أو $\tau = \mu BN\sin\theta$

أجد أن عزم الدوران يتناسب طرديًا مع كل من :
التيار الكهربائي (I).
ومساحة الملف (A).
عدد اللفات(N).
ومقدار المجال المغناطيسي (B)،(علمًا أن جيب الزاوية بين متجه مساحة الملف ومتجه المجال المغناطيسي يتغير خلال الدورة الواحدة).
وهذه العوامل تؤثر في سرعة دوران المحرك الكهربائي، لأن سرعة دورانه تحدث بتأثير عزم الدوران.

2. مصادر المجال المغناطيسي

المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي

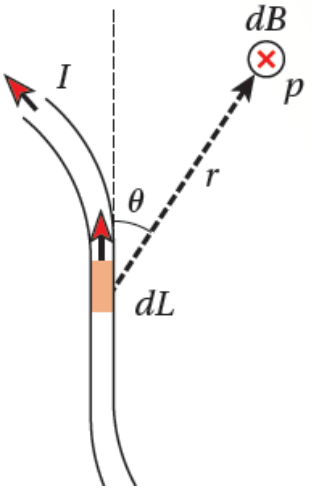
Magnetic Field of an Electric Current

المغناطيسُ الكهربائيّ : هو المجالِ المغناطيسيّ الناشئ عن مرور تيار كهربائيٍّ في مُوصل.

المجال المغناطيسيّ الناشئ عن موصلٍ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا

Magnetic Field of a Current Carrying Conductor

الشحنةَ الكهربائيّة تُولّد حولَها مجالاً كهربائيًّا؛ سواءً أكانت ساكنةً أم متحركة. فاذا كانت متحركة فإنها تولد حولها مجال مغناطيسي بالإضافة للمجال الكهربائي. وإذا كان هناك سيل من الشحنات في موصل (تيار كهربائي) فيتولد حول الموصل مجال مغناطيسي، وهذا ما لاحظه العالم الدنماركي أورستد، عندما وضع بوصلة بالقرب من سلكٍ يمرُّ فيه تيّارٌ كهربائيٌّ؛ فانحرفت إبرة البوصلة.



لحساب المجال المغناطيسيّ الذي يولّده موصلٌ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا، عُرفت العلاقة بقانون بيو- سافار، وهو:

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{IdLsin\theta}{r^2}$$

حيث(dB) ؛ مقدار المجال المغناطيسيّ عند النقطة (P) الناشئ عن قطعة صغيرة (dL)من موصلٍ يسري فيه تيّارٌ كهربائيّ (I) والمسافة (r) هي مقدار المُتّجه الذي يمتدُّ من إلى النقطة (P) ويصنع زاوية (θ) مع مُتّجه الطول للقطعة (dL) كما في الشكل المجاور.

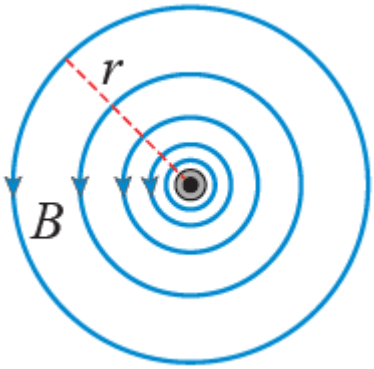
النفاذيّة المغناطيسيّة: تعبر عن قابلية الوسط لتدفُّق خطوط المجال المغناطيسيّ خلاله.

ثابت النفاذية المغناطيسيّة (للفراغ أو الهواء) (μ_o) وقيمته $4\pi \times 10^{-7}$T.m/A

حيث تكونُ أقلّ نفاذيّةً للفراغ وأكبرُها للحديد والموادّ المغناطيسيّة الأُخرى.

لحساب مقدار المجال المغناطيسيّ عند نقطةٍ بالقرب من موصلٍ مُستقيمٍ لانهائيّ الطول يسري فيه تيّارٌ كهربائيّ(I) ، وعلى مسافة عموديّة(r) منه نستخدم حساب التكامُل في الرياضيّات، فنجمع المجالات المغناطيسيّة الجزئيّة(dB) الناتجة عن جميع مقاطع الموصل، ونحصل على العلاقة الرياضية الآتية:

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$



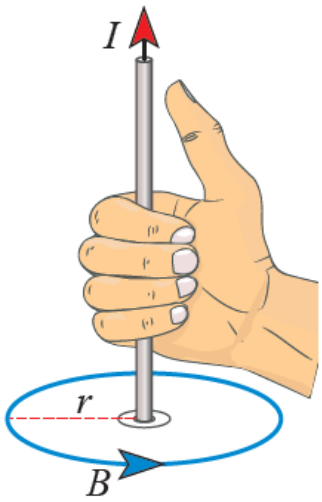
تُعطي هذه العلاقة مقدار المجال المغناطيسيّ عند النقاط جميعها الواقعة على محيط دائرةٍ نصفُ قطرِها(r) ، ويمرُّ الموصل في مركزها ويكون عموديًّا على مستواها، كما في الشكل المجاور . وألاحظ أنّ مقدار المجال المغناطيسي ثابت عند كلّ نقطةٍ على محيط الدائرة.

على ماذا يعتمد مقدار المجال المغناطيسيّ عند نقطة مُعيّنة من موصل يحمل تيار؟

مقدار المجال المغناطيسيّ عند نقطة مُعيّنة يعتمد على :

1. التيار الكهربائي تناسب طردي .
2. بعد النقطة عن الموصل تناسب عكسي.
3. النفاذية المغناطيسية للوسط تناسب طردي.

الشكل المجاور يبيّن خطوط المجال المغناطيسيّ الناتجة عن سلكٍ لا نهائيّ الطول، حيث تشكّل حلقاتٍ مغلقةً متّحدةَ المركز مع الموصل، تتباعد عن بعضها بعضًا كُلّما زادت المسافة r ؛ وهذا يعني تناقصًا في قيمة المجال المغناطيسيّ.



تحديد اتّجاه المجال المغناطيسيّ حول موصلٍ مستقيمٍ لا نهائيّ الطول باستخدام قاعدة اليد اليُمنى.

لتحديد اتّجاه المجال المغناطيسيّ عند أيّ نقطة بالقرب من الموصل؛ أستخدم قاعدة اليد اليمنى، بحيث أمسكُ الموصل بيدي اليمنى واضعًا الإبهام باتّجاه التيار، فيشير اتّجاه دوران باقي أصابعي إلى اتّجاه المجال المغناطيسيّ حول الموصل؛ كما في الشكل. تجدرُ الإشارة إلى أنّ المجال المغناطيسيّ عند أيّ نقطةٍ تقعُ على امتداد موصلٍ مُستقيمٍ ورفيعٍ يحمل تيّارًا كهربائيًّا يساوي صفرًا؛ حيث تكون الزاوية (θ) بين مُتّجه موقع النقطة ومُتّجه طول الموصل الواردة في قانون بيو- وسافار(تساوي صفرًا أو (180°)، ويكون $\sin\theta = 0$).

صفْ شكلَ خطوط المجال المغناطيسيّ حول موصلٍ مستقيمٍ لانهائيّ الطول يحمل تيّارًا كهربائيًّا، وأبيّن كيف أُحدّد اتّجاهه عند نقطة.

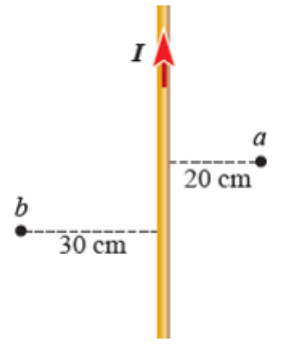
تشكل خطوط المجال المغناطيسي حلقات مغلقة حول الموصل، تتباعد عن بعضها كلما ابتعدنا عن الموصل، ويمكن تحديد اتجاه المجال عند أي نقطة فيه برسم مماس لخط المجال عند تلك النقطة.

مثال 8: كتاب

سلكٌ مستقيمٌ لا نهائيُّ الطول يحمل تيّارًا كهربائيًّا مقدارهُ(3 A) ، معتمدًا على الشكل المجاور؛ أجدُ:

أ) مقدار المجال المغناطيسيّ عند النقطة (a) ، وأحدّد اتّجاهه.

ب) مقدار المجال المغناطيسيّ عند النقطة (b) ، وأحدّد اتّجاهه.



جزء من سلك مستقيم لانهائي الطول يحمل تيارا

المعطيات : $I = 3\ \text{A}, r_a = 0.2\ \text{m}, r_b = 0.3\ \text{m}$

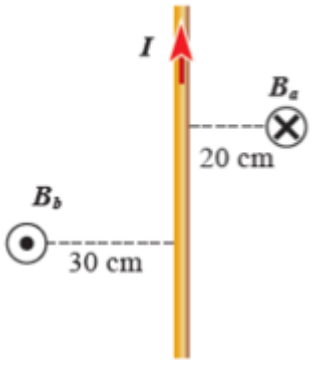
المطلوب : $\boldsymbol{B}_a = ?$ $\boldsymbol{B}_b = ?$

الحل:

أ) مقدار المجال عند النقطة (a).

$$B_a = \frac{\mu_o I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3}{2\pi \times 0.2} = 3\times10^{-6}\text{T}$$

وبتطبيق قاعدة اليد اليُمنى؛ أجد أنّ اتّجاه المجال المغناطيسيّ عند النقطة (a) يكون داخلاً في الصفحة وعموديًّا عليها. كما في الشكل المجاور.



اتجاه المجال المغناطيسي على جانبي سلك مستقيم لانهائي الطول يحمل تيارا كهربائيا

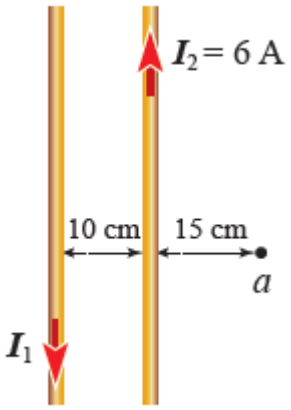
ب) مقدار المجال عند النقطة (b).

$$B_b = \frac{\mu_o I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3}{2\pi \times 0.3} = 2\times10^{-6}\text{T}$$

وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى نجد أنّ اتّجاه المجال المغناطيسيّ عند النقطة(b) يكون خارجًا من الصفحة وعموديا عليها، كما يبيّن الشكلُ المجاور.

مثال 9: كتاب

سلكان مستقيمان لا نهائيًّا الطولِ ومتوازيان، يحملان تيّارين كهربائيّين متعاكسين كما في الشكل المجاور. أجدُ مقدار التيّار (I_1) الذي يجعل المجال المغناطيسيّ المُحصّل عند النقطة (a) يساوي صفرًا.



المعطيات : $B = 0, I_2 = 6 \text{ A}, r_2 = 0.15 \text{ m}, r_1 = 0.25 \text{ m}$

المطلوب : $I_1 = ?$

الحلُّ:

اتّجاه المجال (B_2) عند النقطة (a) داخلٌ في الصفحة وعموديٌّ عليها، واتّجاه (B_1) خارجٌ من الصفحة وعموديٌّ عليها؛ فهما متعاكسان ومُحصّلتهما تساوي صفرًا، أيّ أنّهما متساويان مقدارًا:

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2} \longrightarrow \frac{I_1}{r_1} = \frac{I_2}{r_2}$$

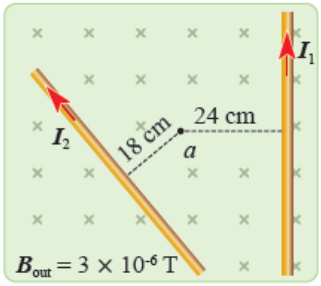
$$\frac{I_1}{0.25} = \frac{6}{0.15}$$

$$I_1 = \frac{6 \times 0.25}{0.15} = 10 \text{ A}$$

تمرين 1: كتاب

معتمدًا على الشكل المجاور، إذا كان($I_1 = I_2 = 6$ A) ؛ أجد مقدار المجال المغناطيسيّ المُحصّل عند النقطة (a) ، وأحدّدُ اتّجاهه .

الحل:



نقطةٌ تقع في منطقة المجال المغناطيسيّ لموصلين مستقيمين لا نهائيّي الطول.

تؤثر عند النقطة (a) ثلاثة مجالات، من الموصل الأول ومن الموصل الثاني، والمجال الخارجي.

$$B_1 = \frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 6}{2\pi \times 0.24} = 5 \times 10^{-6} \text{T} \quad (+z \text{ , خارج من الصفحة})$$

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 6}{2\pi \times 0.18} = 6.7 \times 10^{-6} \text{T} \quad (-z, \text{داخل في الصفحة})$$

$$B_3\ (B_{OUT}) = 3 \times 10^6 \text{ T} \quad (-z, \text{داخل في الصفحة})$$

حيث أن المجال (B_1) خارجًا من الصفحة باتجاه ($+z$)، والمجال (B_2) داخلًا في الصفحة باتجاه ($-z$) والمجال ($B_3(B_{OUT})$) داخلًا في الصفحة باتجاه ($-z$) فإن المحصلة:

$$B = B_1 - B_2 - B_3 = 5 \times 10^{-6} - 6.7 \times 10^{-6} - 3 \times 10^6 = -4.7 \times 10^6 \text{ T}$$

اتجاه المجال المحصل عند هذه النقطة باتجاه ($-z$)أي داخلًا في الصفحة.

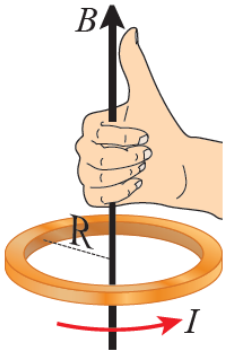
المجال المغناطيسيّ الناشئ عن حلقةٍ دائريّة
Magnetic Field of a Circular Current Loop

بإجراء التكامل على قانون بيو- سافار لحساب المجال المغناطيسيّ في مركز حلقةٍ دائريّةٍ نصفُ قُطرها(R) ، مصنوعةٌ من موصلٍ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا، فإنّ:

$$B=\frac{\mu_o I}{2R}$$

وعند تشكيل الموصل على صورة ملفٍّ دائريٍّ نصفُ قطره (R) يتكوّن من عددٍ (N) لفّة؛ فإنّ مقدار المجال في مركزه يُعطى بالعلاقة:

$$B=\frac{\mu_o IN}{2R}$$



استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتّجاه المجال المغناطيسيّ في مركز ملفٍّ دائريّ.

لتحديد اتّجاه المجال المغناطيسيّ في مركز ملفٍّ دائريٍّ؛ أستخدمُ قاعدة اليد اليُمنى، فعندما تشيرُ أصابع اليد الأربعة إلى اتّجاه التيار في الملفّ، كما في الشكل المجاور،فإنّ الإبهام يشير إلى اتّجاه المجال المغناطيسيّ عند مركز الملف.

مثال 10: كتاب

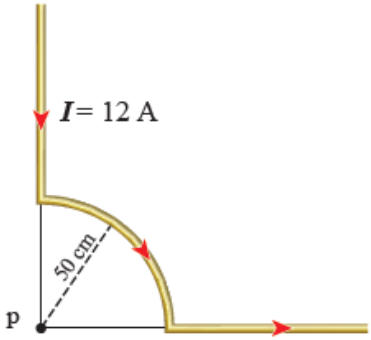
يتكوّن سلكٌ من جزءٍ يشكّل ربع دائرةٍ نصفُ قطرها (R= 0.5m)، وجزأين مستقيمين لا نهائيُّ الطول، كما في الشكل المجاور. أحسبُ مقدار المجال المغناطيسيّ عند النقطة (P) وأحدّدُ اتّجاهه.

المُعطيات : I = 12 A, R = 0.5 m, N = 0.25

المطلوب : B= ?

الحل:

بالنسبة للجزء الذي يشكل ربع دائرة؛ يمكنني افتراض أنّ عدد اللّفات : N = 0.25



المجال المغناطيسيّ لسلكٍ يتكوّن من ثلاثة أجزاءٍ يشكّل أحدُها ربع حلقةٍ دائريّةٍ تقعُ النقطة P في مركزها

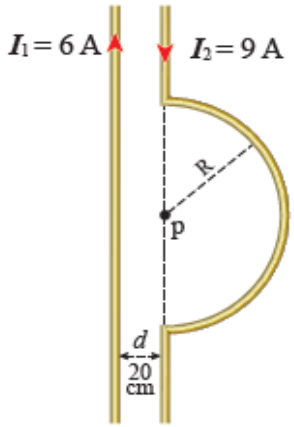
$$B=\frac{\mu_o IN}{2R}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times12\times0.25}{2\times0.5}$$

$$B=3.8\times10^{-6}\ \text{T}$$

بالنسبة للجزأين المستقيمين؛ فإنّ النقطة (P) تقع على امتدادهما، لذلك يكون المجال المغناطيسيّ الناتج عنهما يساوي صفرًا. ألاحظُ أنّ قياس الزاوية (θ) يساوي صفرًا بالنسبة للجزء العُلويّ، ويساوي (180°) بالنسبة للجزء الأيمن. بتطبيق قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه المجال نحو (-z)

مثال 11: كتاب

سلكان مستقيمان لا نهائيا الطول؛ يحتوي أحدهما على نصف حلقةٍ مركزُها (P) ونصف قطرها (0.2 π m) ، كما في الشكل المجاور. أجدُ المجال المغناطيسيّ المُحصّل عند النقطة (P) وأحدّدُ اتّجاهه.



المجال المغناطيسيّ لسلكين متجاورين

المُعطيات : $N = 0.5, r = 0.2$ m, $I_1 = 6$ A, $I_2 = 9$ A, $R = 0.2\ \pi$ m

المطلوب: B= ?

الحلّ:

المجال الناتج عن السلك المستقيم لا نهائيّ الطول:

$$B_1 = \frac{\mu_o I_1}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 6}{2\pi \times 0.20} = 6 \times 10^{-6}\text{T}$$

المجال الناتج عن الملفّ الدائريّ:

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2 N}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 9 \times 0.5}{2 \times 0.2\pi} = 4.5 \times 10^{-6}\text{T}$$

باستخدام قاعدة اليد اليمنى، أجدُ أنّ اتّجاه المجالين نحو داخل الصفحة وعموديٌّ عليها، ومقدارهُ:

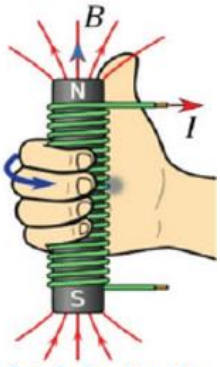
$$B = B_1 + B_2 = 10.5 \times 10^{-6}\text{T}$$

المجالُ الناشئُ عن ملفٍّ لولبيّ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا

Magnetic Field of a Solenoid Carrying a Current

الملفُّ اللولبيّ Solenoid: سلكٌ موصلٌ ملفوفٌ في حلقاتٍ دائريّةٍ مُتراصّةٍ معزولةٍ عن بعضها بعضًا، ويأخذُ الملفُّ شكلاً اسطوانيًّا.

في الشكل المجاور عندما يسري في الملف تيّارٌ كهربائيٌّ فإنّه يولّد مجالً مغناطيسيًّا يمكن حسابُ مقدارهِ على امتداد المحور داخل الملفّ وبعيدًا عن طرفيه باستخدام العلاقة الآتية:



استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتّجاه المجال المغناطيسيّ داخل ملفٍّ لولبيّ على امتداد محوره

$$B = \frac{\mu_o I N}{l}$$

وبقسمة عدد اللّفات الكُليّ (N) على طول الملف (l) نحصل على عدد اللّفات في وحدة الطول (n)

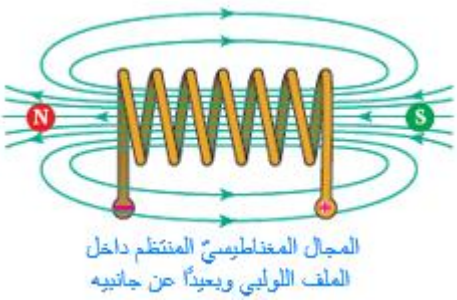
$$n = \frac{N}{l}$$

وعندها يمكن كتابة العلاقة السابقة على الصورة الآتية:

$$B = \mu_o I n$$

وباستخدام قاعدة اليد اليمنى؛ يمكنُني تحديد اتّجاه المجال المغناطيسيّ داخل الملفّ اللولبيّ؛ فعندما تُشير الأصابع الأربعة إلى اتّجاه التيار في حَلَقات الملفّ، يشير الإبهام إلى اتّجاه المجال المغناطيسيّ داخله، كما في الشكل المجاور ويحدد اتّجاه خطوط المجال المغناطيسيّ القطبُ الشماليّ للملفّ؛ فيكون شماليًّا في جهة خروج خطوط المجال وجنوبيًّا في جهة دخولها.

وعندما تكون حَلَقات الملفّ اللولبيّ مُتراصّةً وطولُه أكبر بكثيرٍ من قطره؛ فإنّ المجال المغناطيسيّ داخله وبعيدًا عن طرفيه يكون منتظمًا، كما في الشكل .



ما صفات الملفّ اللولبيّ التي تجعلُ المجال المغناطيسيّ داخله مُنتظمًا؟

عندما تكون حلقات الملف اللولبي متراصة، وطوله أكبر بكثير من قطره، فإن المجال المغناطيسي داخله وبعيدًا عن طرفيه يكون منتظمًا.

معتمدًا على العلاقة الرياضية الخاصة بالمجال المغناطيسيّ داخل ملف لولبي يسري فيه تيارٌ كهربائيّ؛ أبيّنُ أثر كُلّ ممّا يأتي في مقدار المجال المغناطيسيّ داخله:

1. **مضاعفة عدد اللّفات فقط.**
2. **مضاعفة طول الملفّ فقط.**
3. **مضاعفة عدد اللّفات وطول الملفّ معًا.**

الحل:

معتمدًا على العلاقة الرياضية لمجال الملف اللولبي:

$$B=\frac{\mu_o IN}{l}$$

1. مضاعفة عدد اللفات (N) يضاعف المجال المغناطيسي.
2. مضاعفة طول الملف (l) يقلل المجال المغناطيسي إلى النصف.
3. مضاعفة عدد اللفات وطول الملف معًا (n) يبقى المجال المغناطيسي ثابتًا.

ما فائدة المجال المغناطيسي في احتواء وقود الاندماج النووي

يُستخدَم المجال المغناطيسيُّ في احتواء وَقود الاندماج النوويّ بعد تحويله إلى مادّةٍ مُتأيّنةٍ عالية الكثافة (بلازما)، كما يبيّنُ الرسم التوضيحيّ؛ حيث لا يُمكن لأيّ جسمٍ ماديٍّ احتواء هذا الوَقود بسبب الضغط العالي ودرجة الحرارة المرتفعة جدًّا (تقاربُ مليون درجة سلسيوس)؛ اللازمان لبدء تفاعُل الاندماج النوويّ .

مثال 12: كتاب

ملفٌّ لولبيٌّ طولهُ (0.5 m) يحتوي على (500) لفّة؛ أحسب مقدار المجال المغناطيسيّ داخله إذا كان يحمل تيارًا كهربائيًّا (11 A) .

المُعطيات : $l = 0.5\ \text{m}, I = 11\ \text{A}, N = 500$

المطلوب : $B=?$

الحلّ:

$$B=\frac{\mu_o IN}{l}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times11\times500}{0.5}=1.38\times10^{-2}\text{T}$$

مثال 13: كتاب

ملفٌّ لولبيٌّ يتكوّن من عدد لفّاتٍ بمعدّل (1400) في كُلّ مترٍ من طوله. إذا نشأ داخلهُ مجالٌ مغناطيسيٌّ مقدارهُ ($1.4\times10^{-2}\text{T}$) ؛ فما مقدار التيار الكهربائيّ المارّ فيه؟

المُعطيات : $B = 1.4\times10^{-2}\text{T}, n = 1400\ \text{m}^{-1}$

المطلوب : $I=?$

الحلّ:

$$B=\mu_o In$$

$$I=\frac{B}{\mu_o n}=\frac{1.4\times10^{-2}}{4\pi\times10^{-7}\times1400}=7.96\ \text{A}$$

تمرين 2: كتاب

أحسبُ عدد اللّفات في ملفٍّ لولبيّ طولهُ (3π cm) يولّد بداخله مجالً مغناطيسيًّا مقدارهُ ($2\times10^{-3}\text{T}$) عند مرور تيّارٍ (1.5 A) فيه.

المُعطيات : $B = 2\times10^{-3}\text{T}, l = 3\pi\times10^{-2}\text{m}, I = 1.5\text{A}$

المطلوب : $N=?$

الحلّ:

$$B=\frac{\mu_o IN}{l}$$

$$N=\frac{Bl}{\mu_o I}=\frac{2\times10^{-3}\times3\pi\times10^{-2}}{4\pi\times10^{-7}\times1.5}=100\ \text{turn}\ (100\ \text{لفة})$$

القوّةُ المغناطيسيّةُ بين موصلين متوازيين

Magnetic Force Between Two Parallel Conductors

من الدروس السابقة القوة المؤثرة في موصل يحمل تيار مغمور في مجال مغناطيسي

$$F_B = IBL \sin\theta = IBL \ , (\theta = 90°) \ldots\ldots (1)$$

والمجال المغناطيسي الناشئ عن موصل يحمل تيارا عند النقاط جميعها الواقعة على محيط دائرةٍ نصفُ قطرِها(r) ، ويمرُّ الموصل في مركزها ويكون عموديًّا على مستواها تعطى بالعلاقة:

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r} \quad \ldots\ldots (2)$$

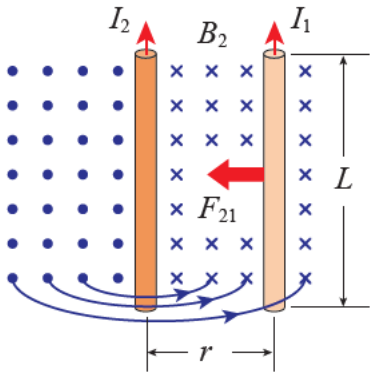
اذن الموصل الحامل للتيار يتأثر بقوة إذا غمر في مجال مغناطيسي يعطى مقداره بالعلاقة (1).

والموصل الحامل للتيار ينشأ عنه مجال مغناطيسي يعطى مقداره بالعلاقة (2).

فاذا كان لدينا موصلين لا نهائيّيْ الطول كما في الشكل المجاور ، ويحملان تيّارين كهربائيّين، فان قوّةً مغناطيسيّةً متبادلة تنشأ بين الموصلين يمكن حسابها باعتبار :

أن الأول(الأيمن) مغمور في المجال المغناطيسي الناشئ عن الثاني (الأيسر).

وأن الثاني(الأيسر) مغمور في المجال المغناطيسي الناشئ عن الأول (الأيمن).



الحالة الأولى : الأول مغمور في المجال المغناطيسي الناشئ عن الثاني ، فينشأ عن الثاني قوة مغناطيسية (F_{21}) يمكن حسابها كما يلي:

$$F_{21} = I_1 B_2 L_1$$

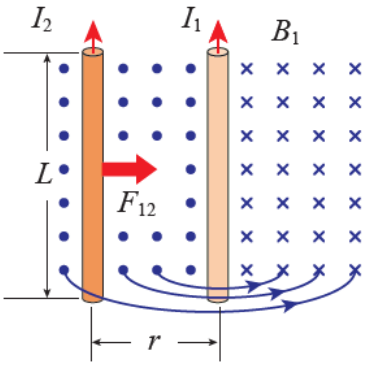
$$F_{21} = I_1 \frac{\mu_o I_2}{2\pi r} L_1 = \frac{\mu_o I_2 I_1 L_1}{2\pi r}$$

$$\frac{F_{21}}{L_1} = \frac{\mu_o I_2 \, I_1}{2\pi r}$$

حيث $(\frac{F}{L})$: القوّة لكلِّ وحدة أطوال.

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى على الموصل الأيمن؛ حيث يكون (B_2) عنده باتّجاه $(-z)$ ،أجدُ أنّ اتّجاه القوّة المؤثّرة فيه يكون نحو اليسار$(-x)$.

الحالة الثانية : الثاني مغمور في المجال المغناطيسي الناشئ عن الأول ، فينشأ عن الأول قوة مغناطيسية (F_{12}) يمكن حسابها كما يلي:



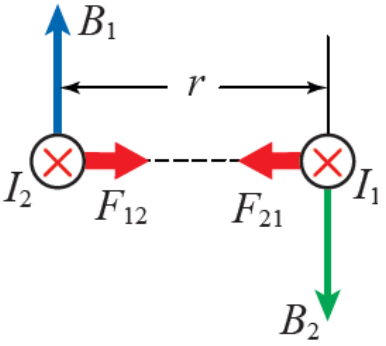
$$F_{12} = I_2 B_1 L_2$$

$$F_{12} = I_2 \frac{\mu_o I_1}{2\pi r} L_1 = \frac{\mu_o I_1 I_2 L_2}{2\pi r}$$

$$\frac{F_{12}}{L_2} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r}$$

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى على الموصل الأيسر؛ حيث يكون (B_1) عنده باتّجاه$(+z)$ ،أجدُ أنّ اتّجاه القوّة المؤثّرة فيه يكون نحواليمين $(+x)$.

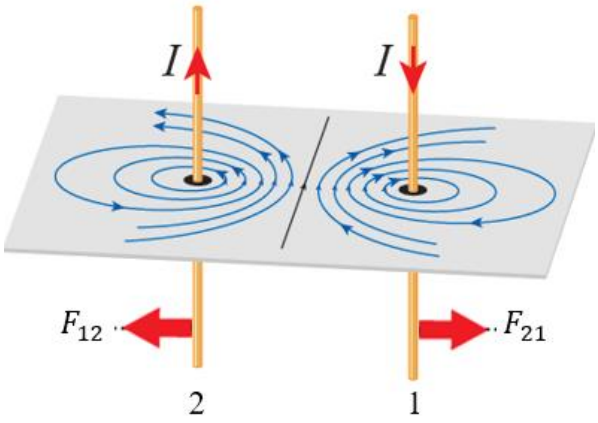
ما هي خصائص القوة المغناطيسية بين موصلين يحملان تيارين كهربائيين؟



أيّ أنّ القوّتين المُتبادلتين بين موصلين

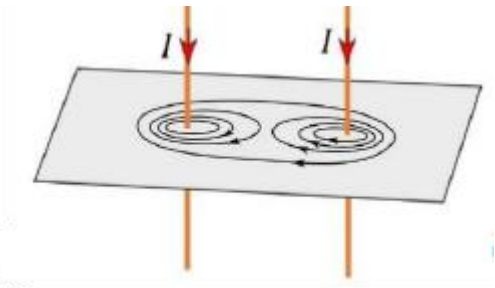
1. تكون قوّة تجاذُب إذا كان الموصلين يحملان تيّارين كهربائيين بالاتّجاه نفسه ، وقوّة تنافر إذا كان الموصلين يحملان تيّارين كهربائيين متعاكسين .
2. تكون القوتين بين الموصلين متساويتان مقدارًا ومتعاكستان اتّجاها. وحسب القانون الثالث لنيوتن فإنّهما تشكلان زوجي فعلٍ وردّ فعلٍ. كما يبيّن الشكلُ المجاور الذي يمثل مقطعًا عرضيًا في كلا السلكين.
3. ويتناسب مقدار القوتين طرديًا مع كل من التيارين والطول المشترك للسلكين، وعكسيًا مع البعد بينهما (r).

ارسم خطوط المجال المغناطيسي المتكونة بين موصلين يحملان التيار الكهربائي نفسه وفي اتجاهين متعاكسين؟



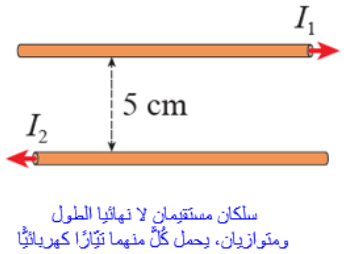
إذا وضعتُ موصلين متوازيين يحمل كلٌّ منهما تيارًا كهربائيًّا باتّجاهين مُتعاكسين، ورسمت خطوط المجال المغناطيسيّ، كما في الشكل المجاورتكون خطوط المجال في المنطقة بين الموصلين متقاربة، بينما تكون متباعدةً في المناطق الخارجية؛ أستنتجُ من الشكل أنّ اتّجاه القوّة المغناطيسيّة يؤثّر في كُلٍّ من الموصلين لنقله من منطقة المجال المغناطيسيّ القويّ إلى منطقة المجال المغناطيسيّ الضعيف؛ أيّ أنّ الموصلين يتباعدان، وهذا يتّفقُ مع قاعدة اليد اليمنى .

ارسم خطوط المجال المغناطيسي المتكونة بين موصلين يحملان التيار الكهربائي نفسه وفي نفس الاتجاه؟



إذا وضعتُ موصلين متوازيين يحمل كلٌّ منهما تيارًا كهربائيًّا بالاتجاه نفسه ، ورسمت خطوط المجال المغناطيسيّ، كما في الشكل المجاورتكون خطوط المجال في المنطقة بين الموصلين متباعدة، بينما تكون متقاربة في المناطق الخارجية؛ أستنتجُ من الشكل أنّ اتّجاه القوّة المغناطيسيّة يؤثّر في كُلٍّ من الموصلين لنقله من منطقة المجال المغناطيسيّ القويّ إلى منطقة المجال المغناطيسيّ الضعيف؛ أيّ أنّ الموصلين يتقاربان، وهذا يتّفقُ مع قاعدة اليد اليمنى .

مثال 14: كتاب



سلكان مستقيمان لا نهائيا الطول ومتوازيان، يحمل كُلٌّ منهما تيّارًا كهربائيًّا

سلكان مستقيمان لا نهائيا الطول ومتوازيان تفصلهما مسافة (5 cm) يحمل السلك العلوي تيارًا كهربائيًّا(8.0 A) والسفلي(2.0 A) ، كما في الشكل المجاور. أحسب مقدار القوّة المغناطيسيّة المتبادلة بين وحدة الأطوال من السلكين، وأحدد نوعها .

المعطيات : $l = 1\text{m}, I_1 = 8.0\text{ A}, I_2 = 2.0\text{ A}, r = 0.05\text{ m}$

المطلوب : F=?

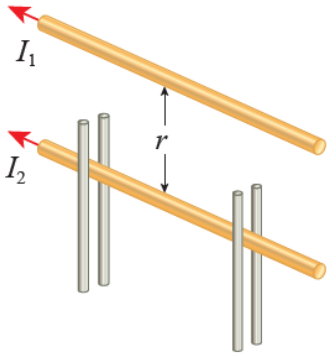
الحل:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 8 \times 2}{2\pi \times 0.05} = 6.4\times10^{-5}\text{ N/m}$$

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى؛ أجد أنّ القوّة بين السلكين هي تنافُر.

مثال 15: كتاب

موصِلان متوازيان لا نهائيا الطول يحمل كُلٌّ منهما تيّارًا كهربائيًّا (200A)،الموصل العُلويُّ مُثبّت، والسُّفليّ قابلٌ للحركة رأسيًّا، كما في الشكل المجاور، إذا علمتُ أنّ كتلة وحدة الأطوال من الموصل السفلي(0.2 g/cm) ؛ أجد المسافة (r) التي تجعله مُتّزنًا.



المعطيات : $I_1 = 200\text{ A}, I_2 = 200\text{ A}, F_g = 0.2\text{ N/m}$

المطلوب : $r = ?$

الحلّ:

عندما يتّزن الموصل السفليُّ، فإنّ مقدار وزن وحدة الأطوال منه يساوي مقدار القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة فيه لكُلّ وحدة طول ، مع ملاحظة انه يجب التحويل من (g/cm) الى (N/m) كما يلي:

$$0.2\text{ g/cm} = \frac{\frac{0.2}{1000}}{\frac{1}{100}}\frac{kg}{m} = \frac{\frac{0.2}{1000}\times 10}{\frac{1}{100}}\text{ N/m} = \frac{\frac{0.2}{100}}{\frac{1}{100}}\text{ N/m} = 0.2\text{ N/m}$$

$$F = F_g = 0.2\text{ N/m}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r} \rightarrow r = \frac{\mu_o I_1 I_2 L}{2\pi F}$$

$$r = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 200 \times 200}{2\pi \times 0.2} = 4\times10^{-2}\text{m}$$

منشأ المجال المغناطيسيّ:

لاحظتُ في ما سبق أنّ المجالات المغناطيسيّة جميعها ناتجةٌ عن حركة الشحنات الكهربائيّة، لكن؛ كيف يحدث ذلك في حالة المغناطيس الدائم؟

في المغناطيس الدائم توجد شحنات متحرّكة أيضًا، وهي الإلكترونات التي تدور حول نواة الذرة. ويمكن تصوُّر حركة الإلكترون حول نواة الذرة بأنّها تشكّل حلقةً صغيرةً جدًّا يسري فيها تيّارٌ كهربائيٌّ وينتج عنها مجالٌ مغناطيسيّ. في بعض الموادّ تكونُ المجالات المغناطيسيّة في اتّجاهاتٍ مختلفةٍ وبشكلٍ عشوائيّ؛ بحيث تكون مُحصّلة المجال المغناطيسيّ صفرًا. أمّا في الموادّ المغناطيسيّة الدائمة؛ فإنّ المجالات المغناطيسيّة الناشئة عن الإلكترونات المُتحرّكة تؤدي إلى حقولٍ (مناطق)مغناطيسيّة ينتُجُ عنها مجالٌ مغناطيسيٌّ مُحصّلٌ لا يساوي صفرًا؛ ولذلك ينشأ مجالٌ مغناطيسيٌّ للمغناطيس الدائم.

أسئلة الدرس الثاني

1. **الفكرةُ الرئيسة:** أذكرُ العوامل التي يعتمد عليها مقدار المجال المغناطيسيّ الناتج عن مقطعٍ صغيرٍ من موصلٍ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا، عند نقطةٍ بالقرب من هذا الموصل.

يعتمد مقدار المجال المغناطيسي عند نقطة بالقرب من مقطع صغير من موصل يحمل تيارا كهربائي حسب العلاقة التالية على:

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{IdL\sin\theta}{r^2}$$

1. النفاذية المغناطيسية للوسط.
2. مقدار التيار الكهربائي.
3. طول المقطع المؤثر من الموصل.
4. جيب الزاوية بين متجه طول المقطع ومتجه بعد النقطة.
5. مربع المسافة بين النقطة والمقطع.

2. **أستنتجُ:** يتحرّك إلكترونٌ في الفضاء في خطٍّ مستقيم؛ ما المجالات الناشئةُ عنهُ؟

ينشأ في الحيز المحيط بإلكترون متحرك مجالان كهربائي ومغناطيسي.

3. موصلان مستقيمان متوازيان لانهائيّا الطول؛ المسافة بينهما(30 cm) ، يحمل أحدهما تيّارًا كهربائيًّا يساوي ثلاثة أمثال التيار الذي يحمله الموصل الثاني. أُحدّد نقطةً على الخطّ العموديّ الواصل بينهما؛ ينعدم عندها المجال المغناطيسيّ عندما يكون التياران بالاتّجاه نفسه.

المعطيات : $I_2 = 3I_1$, $r_1 + r_2 = 30$ cm

المطلوب : $r_1 = ?$, $r_2 = ?$

الحل:

عندما ينعدم المجال المحصل بين السلكين، يكون المجالان متساويان مقدارا ومتعاكسان اتجاهًا.

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2} \longrightarrow \frac{I_1}{r_1} = \frac{I_2}{r_2} \longrightarrow \frac{I_1}{r_1} = \frac{3I_1}{r_2}$$

$$\longrightarrow r_2 = 3r_1$$

$$r_2 = 3(30 - r_2)$$

$$4r_2 = 90$$

$$r_2 = 22.5 \text{ cm}$$

$$r_1 = 30 - 22.5 = 7.5 \text{ cm}$$

4. **أقارنُ:** أبيّنُ العوامل التي يعتمد عليها المجال المغناطيسيّ في مركز ملفٍ دائريٍ والعوامل التي يعتمد عليها المجال المغناطيسيُّ داخل ملفٍ لولبيّ.

الملفِ الدائريّ : $B=\frac{\mu_o IN}{2R}$	الملفِ اللولبي: $B=\frac{\mu_o IN}{l}$
1. النفاذية المغناطيسية للوسط 2. التيار 3.عدد اللفات 4. نصف قطر الملف	1. النفاذية المغناطيسية للوسط 2. التيار 3. عدد اللفات 4. طول الملف

5. **أحسبُ:** ملفٌ دائريٌ من سلكٍ نحاسيٌ عددُ لفّاته (100)، نصفُ قطرٍ كُلٍّ منها (8.0 cm) ، ويحمل تيّارًا كهربائيًّا (0.4A)أحسبُ مقدارَ المجال المغناطيسيّ في مركز الملفِ.

الحل:

$$B=\frac{\mu_o IN}{2R}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times0.4\times100}{2\times8\times10^{-2}}=3.14\times10^{-4}\text{T}$$

6. **أحسبُ:** موصلٌ مستقيمٌ لا نهائيُّ الطول موضوعٌ على سطحٍ أُفقيٍ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا (50 A) يتّجهُ من الشمال إلى الجنوب؛ أحسبُ مقدارَ المجال المغناطيسيّ عند نقطةٍ على السطح تبعدُ (2.5 cm) إلى الشرق من السلك، وأحدد اتّجاهه.

الحل:

$$B=\frac{\mu_o I}{2\pi r}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times50}{2\pi\times2.5\times10^{-2}}=4\times10^{-4}\text{ T}\,,+z$$

الإثراء والتوسع

التصويرُ باستخدام تقنية الرنين المغناطيسي (MRI)

التصوير بالرنين المغناطيسيّ(Magnetic resonance imaging (MRI
تقنيةٌ غير جراحيّةٍ تنتجُ صورًا تشريحيّةً واضحةً ثلاثيّةَ الأبعاد لجسم الإنسان، تساعدُ في الكشف عن الأمراض وتشخيصها.

مما يتكوّن جهاز الرنين المغناطيسيّ؟

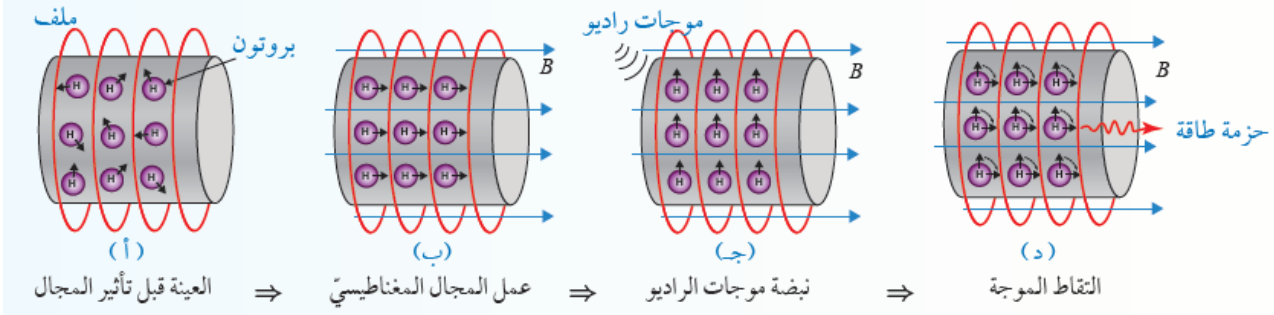
يتكون من ثلاثة أجزاءٍ رئيسةٍ هي؛

1. ملفّاتٌ مغناطيسيّة.
2. ومصدر موجات راديو.
3. وجهاز حاسوب.

ما هي خطواتُ عمل جهاز التصويرُ باستخدام تقنية الرنين المغناطيسي:

تحتوي خلايا جسم الإنسان على نسبةٍ كبيرةٍ من الماء الذي يتكوّن من الأكسجين والهيدروجين، ولكلِّ ذرّة هيدروجينٍ عزمٌ ثنائقطبيٌّ مغناطيسيّ. وفي غياب مجالٍ مغناطيسيٍّ خارجيٍّ تكون اتّجاهاتُ العزوم المغناطيسيّة في الجسم موزّعةً في الاتّجاهات كافّةً بشكلٍ عشوائي، كما في الشكل (أ)

1. تولّد الملفاتُ مجالً مغناطيسيًّا خارجيًّا يخترق الجسم، مؤدّيًا إلى اصطفاف العزوم المغناطيسيّة لذرّات الهيدروجين في اتّجاهِ المجال المغناطيسيّ نفسه، وتصبح في وضع اتّزان، الشكل (ب).
2. يُطلق مصدرُ موجات الراديو نبضةً من الموجات تخترق الجسم؛ فتؤدّي إلى انحراف العزوم المغناطيسيّة لذرات الهيدروجين بزاوية (90°)عن اتّجاه المجال المغناطيسيّ الخارجي، الشكل (ج).
3. عند توقُّف نبضة موجات الراديو تبدأ العزوم بالعودة للاصطفاف باتّجاه المجال المغناطيسيّ الخارجيّ، وينتُج عن ذلك انبعاثُ حزمةٍ من الموجات الكهرومغناطيسية تلتقطها مستشعرات التصوير وتحوّلها عن طريق برمجيّاتٍ محوسبةٍ إلى صورٍ تشريحيّة، الشكل (د).



تختلف العزوم المغناطيسيّة في زمن عودتها إلى حالة الاتزان (الاصطفاف باتّجاه المجال المغناطيسيّ الخارجي)، وفي مقدار طاقة الموجات الكهرومغناطيسية التي تبعثها؛ وذلك حسب تركيب النسيج والطبيعة الكيميائية للجزيئات فيه، وبذلك يتمكن الأطباء من التفريق بين الأنسجة المختلفة (السليمة والمصابة بمرض مُعيّن مثلا) بناءً على هذه الخصائص المغناطيسيّة.

على ماذا يعتمد عمل جهاز التصويرُ باستخدام تقنية الرنين المغناطيسي؟

1. النسبة الكبيرة من الماء (الأكسجين والهيدروجين) في خلايا جسم الإنسان وعزمٌ الثناقطبيٌّ المغناطيسيّ لكل ذرة هيدروجين.
2. اختلاف العزوم المغناطيسيّة في زمن عودتها إلى حالة الاتزان (الاصطفاف باتّجاه المجال المغناطيسيّ الخارجي)، وفي مقدار طاقة الموجات الكهرومغناطيسية التي تبعثها؛ وذلك حسب تركيب النسيج والطبيعة الكيميائية للجزيئات فيه.

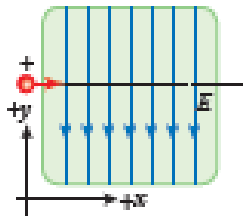
أسئلة مراجعة الوحدة

1. أضعُ دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة لكلّ جملة ممّا يأتي:

1. من العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوّة المغناطيسيّة التي تؤثّر في جُسيمٍ مشحونٍ مُتحرّك؛ مقدارُ الشحنة وسرعةُ الجُسيم، حيث تزداد القوّة:
   a. بزيادة السرعة ونقص الشحنة. *b.* بزيادة السرعة وزيادة الشحنة.
   c. بنقص السرعة وزيادة الشحنة. *d.* بنقص السرعة ونقص الشحنة.

2. عند تمثيل المجال المغناطيسيّ المنتظم بخطوط مجال؛ فإنّها تتّصفُ بواحدة ممّا يأتي:
   a. خطوطٌ متوازيةٌ والمسافات بينها متساوية. *b.* خطوطٌ متوازيةٌ والمسافات بينها غير متساوية.
   c. خطوطٌ مُنحَنيةٌ تشكّل حلقاتٍ مُقفَلة. *d.* خطوطٌ مُنحَنيةٌ تشكّل حلقاتٍ غير مقفلة.

3. يتحرّك أيونٌ موجبٌ باتّجاه محور $(+x)$ ، داخل غرفة مُفرغة فيها مجالٌ كهربائيٌّ باتّجاه $(-y)$كما في الشكل. في أيّ اتّجاه يجب توليد مجالٍ مغناطيسيٍّ بحيث يمكن أن يؤثّر في الجُسيم بقوّةٍ تجعلهُ لا ينحرف عن مساره؟

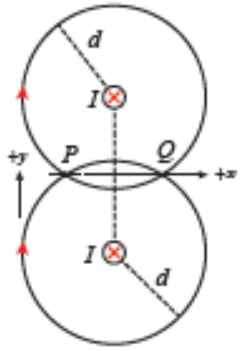


   a. باتّجاه محور $(+y)$ ، للأعلى .
   b. باتّجاه محور $(-y)$ ، للأسفل.
   c. باتّجاه محور $(+z)$ ، نحو الناظر.
   d. باتّجاه محور $(-z)$ ، بعيدًا عن الناظر.

4. يُستخدم المجال المغناطيسيّ لحساب الشحنة النوعية للجُسيمات، ماذا يُقصد بالشحنة النوعية؟
   a. نسبة كتلة الجُسيم إلى مربع شحنته. *b.* نسبة شحنة الجُسيم إلى مربع كتلته.
   c. نسبة كتلة الجُسيم إلى شحنته. *d.* نسبة شحنة الجُسيم إلى كتلته.

5. عندما يتحرّك جُسيمٌ مشحونٌ حركةً دائريّةً في مجال مغناطيسيّ منتظم؛ متى يزداد نصف قطر المسار الدائري للجُسيم؟
   a. بزيادة المجال وزيادة الشحنة. *b.* بزيادة الكتلة ونقص المجال.
   c. بنقص الكتلة ونقص السرعة. *d.* بنقص الكتلة وزيادة المجال.

6. سلكان مستقيمان متوازيان لانهائيّا الطول؛ يحملان تيّارين متساويين وباتّجاه $(-z)$ داخل الصفحة؛ النقطتان (P,Q) تبعدان عن السلكَين مسافاتٍ متساوية، كما في الشكل. كيف يكون اتّجاه المجال المغناطيسيّ المُحصّل عند النقطتين (P,Q) ؟



   a. عند (P) باتّجاه $(+x)$ ، وعند (Q) باتّجاه $(+y)$.
   b. عند (P) باتّجاه $(-x)$ ، وعند (Q) باتّجاه $(-y)$.
   c. عند (P) باتّجاه $(+x)$ ، وعند (Q) باتّجاه $(-x)$.
   d. عند (P) باتّجاه $(+y)$ ، وعند (Q) باتّجاه $(-y)$.

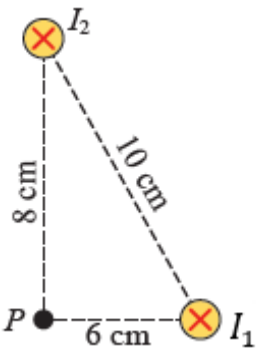
الإجابات:

6	5	4	3	2	1
d	*b*	*d*	*d*	*a*	*b*

2. **أفسّرُ:** مجالٌ مغناطيسيٌّ منتظمٌ باتّجاه$(+x)$ ، دخل جُسيمان مشحونان منطقة المجال بسرعة (v) باتّجاهٍ داخل الصفحة $(-z)$ ؛ فانحرف أحدهما باتّجاه محور$(+y)$ ، والثاني باتّجاه محور $(-y)$ أفسّرُ انحرافهما.

عندما يدخل الجسيم المشحون مجالًا مغناطيسيًا بسرعة لا ينطبق اتجاهها على اتجاه المجال، فإنه يتأثر بقوة مغناطيسية فينحرف مساره، وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى أجد أن الجسيم الذي انحرف باتجاه $(-y)$ كانت شحنه موجبة، أما الذي انحرف باتجاه $(+y)$فإن شحنته سالبة.

3. **أحسبُ:** موصلان مستقيمان متوازيان؛ يحملُ كلٌّ منهما تيّارًا كهربائيًّا باتّجاهٍ داخلَ الصفحة، كما في الشكل. إذا كان تيار الأول (12 A) ، وتيار الثاني (40 A) أحسبُ كُلًّ من:



أ . القوّةَ التي يؤثّر بها الموصل الثاني في وحدة الأطوال من الموصل الأول مقدارًا واتّجاها.

ب. المجالَ المغناطيسيَّ المُحصّل عند النقطة (P) مقدارًا واتّجاها.

الحل:

أ. القوة المؤثرة في وحدة الأطوال، وهي قوة تجاذب، أي باتجاه السلك الثاني.

$$F=\frac{\mu_o I_1 I_2 L}{2\pi r}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times12\times40\times1}{2\pi\times10\times10^{-2}}=9.6\times10^{-4}\ \text{N}$$

ب. المجال المحصل:

$$B_1=\frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times12}{2\pi\times6\times10^{-2}}=4\times10^{-5}\ \text{T}$$

$$B_2=\frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times40}{2\pi\times8\times10^{-2}}=10\times10^{-5}\ \text{T}$$

$$B=\sqrt{B_1+B_2}=\sqrt{(4\times10^{-5})^2+(10\times10^{-5})^2}$$

$$B=10.8\times10^{-5}\ \text{T}$$

B_1 باتجاه محور $(+y)$، B_2 باتجاه محور$(-x)$ و المجال المحصل B يصنع ا زوية $\emptyset$ مع محور$(-x)$ ، حيث :

$$\emptyset=tan^{-1}\left(\frac{4}{10}\right)\approx22°$$

4. **أحسبُ:** خطٌّ علويٌّ أفقيٌّ ناقلٌ للكهرباء يرتفع عن سطح الأرض (10 m) ، ويحمل تيّارًا كهربائيًّا مقداره(90A) باتّجاه الشرق. أحسبُ مقدار المجال المغناطيسيّ الناشئ عن الخطّ الناقل وأحدد اتّجاهه في نقطتين تحت الخطّ الناقل:
أ . النقطة الأولى على بعد (1.5 m) منه.
ب. النقطة الثانية على سطح الأرض.

الحل:

أ. المجال تحت الخط بمسافة (1.5 m)، ويكون اتجاهه نحو الشمال:

$$B=\frac{\mu_o I}{2\pi r_1}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times90}{2\pi\times1.5}=1.2\times10^{-5}\,\mathrm{T}\ ,+Z$$

ب. المجال على سطح الأر ض ويكون باتجاه الشمال أيضًا:

$$B=\frac{\mu_o I}{2\pi r_1}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times90}{2\pi\times10}=1.8\times10^{-6}\,\mathrm{T}\ ,+Z$$

5. **أحسب:** ملفٌّ لولبيٌّ طولهُ (0.6 m) ، يحتوي على (400) لفّةٍ متراصةٍ جيدًا. إذا مرّ فيه تيّارٌ كهربائيّ (8 A) ، أجدُ مقدار المجال المغناطيسيّ داخل الملف عند نقطةٍ تقعُ على محوره.

الحل:

$$B=\frac{\mu_o IN}{l}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times8\times400}{0.6}=6.7\times10^{-3}\,\mathrm{T}$$

6. **تفكيرٌ ناقد:** أيونٌ موجبٌ شحنتهُ ($+e$) يكمل5 دوراتٍ في مجال مغناطيسي منتظم ($5.0\times10^{-2}T$) خلال مُدّةٍ زمنيّةٍ (1.5 ms)أحسبُ كتلة الأيون بوحدة (kg).

الحل:

$$F_B=F_C\rightarrow qvB\sin\theta=\frac{mv^2}{r}\ \rightarrow qB=\frac{mv}{r}$$

لإيجاد سرعة الأيون بدلالة نصف قطر المسار الدائري وتعويضه في العلاقة السابقة:

$$v=n\frac{2\pi r}{t}=5\left(\frac{2\pi r}{1.5\times10^{-3}}\right)\approx20944\,r$$

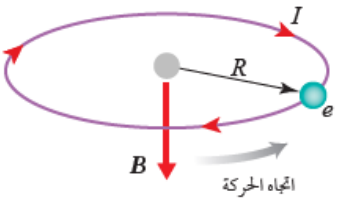
$$qB=\frac{mv}{r}\ \rightarrow 1.6\times10^{-19}\times5.0\times10^{-2}=\frac{m(20944)\,r}{r}$$

$$8\times10^{-2}=m\,(20944)\ \rightarrow\ m\approx3.8\times10^{-25}\mathrm{kg}$$

7. أقارنُ: كيف أستخدم جُسيمًا مشحونًا لتمييز منطقةٍ مُحدّدة؛ إن كانت منطقةَ مجالٍ مغناطيسيٍّ أم مجالٍ كهربائيّ؟ أوضّح إجابتي بمثال.

أضع الجسيم المشحون في حالة سكون، فإذا بدأ بالتسارع من السكون، فالمجال يكون كهربائيا. لأن المجال المغناطيسي لا يؤثر في الجسيمات المشحونة الساكنة. مثال ذلك، أنبوب الأشعة المهبطية تتسارع فيه الإلكترونات الساكنة في المهبط عند تطبيق مجال كهربائي بين القطبين.

8. تفكير ناقد: أفترضُ أنّ إلكترونَ ذرّة الهيدروجين يدور حول النواة (البروتون) في مسار دائريٍّ نصفُ قطره (5.3×10^{-11} m) تحت تأثير القوّة الكهربائيّة بينهما .تُشكّل حركةُ الإلكترون تيّارًا كهربائيًّا (اصطلاحيًّا) في حلقةٍ دائريّةٍ بعكس اتّجاه حركته، كما في الشكل. أحسبُ مقدار المجال المغناطيسيّ (B) الناتج عن هذه الحركة؛ علمًا أنّ الزمن الدوري لحركة الإلكترون (1.46×10^{-16}s).



الحل:

التيار يساوي كمية الشحنة التي تعبر نقطة محددة في مدار الإلكترون مقسومة على المدة الزمنية:

$$I=\frac{\Delta Q}{\Delta t}=\frac{1.6\times10^{-19}}{1.46\times10^{-16}}\approx 1.1\times10^{-3}\text{A}$$

$$B_2=\frac{\mu_o IN}{2R}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times1.1\times10^{-3}\times1}{2\times5.3\times10^{-11}}=13\text{ T}$$

9. موصلٌ مستقيمٌ يحملُ تيارًا كهربائيًّا (8 A) داخل مجالٍ مغناطيسيٍّ منتظمٍ كما في الشكل المجاور. أحسبُ مقدار القوّة المغناطيسيّة التي يؤثّر بها المجال المغناطيسيّ في وحدة الأطوال من الموصل، وأحدّدُ اتّجاهها.

الحل:

القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الأطوال من السلك:

$$F_B=IBL\sin\theta=8\times0.15\times1\times\sin37°=1.2\times0.6=0.72\text{ N}$$

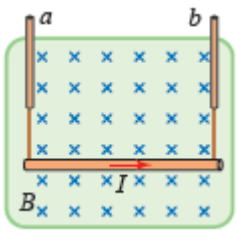
10. ملفٌّ دائريٌّ نصفُ قطره (6 cm) ؛ يتكوّن من (20) لفّةً ويحمل تيّارًا كهربائيًّا (12 A) معلق رأسيًّا في مجالٍ مغناطيسيٍّ أُفقيٍّ مُنتظم، مقدارهُ (0.4 T) تصنعُ خطوطه زاوية (30°) مع العمودي على مستوى الملفّ. أجدُ مقدار عزم الازدواج الذي يؤثّر به المجال المغناطيسيّ المُنتظم في الملف.

الحل:

عزم الازدواج المؤثر في الملف:

$$\tau=NIAB\sin\theta=NI(\pi r^2)B\sin30°$$
$$\tau=20\times12\times(3.14\times0.0036)\times0.4\times0.5=0.54\text{ N.m}$$

11. موصلٌ للكهرباء مستقيمُ الشكل طولهُ (0.45 m) وكتلتهُ (60 g) ، في وضع أُفقيّ مُعلّقٍ بواسطة سلكين رأسيين (a,b) ينقُلان له تيّارًا كهربائيًّا مقداره (5A). حيث ($g = 9.8\ m/s^2$).



أ . أحسبُ مقدار المجال المغناطيسيّ الذي يتعامد مع الموصل بحيث يجعل الشدّ في السلكين صفرًا.

ب. أحسبُ مجموع الشدّ الكُليّ في السلكين المذكورين عندما ينعكس اتّجاه التيار الكهربائيّ في الموصل.

الحل:

أ. المجال المغناطيسي الذي يجعل الشد صفر:

$$T=F_B-F_W=0$$
$$F_B=F_W \rightarrow mg=IBL \rightarrow 0.06\times9.8=5\times0.45\ B$$
$$B=0.26\ \text{T}$$

ب. مجموع الشد عندما ينعكس اتجاه المجال:

$$T=F_W+F_B=2F_W=2\times0.06\times9.8=1.18\ \text{N}$$

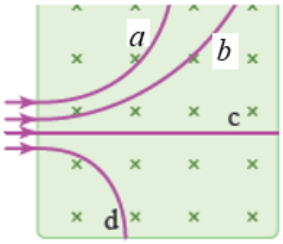
12. يصلُ سلكان نحاسيان في السيارة بين البطّارية وبادئ الحركة (السلف)، عند التشغيل يمرُّ في السلكين تيّارٌ(300A) « مدّةً قصيرة ». ما مقدار القوّة المُتبادلة بين وحدة الأطوال من السلكين، بافتراض أنّهما متوازيان والمسافةُ الفاصلةُ بينهما(4 cm) ؟ وهل تكون هذه القوّة تجاذبًا أم تنافرًا؟

الحل:

$$F=\frac{\mu_o I\ IL}{2\pi r}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times300\times300\times1}{2\pi\times4\times10^{-2}}\approx0.45\ \text{N}$$

وهي قوّة تنافر لان الموصلين يحملان تيّارين كهربائيين متعاكسين.

13. دخلت أربعة جُسيماتٍ (a,b,c,d) منطقة مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتَظمٍ بسرعاتٍ متساويةٍ وباتّجاهٍ عموديٍّ على خطوطه كما في الشكل. أُحدّد أيًّا من هذه الجُسيمات يحملُ شحنةً موجبةً وأيُّها يحمل شحنةً سالبة وأيّها لا يحمل شحنة، ثم أرتّب الجُسيمات a, b, d تصاعُديًّا حسب كتلتها.



الحل:

حسب اتجاه الانحراف، فإن الجسيمين (a) و (b) موجبا الشحنة، والجسيم (c) متعادل، والجسيم (d) سالب الشحنة. واعتمادًا على نصف قطر المسار فإن الترتيب التصاعدي للجسيمات حسب كتلها:

$$md<ma<mb$$

14. ملفٌّ دائريٌّ من سلكٍ نُحاسيٍّ عددُ لفّاته (80)، نصفُ قُطر كُلٍّ منها(10 cm) ، ويحمل تيّارًا كهربائيًّا (5 A) أحسبُ مقدارَ المجال المغناطيسيّ في مركز الملفّ.

الحل:

المجال في مركز الملف الدائري:

$$B=\frac{\mu_o IN}{2R}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times5\times80}{2\times10\times10^{-2}}\approx2.5\times10^{-3}\ \text{T}$$

15. ملفٌّ دائريّ يتكوّن من (100) لفّةٍ من سلكٍ نُحاسيٍّ يسري فيه تيارٌ كهربائيٌّ(20 A) ، وُضِعَ في مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتَظم (0.3 T) ، بحيثُ كانت الزاوية بين مُتّجه مساحة الملفّ وخطوط المجال المغناطيسيّ (45 °)؛ فتأثّر بعزمٍ مقدارهُ (21.3 Nm) أجدُ مساحة الملفّ.

الحل:

عزم الدوران الذي يؤثر في الحلقة:

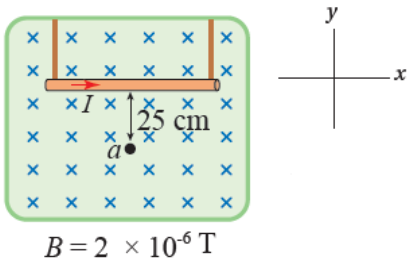
$$\tau = NIAB\sin\theta = (NIB\sin45°)\ A$$
$$21.3 = (100\times20\times0.3\times0.71)\ A$$
$$A=\frac{21.3}{426}=0.05\ m^2$$

16. يتحرّكُ بروتونٌ في مسارٍ دائريٍّ نصفُ قطره (12 cm) داخل مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتَظمٍ مقدارهُ (0.7 T) يتعامدُ اتّجاهُ خطّوطه مع مستوى المسار الدائري. أحسبُ السرعة الخطيّة التي دخل فيها البروتون المجال.

الحل:

$$F_B=F_C\rightarrow qvB\sin\theta=\frac{mv^2}{r}\rightarrow qB=\frac{mv}{r}$$
$$v=\frac{qBr}{m}=\frac{1.6\times10^{-19}\times0.7\times12\times10^{-2}}{1.67\times10^{-27}}\approx8\times10^{6}\text{m/s}$$

17. موصلٌ مستقيمٌ طولهُ (60 cm) يحملُ تيّارًا كهربائيًّا(4 A) ؛ معلّقٌ أفقيًا داخل مجالٍ مغناطيسيّ كما في الشكل .اعتمادًا على بيانات الشكل؛ أحسب ما يأتي :



أ . المجالُ المغناطيسيُّ المُحصّل عند النقطة (a).

ب. مقدارُ القوّةُ المغناطيسيّةُ المؤثّرة في الموصل المستقيم.

ج. القوّةُ المغناطيسيّةُ المُحصّلةُ المؤثّرة في جُسيمٍ شحنتهُ موجبةٌ مقدارُها $(2\times10^{-6}C)$ لحظةَ مروره بالنقطة (a) بسرعة $(6\times10^{4}m/s)$ باتّجاه محور$(-y)$.

أ . المجالُ المغناطيسيُّ المُحصّل عند النقطة (a).

$$B_2=\frac{\mu_o I}{2\pi r}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times4}{2\pi\times25\times10^{-2}}=3.2\times10^{-6}\ \text{T}$$

$$B=B_1+B_2=2\times10^{-6}+3.2\times10^{-6}=5.2\times10^{-6}\ \text{T}$$

ب. مقدارُ القوّةُ المغناطيسيّةُ المؤثّرة في الموصل المستقيم.

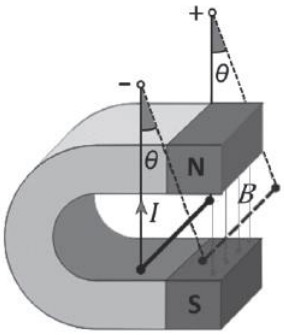
$$F_B=IBL\sin\theta=4\times2\times10^{-6}\times60\times10^{-2}\times1=4.8\times10^{-6}\ \text{N}$$

ج. القوّةُ المغناطيسيّةُ المُحصّلةُ المؤثّرة في الجُسيمِ المشحون.

$$F=qvB\sin\theta=2\times10^{-6}\times6\times10^{4}\times5.2\times10^{-6}\times1=6.24\times10^{-7}\text{N}$$

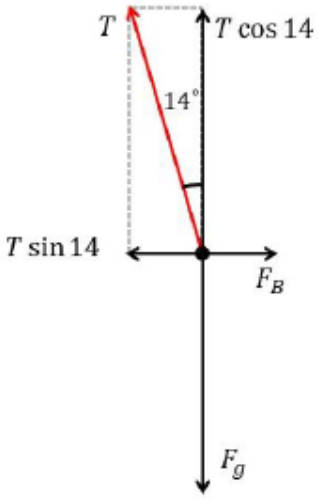
أسئلةُ التفكير الواردة في كتاب الأنشطة

1. سلكٌ طوله (5cm) وكتلته (50g)، معلّقٌ بين قطبي مغناطيسٍ (مجاله منتظم) بواسطة سلكين رفيعين مهملي الكتلة، كما في الشكل. عندما يسري فيه تيّار كهربائي (10A) ينحرف عن العموديّ بزاوية مقدارها ($\theta=14°$).
ما مقدار المجال المغناطيسيّ؟



الحل:

برسم مخطط الجسم الحرّ للسلك أجد أنّ:



$$F_g=T\cos\theta=T\cos14°$$

$$F_B=T\sin\theta=T\sin14°$$

$$\frac{F_B}{F_g}=\frac{T\sin14°}{T\cos14°}=\tan14°$$

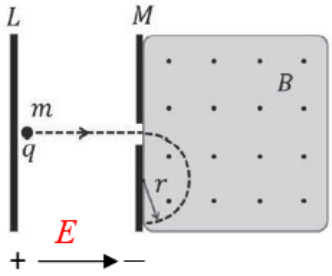
$$F_B=(0.25)\,F_g=0.25\times0.05\times10=0.125\ \text{N}$$

$$F_B=IBL\sin90°$$

$$0.125=10\times B\times5\times10^{-2}\times1$$

$$B=0.25\ \text{T}$$

2. في تجربة باستخدام مطياف الكتلة؛ أدخل جُسيمٌ مشحونٌ مجالًا كهربائيًا منتظمًا في الحيّز بين الصفيحتين (L) و (M) ، فتسارع حتى أصبحت سرعته النهائيّة ($5.9\times10^7 m/s$)، ثم سُمح للجُسيم بدخول مجالٍ مغناطيسيٍّ منتظمٍ مقدارهُ (16T)، واتّجاهه خارجٌ من الصفحة (نحو الناظر) وعموديٌّ عليها، كما في الشكل. فاتّخذ الجسيمُ مسارًا دائريًّا نصف قطره (10 cm).



أجيب عما يأتي:

a) ما نوع الشحنة الكهربائيّة التي يحملها الجُسيم؟

b) ما اتّجاه المجال الكهربائي الذي استخدم لتسريع الجُسيم؟

c) ما مقدار تسارع الجُسيم داخل المجال المغناطيسي؟

d) ما مقدار نسبة شحنة الجُسيم إلى كتلته؟

الحل:

a) بتطبيق قاعدة اليد اليمنى، وحيث أن اتجاه حركة الجسيم $(+x)$ واتجاه المجال المغناطيسي $(+z)$ واتجاه الانحراف نحو $(-y)$ فإن نوع الشحنة هو موجبة.

b) اتّجاه المجال الكهربائي الذي استخدم لتسريع الجُسيم.

بما أن الجسيم موجب الشحنة فهو يتسارع باتجاه المجال الكهربائي (E) أي أن اتجاه المجال مع محور $(+x)$.

ملاحظة : الشحنة الموجبة تتحرك باتجاه المجال الكهربائي (E) والسالبة بعكس اتجاه المجال ، ويكون اتجاه المجال الكهربائي من الصفيحة الموجبة الى السالبة.

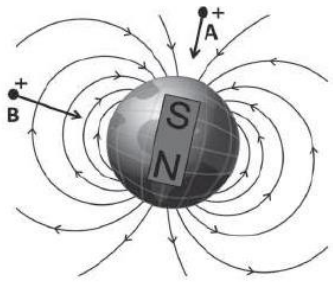
c) تسارع الجسيم داخل المجال المغناطيسي.

$$F_B = \frac{mv^2}{r} \longrightarrow a = \frac{F_B}{m} = \frac{v^2}{r} = \frac{(5.9\times10^7)^2}{10\times10^{-2}} = 3.48\times10^{16}\ m/s^2$$

d) مقدار نسبة شحنة الجسيم إلى كتلته .

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br} = \frac{5.9\times10^7}{16\times10\times10^{-2}} = 3.69\times10^7 C/kg$$

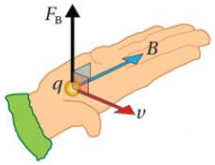
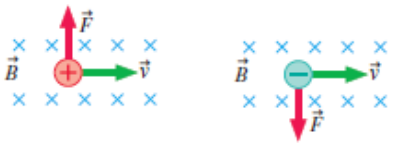
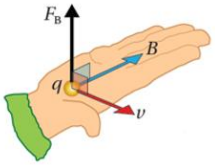
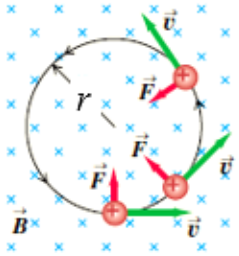
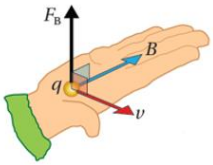
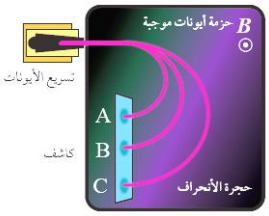
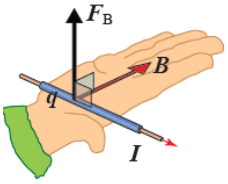
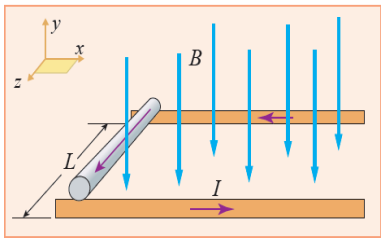
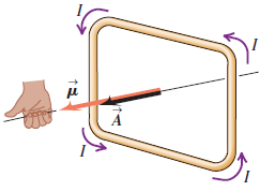
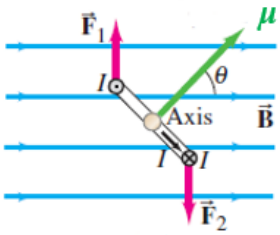
3. لوحظ أن الجُسيمات المشحونة القادمة من الفضاء الخارجي والتي تُعرف بالأشعّة الكونيّة تضرب الأرض من جهتي القطبين، كالجُسيم (A)، في الشكل، بينما الجُسيمات القادمة من محيط خط الاستواء، مثل الجُسيم (B)، لا تصل إلى الأرض. كيف أفسّر ذلك اعتمادًا على معرفتي بخصائص المجال المغناطيسيّ للأرض.

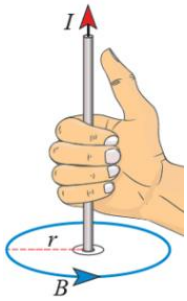
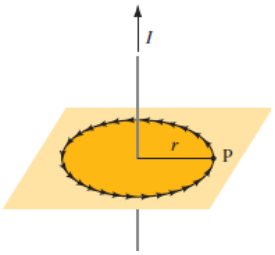
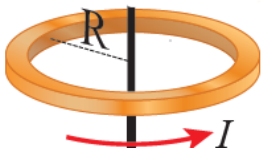
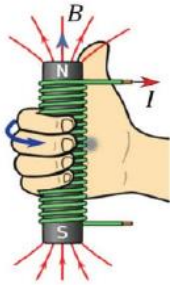
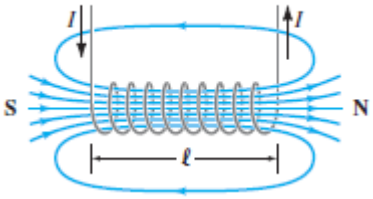
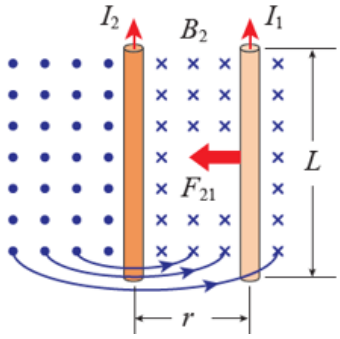


الحل:

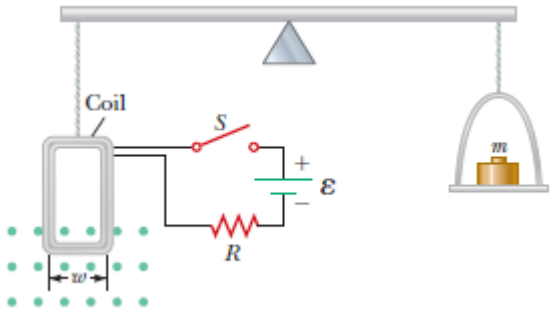
إن الجسيمات (A) التي تتجه نحو الأرض من منطقة القطب يكون اتجاهها موازيًا لخطوط المجال المغناطيسي للأرض فلا يؤثر فيها بقوة مغناطيسية ولا تنحرف فتصل إلى الأرض.

أما الجسيمات (B) القادمة نحو الأرض باتجاه عمودي على خط الاستواء تكون عمودية على خط المجال المغناطيسي فتنحرف أفقيًا بشكل موازي لسطح الأرض ولا تصل إليها.

1 القوّة المؤثرة في شحنةٍ مُتحرّكةٍ في مجالٍ مغناطيسيّ		$F_B = qvB \sin\theta$ $[F_B] = N$ (θ): بين (B) و (v)	
2 الحركة الدائريّةُ لجُسيمٍ مشحونٍ في مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتظم		$F_B = F_C = qvB = \frac{mv^2}{r}$ $\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$ $[F_B] = N$	
3 مطيافُ الكتلة		$F_B = \frac{mv^2}{r} \rightarrow r = \frac{mv^2}{F_B}$ $= \frac{mv^2}{qvB} = \frac{mv}{qB}$ $[F_B] = N$	
4 القوّة المؤثّرة في موصلٍ يحمل تيارًا في مجالٍ مغناطيسيّ		$F_B = IBL \sin\theta$ $[F_B] = N$ (θ): بين (B) و (I)	
5 العزم المؤثّر في حلقةٍ تحملُ تيّارًا في مجالٍ مغناطيسيٍّ مُنتظم		$\tau_{max} = IAB$ $\mu = I\,AN$ $[\mu] = A.m^2$ $\tau_{max} = \mu B$ $\tau = \mu B \sin\theta$ $= I\,AB\,N \sin\theta$ (θ): بين (B) و (μ) $[\tau] = N.m$	

6 المجال المغناطيسيّ الناشئ عن موصلٍ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا		$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$ $[B]=T$	
7 المجال المغناطيسيّ الناشئ عن حلقةٍ دائريّة		$B= \frac{\mu_o IN}{2R}$ $[B]=T$	
8 المجالُ الناشئُ عن ملفٍّ لولبيّ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا		$B= \frac{\mu_o IN}{l}$ $n = \frac{N}{l}$ $B = \mu_o In$ $[B]=T$	
9 القوّةُ المغناطيسيّةُ بين موصلين متوازيين	قوة تجاذب إذا كان التياران في نفس الاتجاه قوة تنافر إذا كان التياران متعاكسين في الاتجاه	$F_{21} = \frac{\mu_o I_2 I_1 L_1}{2\pi r}$ $[F]=N$ $\frac{F_{21}}{L_1} = \frac{\mu_o I_2 I_1}{2\pi r}$ $[\frac{F}{L}] = \frac{N}{m}$	

مثال1: إضافي



في الشكل المجاور ، إذا كان النظام متزن قبل غلق المفتاح (s) ، وبعد غلق المفتاح كان التيار المسحوب في الدائرة (0.300 A) ولزم (20.0 g) لجعل النظام يعود الي وضع الاتزان ، إذا علمت أن عدد لفات الملف (50 turns) و وعرض الملف (w = 5.00 cm)، احسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في الملف.

الحل:

النظام كان متزن قبل غلق المفتاح لان وزن الكفة اليمنى وهي فارغة يساوي وزن الملف ، وعند غلق المفتاح يسري تيار في الملف مع عكس عقارب الساعة ، ينتج عنه قوة مغناطيسية للأسفل حسب قاعدة اليد اليمنى تؤثر فقط في العرض (w) ، أما الجانبان الأيمن والأيسر للملف فيتأثران بقوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه محصلتهما صفر. والكتلة المضافة بعد غلق المفتاح وصولا الي وضع الاتزان تعبر عن مقدار المجال المغناطيسي ، وتحسب كما يلي:

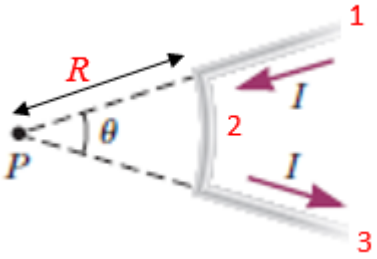
$$\sum F = 0$$

$$F_B - F_g = 0$$

$$F_B = F_g \rightarrow mg = N(IBL) \rightarrow 0.02\times 9.8 = 50\times 0.300\times 0.05\ B$$

$$B = 0.261\ \text{T}$$

مثال2: إضافي



في الشكل المجاور إذا كان التيار المار في السلك (3.00A) ، ونصف قطر القوس (0.600m) ، والزاوية التي يصنعها القوس (30°) ، جد مقدار المجال المغناطيسي واتجاهه عند النقطة (p).

الحل:

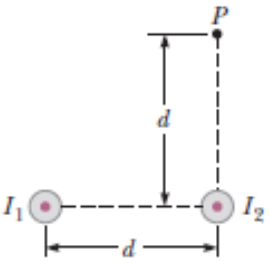
النقطة (p) على امتداد مقطع السلك المستقيم (1) و (3) ، فيكون المجال الناشئ عنهما صفر. ومقطع السلك المنحني (2) يمكن حساب المجال الناتج عنه كما يلي:

$$N = \frac{30}{360} = \frac{1}{12}\ \text{turns}$$

$$B = \frac{\mu_o IN}{2R} = \frac{4\pi\times 10^{-7}\times 3.00\times (1/12)}{2\times 0.600} = 2.62\times 10^{-7}\text{T}$$

وحسب قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه المجال عند النقطة (P) داخل الى الصفحة ($-z$) .

مثال3: إضافي



موصلين لا نهائيّيْ الطول متوازيين ، ويحملان تيّارين كهربائيّين بالاتجاه المحدد في الشكل، إذا كان التيار الأول يساوي (3.00A) والتيار الثاني يساوي (5.00A) والمسافة بينهما (*d*) تساوي (20.0cm) جد المجال المغناطيسي المحصل واتجاهه عند:

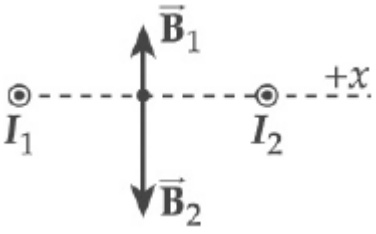
1. نقطة في منتصف المسافة بين الموصلين على امتداد الخط الواصل بينهما.

2. النقطة (*P*) الموضحة في الشكل .

الحل:

1.نقطة في منتصف المسافة بين الموصلين:

$$r_1 = r_2 = \frac{d}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm}$$

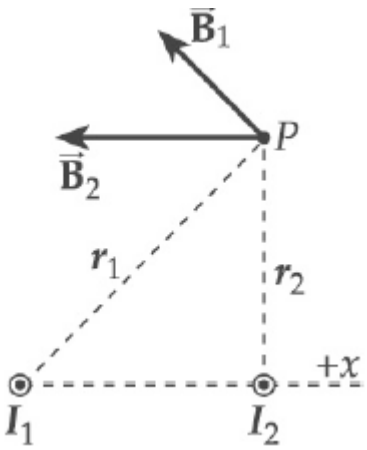


$$B_1 = \frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3}{2\pi \times 0.1} = 6\times10^{-6}\ \text{T}\ ,\ +y$$

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 0.1} = 10\times10^{-6}\ \text{T}\ ,\ -y$$

$$B_{net} = B_2 - B_1 = 10\times10^{-6} - 6\times10^{-6} = 4\times10^{-6}\ \text{T}\ ,\ -y$$

عند النقطة (P)



$$r_2 = 20\ cm$$

$$r_1 = \sqrt{(0.2)^2 + (0.2)^2} \approx 0.283 \text{ m}$$

$$B_1 = \frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3}{2\pi \times 0.283} = 2.12\times10^{-6}\ \text{T}\ ,(\ 45°\ \text{with}\ +y)$$

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 0.2} = 5\times10^{-6}\ \text{T}\ ,\ -x$$

$$\sum B_y = B_1 \cos 45° \approx 1.5 \times 10^{-6}\ \text{T}\ ,\ -y$$

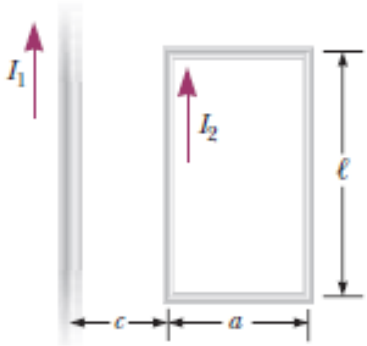
$$\sum B_x = B_1 \sin 45° + B_2 = 1.5\times 10^{-6} + 5 \times 10^{-6} = 6.5\times 10^{-6}\ ,\ -x$$

$$B_{net} = \sqrt{(\sum B_x)^2 + (\sum B_y)^2}$$

$$= \sqrt{(6.5 \times 10^{-6})^2 + (1.5 \times 10^{-6})^2} = 6.67\times10^{-6}\ \text{T}\ ,\emptyset$$

$$\emptyset = \tan^{-1}\frac{\sum B_y}{\sum B_x} = \tan^{-1}\frac{1.5\times10^{-6}}{6.5\times10^{-6}} = 13° \text{ with } -y$$

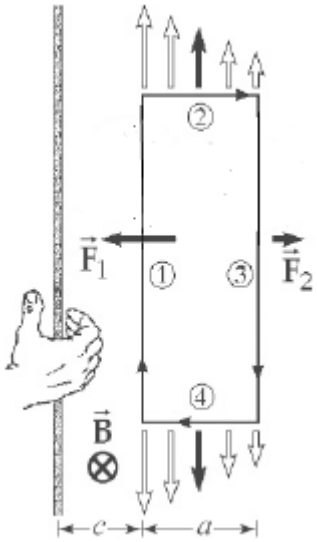
مثال4: إضافي



في الشكل المجاور ، سلك مستقيم لا نهائي الطول يحمل تيار ($I_1 = 5A$) موضوع في مستوى حلقة مستطيلة تحمل تيار ($I_2 = 10A$) ، إذا كان الأبعاد الموضحة بالشكل ($a = 0.15m$) و ($c = 0.1m$) و($l= 0.45m$) جد القوة المحصلة المؤثرة في الحلقة من المجال المغناطيسي الناشئ من السلك ، وحدد اتجاهها ؟

الحل:

المجال المغناطيسي الناشئ عن السلك عند الحلقة داخل الي مستوى الصفحة باتجاه ($-z$) ،ويؤثر بقوة عليها . القوة الناتجة عند الضلعين رقم (2) و (4) متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه فتكون محصلتهما صفر ($\sum F_y = 0$) ، اما الضلعين (1) و(3) تحسب القوة المحصلة المؤثرة عليهما كما يلي:



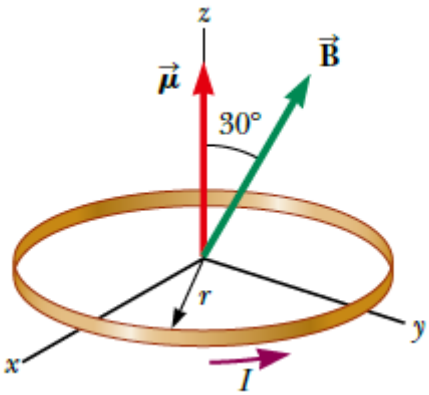
$$F_1 = \frac{\mu_o I_1 I_2 L}{2\pi r_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 10 \times 0.45}{2\pi \times 0.1} = 4.5 \times 10^{-5}\ \text{N}\ , -x$$

$$F_2 = \frac{\mu_o I_1 I_2 L}{2\pi r_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 10 \times 0.45}{2\pi \times (0.1+0.15)} = 1.8 \times 10^{-5}\ \text{N}\ , +x$$

$$F_{net} = F_1 - F_2 = 4.5 \times 10^{-5} - 1.8 \times 10^{-5} = 2.7 \times 10^{-5}\ \text{N}\ , -x$$

ويكون اتجاه القوة المحصلة باتجاه محور ($-x$)

مثال5: إضافي



حلقة دائرية نصف قطرها (r =1m) تحمل تيار مقداره (I= 2.00 A) بالاتجاه المبين في الشكل المجاور، موضوعة في مجال مغناطيسي مقداره (B= 0.500 T) يميل عن مستوى الحلقة بزاوية مقدارها (30°)، احسب

1.عزم الثناقطبي المغناطيسي.

2. العزم الذي يؤثر به المجال المغناطيسي في الحلقة .

الحل :

1.عزم الثناقطبي المغناطيسي.

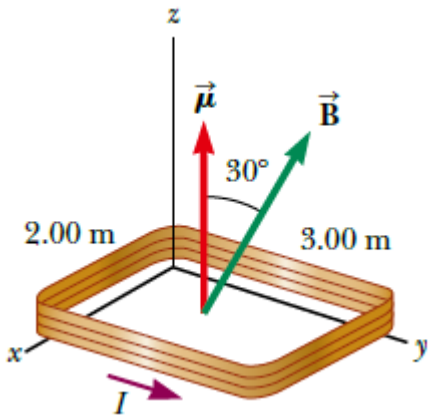
$$A = \pi r^2 = 3.14\ (1.00)^2 = 3.14\ m^2$$

$$\boldsymbol{\mu} = IAN = 2 \times 3.14 \times 1 = 6.28\ \text{A}.m^2$$

2 .العزم الذي يؤثر به المجال المغناطيسي في الحلقة.

$$\tau = \boldsymbol{\mu}\, B \sin\theta = 6.28 \times 0.500 \times \sin 30°$$
$$= 1.57\ \text{N.m}$$

مثال6: إضافي



حلقة مستطيلة أبعادها (2m×3m) وتتكون من (3) لفات و تحمل تيار مقدار(I= 2.00 A) بالاتجاه المبين في الشكل المجاور، موضوعة في مجال مغناطيسي مقداره (B=0.500 T) يميل عن مستوى الحلقة بزاوية مقدارها (30°)، احسب

1.عزم الثناقطبي المغناطيسي.

2. العزم الذي يؤثر به المجال المغناطيسي في الحلقة .

الحل :

1.عزم الثناقطبي المغناطيسي.

$A = 2\times3 = 6\ m^2$

$\boldsymbol{\mu} = IAN = 2\times6\times3 = 36\ \text{A.m}^2$

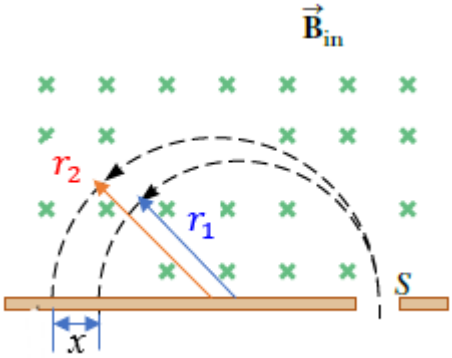
2.العزم الذي يؤثر به المجال المغناطيسي في الحلقة.

$\tau = \boldsymbol{\mu}\ B \sin\theta = 36 \times 0.500 \times \sin 30°$

$= 9\ \text{N.m}$

مثال7: إضافي

دخل جسيمان مشحونان بشحنة موجبة مقدارها ($1.6\times10^{-19}C$) وسرعة مقدارها ($1.00\times10^{6}m/s$) مجال مغناطيسي مقداره (0.100T) داخل الي الصفحة كما في الشكل المجاور ، إذا كانت كتلة الأول ($1.67\times10^{-27}kg$) وكتلة الثاني ($3.34\times10^{-27}kg$) ، احسب المسافة (x) بين الجسمين الموضحة بالشكل .



الحل :

$$r_1 = \frac{m_1 v}{qB} = \frac{1.67\times10^{-27}\times1.00\times10^{6}}{1.6\times10^{-19}\times0.100}$$

$$\approx 0.104\ \text{m}$$

$$r_2 = \frac{m_2 v}{qB} = \frac{3.34\times10^{-27}\times1.00\times10^{6}}{1.6\times10^{-19}\times0.100}$$

$$\approx 0.209\ \text{m}$$

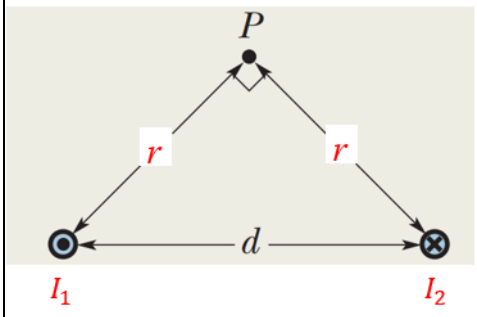
$$x = 2r_2 - 2r_1$$

$$= 2\ (0.209) - 2(0.104)$$

$$= 0.210\ \text{m}$$

مثال8: إضافي

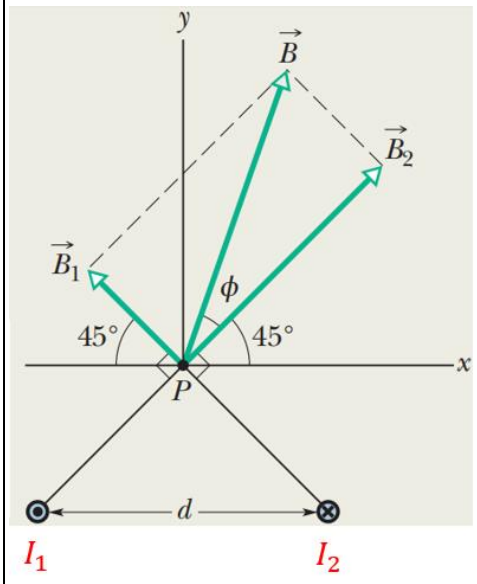
موصـــلين لا نهـائيّيْ الطول متوازيين ، ويحملان تيّـارين كهربـائيّين بالاتجاه المحدد في الشـكل، إذا كان التيار الأول يسـاوي (15A) والتيار الثاني يســاوي (32A) والمســافة بينهما (*d*) تســاوي (5.3cm) جد المجال المغناطيسـي المحصـل واتجاهه عند النقطة (*P*) الموضـحة في الشكل .



الحل:

$$\cos 45° = \frac{r}{d} \longrightarrow r = d\cos 45°$$

$$= 5.3\times10^{-2}\times 0.707 \approx 3.7\times10^{-2}\text{m}$$



$$B_1 = \frac{\mu_o I_1}{2\pi r} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times15}{2\pi\times3.7\times10^{-2}} = 8.1\times10^{-5}\text{ T},(45°\text{ with } -x)$$

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times32}{2\pi\times3.7\times10^{-2}} \approx 17.2\times10^{-5}\text{ T},(45°\text{ with } +x)$$

$$B_{net} = \sqrt{(B_1)^2 + (B_2)^2}$$

$$= \sqrt{(8.1\times10^{-5})^2 + (17.2\times10^{-5})^2}$$

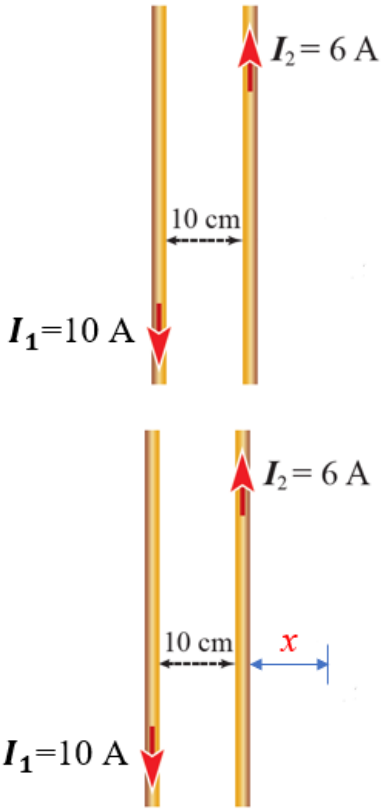
$$= 19\times10^{-5}\text{ T} \quad , (\emptyset + 45)\text{ with } +x$$

$$\emptyset = \tan^{-1}\frac{B_1}{B_2} = \tan^{-1}\frac{8.1\times10^{-5}}{17.2\times10^{-5}} \approx 25.2°$$

$$25° + 45° = 70.2°$$

$$B_{net} = 19\times10^{-5}\text{ T} \quad , 70.2°\text{ with } +x$$

مثال9: إضافي



سلكان مستقيمان لا نهائيًّا الطولِ ومتوازيان، يحملان تيّارين كهربائيّين متعاكسين كما في الشكل المجاور. حدد موقع النقطة أو النقاط التي ينعدم عندها المجال المغناطيسي .

الحلُّ:

لكي ينعدم المجال المغناطيسي (B=0) يجب أن يكون المجالان الناشئان عن الموصلين متساويان مقدارا ومتعاكسان اتجاها ،ويتحقق ذلك في المنطقة الواقعة خارج الموصلين من جهة التيار الأصغر ، وعلى بعد (x) كما في الشكل:

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2} \longrightarrow \frac{I_1}{r_1} = \frac{I_2}{r_2}$$

$$\frac{10}{x+0.1} = \frac{6}{x}$$

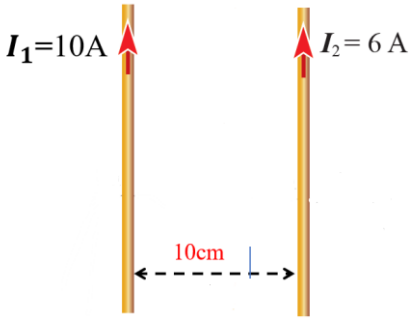
$$10x = 6x + 0.6$$

$$4x = 0.6$$

$$x = 0.15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$$

أي أن منطقة انعدام المجال المغناطيسي تبعد (15cm) عن الموصل الأقل تيارا (I_2) ، وجميع النقاط على نفس البعد ينعدم عندها المجال المغناطيسي.

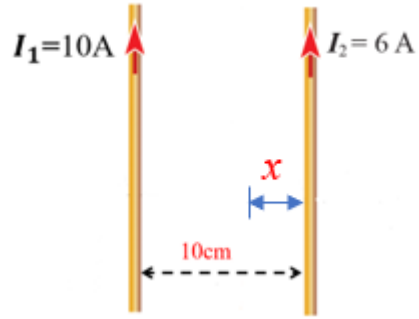
مثال10: إضافي



سلكان مستقيمان لا نهائيًّا الطولِ ومتوازيان، يحملان تيّارين كهربائيّين في نفس الاتجاه كما في الشكل المجاور. حدد موقع النقطة أو النقاط التي ينعدم عندها المجال المغناطيسي .

الحلُّ:

لكي ينعدم المجال المغناطيسي (B=0) يجب أن يكون المجالان الناشئان عن الموصلين متساويان مقدارا ومتعاكسان اتجاها ،ويتحقق ذلك في المنطقة الواقعة بين الموصلين من جهة التيار الأصغر ، وعلى بعد (x) كما في الشكل:



$$B_1 = B_2$$

$$\frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2} \longrightarrow \frac{I_1}{r_1} = \frac{I_2}{r_2}$$

$$\frac{10}{0.1-x} = \frac{6}{x}$$

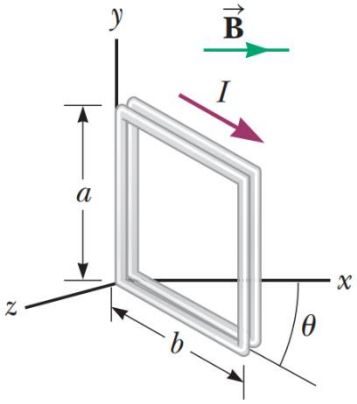
$$10x = 0.6 - 6x$$

$$16\,x = 0.6$$

$$x = 0.0375 \text{ m} = 3.75 \text{ cm}$$

أي أن منطقة انعدام المجال المغناطيسي تبعد (3.75cm) عن الموصل الأقل تيارا (I_2) ، وجميع النقاط على نفس البعد ينعدم عندها المجال المغناطيسي.

مثال11: إضافي

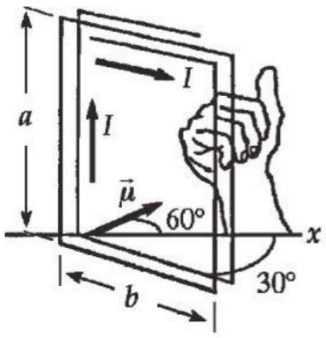


ملف مستطيل عدد لفاته (100 turns)،وأبعاده (a= 0.400m) و(b =0.300m) ، والملف قابل للحركة حول محور (y) والمستوى الذي هو فيه (x,y) يصنع زاوية مقدارها (30°) مع محور ($+x$) ، مغمور في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (0.800T) باتجاه ($+x$)ويمر في الملف تيار مقداره (1.20A) بالاتجاه الموضح في الشكل المجاور جد:

1. **مقدار العزم المؤثر في الملف .**
2. **اتجاه دوران الملف .**

الحلُّ :

1. مقدار العزم المؤثر في الملف ، لاحظ أن الزاوية بين المجال المغناطيسي و اتجاه عزم الثناقطبي المغناطيسي تساوي (60°).



$$\tau = \mu B \sin\theta = IANB \sin\varphi$$

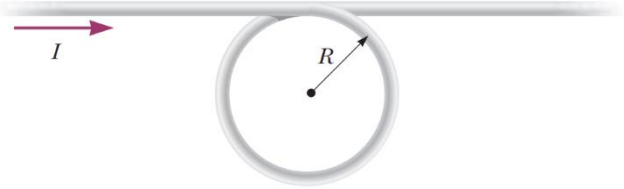
$$= 1.20(0.400\times0.300)\ (0.800)\ (100) \times\sin 60° = 9.98\ \text{N.m}$$

2. اتجاه دوران الملف .

يكون دوران الملف مع عقارب الساعة ، عند النظر اليه من الأعلى.

مثال12: إضافي

موصل يحوي حلقة دائرية نصف قطرها يساوي (15.0 cm) ، وسلك طويل لا نهائي الطول كما في الشكل المجاور ، الموصل ممدود في مستوى الصفحة ويحمل تيار مقداره (1.00A) ، جد مقدار واتجاه المجال المغناطيسي في مركز الحلقة.



الحلُّ :

لنفرض أن المجال الناتج من الحلقة (B_1) ومن الموصل المستقيم (B_2)

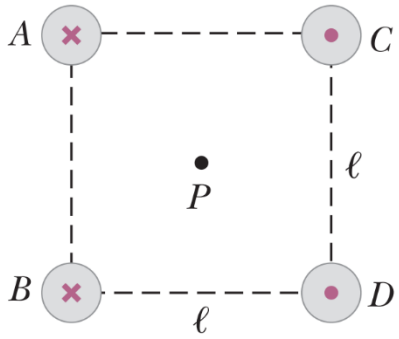
$$B_1 = \frac{\mu_o IN}{2R} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times1\times1}{2\times0.15} = 4.19\times10^{-6}\ \text{T}\ ,\ -z\ \text{(داخل الى الصفحة)}$$

$$B_2 = \frac{\mu_o I}{2\pi r} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times1}{2\pi\times0.15} = 1.33\times10^{-6}\ \text{T}\ ,\ -z\ \text{(داخل الى الصفحة)}$$

$$B = B_1 + B_2 = 4.19\times10^{-6}+1.33\times10^{-6} = 5.52\times10^{-6}\ \text{T}\ ,\ -z\ \text{(داخل الى الصفحة)}$$

مثال13: إضافي

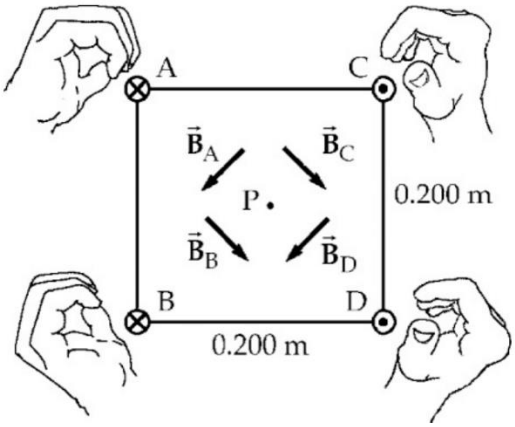
أربع موصـــلات لا نهائيات الطول يحمل كل منها التيار نفســـه و مقداره (5A) بالاتجاهات الموضـــحة بالشكل المجاور ، إذا كان طول الضلع (l) يساوي (0.200m) ، جد مقدار واتجاه المجال المغناطيسي في نقطة مثل (P) في مركز المربع .



الحلُّ :

النقطة (P) تبعد مسافة (r) يمكن حسابها كما يلي :

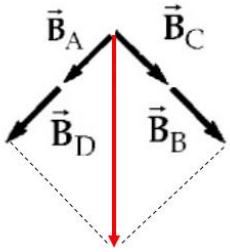
$$r=\frac{\sqrt{l^2+l^2}}{2}=\frac{\sqrt{(0.2)^2+(0.2)^2}}{2}\approx 0.14\text{m}$$



$$B=\frac{\mu_o I}{2\pi r}=\frac{4\pi\times 10^{-7}\times 5}{2\pi\times 0.14}\approx 7.14\times 10^{-6}\ \text{T}$$

وهذا المقدار يمثل المجال المغناطيسي من كل موصل ، ولحساب المجال المحصل النهائي عند النقطة (p) :

$$\begin{aligned} B_C+B_B &= 7.14\times 10^{-6}+7.14\times 10^{-6}\\ &= 14.28\times 10^{-6}\ \text{T}\ ,\ (315^\circ \text{ with } +x)\\ B_A+B_D &= 7.14\times 10^{-6}+7.14\times 10^{-6}\\ &= 14.28\times 10^{-6}\ \text{T}\ ,\ (225^\circ \text{ with } +x)\end{aligned}$$



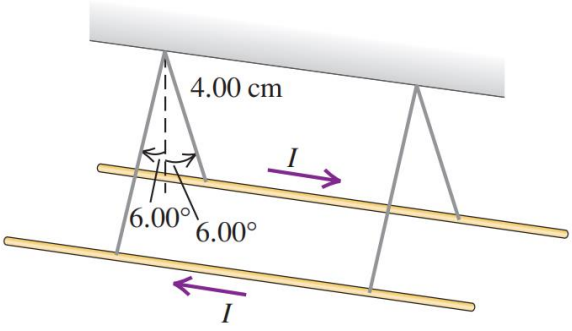
$$B_{net}=\sqrt{(B_C+B_B)^2+(B_A+B_D)^2}$$

$$=\sqrt{(14.28\times 10^{-6})^2+(14.28\times 10^{-6})^2}$$

$$=20.2\times 10^{-6}\ \text{T}\ ,\ -y$$

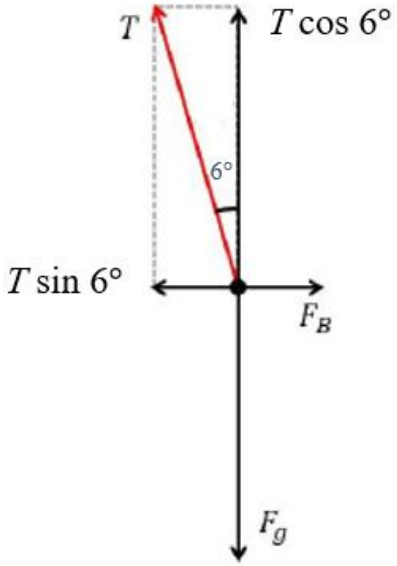
أي أن اتجاه المجال المحصل باتجاه أسفل الورقة أو باتجاه ($-y$)

مثال14: إضافي



سلكان مستقيمان لا نهائيًا الطولِ ومتوازيان، إذا علمت أنّ كتلة وحدة الأطوال من السلكين (0.0125kg/m) و يحملان تيّارين كهربائيّين متعاكسين ومتساويين وزاوية الانحراف تساوي (6°) عن الوضع العمودي عندما علق السلكان من نقطة واحدة بواسطة سلكين رفيعين مهملي الكتلة ،طول كل منهما (4cm)، كما في الشكل، احسب مقدار التيار المار في السلكين.

الحل:



$r = 2\,(4 \times \sin 6°) = 0.83$ cm

$$\frac{F_g}{l} = T\cos\theta = T\cos 6°$$

$$\frac{F_B}{l} = T\sin\theta = T\sin 6°$$

$$\frac{F_B}{F_g} = \frac{T\sin 6°}{T\cos 6°} = \tan 6°$$

$F_B = (0.105)\,F_g = 0.105\times0.0125\times10 = 0.0131$ N

$$F_B = \frac{\mu_o I^2 L}{2\pi r}$$

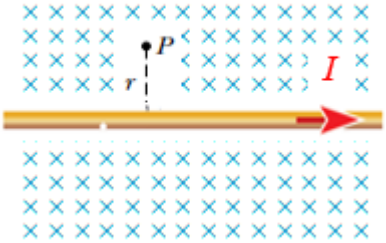
$$0.0131 = \frac{4\pi \times 10^{-7}\times I^2}{2\pi\times0.83\times10^{-2}}$$

$$0.0131 = I^2(\,2.4\times10^{-5})$$

I = 23.36 A

مثال15: إضافي (وزارة 2019) تكميلي

يمثل الشكل المجاور موصل مستقيم مغمور في مجال مغناطيسي منتظم مقداره ($4\times10^{-5}T$)، ويحمل تيار مقداره ($100A$)، جد ما يأتي:



1. **بُعد النقطة (P) عن الموصل بحيث ينعدم عندها المجال المغناطيسي.**
2. **مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في ($0.2m$) من الموصل.**

الحل:

$$B_1 = 4\times10^{-5}T\ , -z$$

$$B_2 = \frac{\mu_o I}{2\pi r}\ \ , +z$$

1. لكي ينعدم المجال المغناطيسي ($B=0$) يجب أن يكون المجالان الناشئان عن الموصلين متساويان مقدارا ومتعاكسان اتجاها ،ويتحقق ذلك في عند النقطة (P) ، وعلى بعد (r) كما في الشكل:

$$B = B_1\text{-}B_2 = 0 \rightarrow B_1 = B_2$$

$$4\times10^{-5} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times100}{2\pi\times r}$$

$$4\times10^{-5} = \frac{2\times10^{-5}}{r}$$

$$r = 0.5\ \text{m}$$

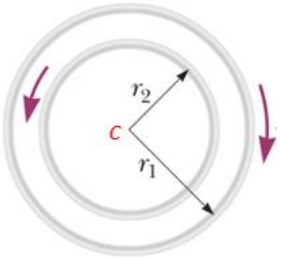
2. مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في (0.2m) من الموصل.

$$F_B = IBL\sin\theta$$

$$= 100\times4\times10^{-5}\times 0.2\times\sin 90° = 8\times10^{-4}\ \text{N}$$

مثال16: إضافي (وزارة 2019) تكميلي

ملفان دائريان متحدان في المركز يمر فيهما التيار نفسه كما في الشكل المجاور، فإن اتجاه المجال المغناطيسي عند النقطة (c).



1. **($+x$)**
2. **($-x$)**
3. **($+z$)**
4. **($-z$)**

$$B = \frac{\mu_o IN}{2R}\ , B_1 = \frac{\mu_o IN}{2r_1}, B_2 = \frac{\mu_o IN}{2r_2}$$

$$r_1 > r_2 \rightarrow B_2 > B_1$$

$$B = B_2 - B_1\ , +z$$

ملاحظة : في الملفات الدائرية المتحدة في المركز وتحمل نفس مقدار التيار الكهربائي فان اتجاه المجال المغناطيسي المحصل عند المركز يكون دائما باتجاه مجال الملف الأقل نصف قطر .

مثال17: إضافي (وزارة 2019) تكميلي

ملف لولبي يتكون من (100 turns)، ويمر فيه تيار كهربائي (4A)أمبير، إذا علمت أن طول الملف (10π cm) ، أجب عمّا يأتي:

1. **احسب المجال المغناطيسي داخل الملف.**
2. **كيف سيتأثر المجال المغناطيسي المتولد عند نقطة تقع على محور الملف اللولبي وبعيداً عن طرفيه عند إنقاص طوله مع ثبات عدد لفاته.**
3. **بماذا يمتاز المجال المغناطيسي الناشئ عن الملف اللولبي مقارنة بالمجال المغناطيسي للمغناطيس المستقيم؟**

الحل:

1. المجال المغناطيسي داخل الملف.

$$B=\frac{\mu_o IN}{l}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times4\times100}{10\,\pi\times10^{-2}}=16\times10^{-4}\text{T}$$

2. إنقاص طول الملف يعمل على زيادة المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي.
3. يمتاز بإمكانية التحكم في (مقدار واتجاه) المجال المغناطيسي عن طريق التحكم في التيار المار فيه.

مثال18: إضافي (وزارة 2019) تكميلي

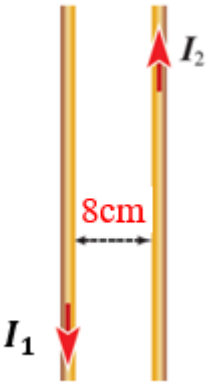
أي ممّا يأتي يعبر عن وحدة التسلا (T).

أ. $\frac{N.m}{C}$ ب. $\frac{N.s}{C\,.\,m}$ ج. $\frac{N.s}{C}$ د. $\frac{N}{C\,.\,m}$

$$1\text{T}=1\,\frac{N}{C\,.\,m/s}=1\,\frac{N.s}{C\,.\,m}=1\,\frac{N}{A\,.m}\ ,\ (\frac{C}{s}=\text{A})$$

الجواب الصحيح : ب. $\frac{N.s}{C\,.\,m}$

مثال19: إضافي(وزارة 2019)



تتحرك إلكترونات عددها ($7.5\times10^{20}e$) في موصل مستقيم خلال (3s) فيتولّد فيه تيار.إذا وضع الموصل على بُعد (8cm) من موصل مستقيم آخر موازٍ له، ويمر فيه تيار كهربائي (40A)، والتياران في الموصلين في اتجاهين متعاكسين، وإذا علمت أن شحنة الإلكترون ($1.6\times10^{-19}C$)، جد مقدار المجال المغناطيسي المحصل عن نقطة تقع في منتصف المسافة بين الموصلين.

الحل:

$$I_1 = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{7.5\times10^{20}\times1.6\times10^{-19}}{3} = 40\ \text{A}$$

$$I_2 = 40\ \text{A}$$

$$B = B_1 + B_2$$

$$= \frac{\mu_o I_1}{2\pi r_1} + \frac{\mu_o I_2}{2\pi r_2} = 2\,\frac{\mu_o I}{2\pi r}$$

$$= 2\left(\frac{4\pi\times10^{-7}\times40}{2\pi\times4\times10^{-2}}\right) = 40\times10^{-5}\text{T}\ ,\ +z$$

مثال20: إضافي (وزارة 2019)

ملف دائري قطره (12 cm)، يمر فيه تيار كهربائي (I). يولّد مجالاً مغناطيسي عند مركزه، أُبعدت لفاته عن بعضها بانتظام في اتجاه محوره ليصبح ملفاً لولبياً يمر فيه التيار الكهربائي نفسه، فأصبح المجال المغناطيسي عند نقطة تقع داخل الملف اللولبي على محوره يساوي نصف مقدار المجال المغناطيسي عند مركز الملف الدائري. احسب طول الملف اللولبي .

الحل:

$$B_{C(\text{دائري})} = \frac{\mu_o IN}{2R}$$

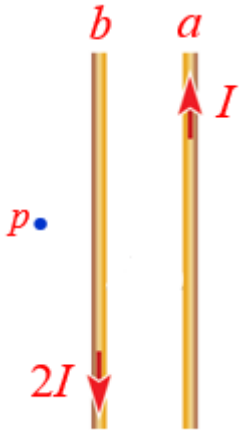
$$B_{H(\text{لولبي})} = \frac{\mu_o IN}{l}$$

$$B_{C(\text{دائري})} = 2\,B_{H(\text{لولبي})}$$

$$\frac{\mu_o IN}{2R} = 2\,\frac{\mu_o IN}{l}$$

$$\frac{1}{2R} = 2\,\frac{1}{l}$$

$$\frac{1}{2\times6\times10^{-2}} = \frac{2}{l} \rightarrow l = 24\times10^{-2}\text{m} = 24\ \text{cm}$$



مثال21: إضافي (وزارة 2019) الدورة الصيفية

في الشكل المجاور، عند تحريك الموصل (a) مبتعداً عن الموصل (b) فإن المجال المغناطيسي عند النقطة (p).

أ. يقل ب. يزداد ج. ينعدم د. لا يتغير

المجال الناتج من السلك (b) عند النقطة (p) داخل الى الصفحة ($-z$) والمجال الناتج من السلك (a) عند نفس النقطة خارج من الصفحة ($+z$) ، وبما أن المجالان متعاكسان والمجال الناتج من السلك (b) اكبر ، تكون المحصلة للمجالين باتجاه مجال (b) ، وعند ابتعاد السلك (a) يقل مجاله عند النقطة (p) ويزداد المجال المحصل عندها .

مثال22: إضافي (وزارة 2019) الدورة الشتوية

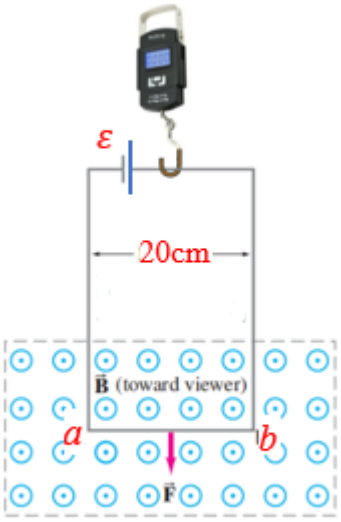
جُسيم مشحون بشحنه سالبة، يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم باتجاه يوازي اتجاه المجال، فإذا أصبح المجال المغناطيسي مثلي ما كان عليه، فإن مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في هذا الجُسيم:

أ .يقل إلى النصف ب . يتضاعف أربع مرات ج . يتضاعف مرتين د . صفر أ

بما أن المجال موازي لحركة الجسيم تكون القوة المؤثرة عليه تساوي صفر.

مثال23: إضافي (وزارة 2019) تكميلي

موصل مستقيم طوله (20cm)، ومساحة مقطعه ($3\times10^{-8}\mathrm{m}^2$) ومقاوميته ($4.5\times10^{-6}\ \Omega.\mathrm{m}$)، وُصِل في دارة مغلقة مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية (ε) وعُلّق في ميزان نابض فكانت قراءته (0.1 N). وعندما غُمر في مجال مغناطيسي منتظم (0.5T) بالاتجاه الموضّح في الشكل المجاور، أصبحت قراءة الميزان النابض صفراً. احسب القوة الدافعة الكهربائية (ε).



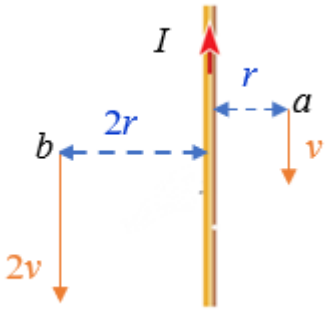
الحل:

الجزء الذي يتأثر بالمجال المغناطيسي من الموصل هو (ab) ، والقوة تؤثر عليه للأعلى، ويخسر من وزنه بمقدار القوة التي يتأثر بها من المجال المغناطيسي .

$$F_B = IBL\sin\theta$$
$$0.1 = I\times0.5\times20\times10^{-2}\sin 90°$$
$$I = 1\mathrm{A}\ ,-x$$
$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{4.5\times10^{-6}\times20\times10^{-2}}{3\times10^{-8}} = 30\ \Omega$$

$$V_a + \sum\Delta v = V_a$$
$$\sum\Delta v = V_a - V_a = 0$$
$$\varepsilon - IR = 0$$
$$\varepsilon = IR$$
$$= 1\times30 = 30\ \mathrm{V}$$

مثال24: إضافي (وزارة 2018) الدورة الصيفية



يبيّن الشكل المجاور موصل مستقيم يحمل تياراً كهربائياً (I) ،يمر بروتون من النقطة (a) بسرعة (v) ، ويمر بروتون آخر من النقطة (b) بسرعة (2v)،أي العلاقات الآتية صحيحة فيما يتعلق بالقوّة المغناطيسية المؤثرة في كل من البروتونين:

أ. $F_a = \frac{1}{2}F_b$ ب. $F_a = F_b$ ج. $F_a = 2F_b$ د. $F_a = 4F_b$

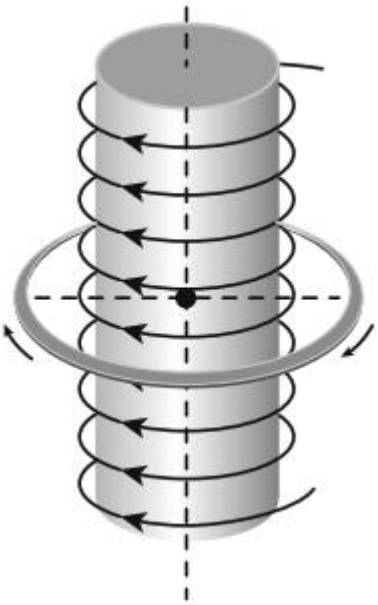
الحل:

$$B_a = \frac{\mu_o I}{2\pi r} \quad , \quad F_a = qvB_a \sin\theta$$

$$B_b = \frac{\mu_o I}{2\pi(2r)} = \frac{B_a}{2} \quad , \quad F_B = q(2v)\left(\frac{B_a}{2}\right)\sin\theta = qvB_a \sin\theta$$

$$\therefore F_a = F_b$$

مثال25: إضافي (وزارة 2018) الدورة الصيفية



يبيّن الشكل المجاور ملف دائري عدد لفاته (500 turns) ، ونصف قطره (20cm) والتيار المار فيه (4A)، ينطبق مركزه مع محور ملف لولبي طوله (40cm) وعدد لفاته (100 turns)، إذا علمت أن المجال المغناطيسي المُحصل عند المركز (c) يساوي ($25\pi\times10^{-4}$T)، احسب التيار الكهربائي (I) المار في الملف اللولبي.

$$B_{c(\text{دائري})} = \frac{\mu_o IN}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7}\times4\times500}{2\times20\times10^{-2}} = 20\,\pi\times10^{-4}\ \text{T}$$

$$B = B_{c(\text{دائري})} + B_{H(\text{لولبي})}$$

$$25\pi\times10^{-4} = 20\,\pi\times10^{-4} + B_{H(\text{لولبي})}$$

$$B_{H(\text{لولبي})} = 25\pi\times10^{-4} - 20\,\pi\times10^{-4} = 5\,\pi\times10^{-4}\text{T}$$

$$B_{H(\text{لولبي})} = \frac{\mu_o IN}{l}$$

$$5\,\pi\times10^{-4} = \frac{4\pi \times 10^{-7}\times I\times100}{40\times10^{-2}}$$

$$5\times10^{-4} = 1\times10^{-4} I$$

$$I = 5\text{A}$$

مثال26: إضافي (وزارة 2018) الدورة الشتوية

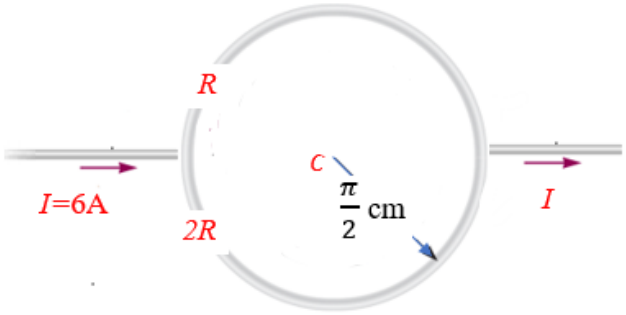
يمتاز المجال المغناطيسي الناشئ عن التيار الكهربائي المار في ملف لولبي عن المجال المغناطيسي لمغناطيس مستقيم بإمكانية التحكم في:

أ. المقدار فقط **ب. كثافة خطوطه فقط** **ج. الاتجاه فقط** **د. المقدار والاتجاه**

الجواب الصحيح : د. المقدار والاتجاه

مثال27: إضافي (وزارة 2017) الدورة الشتوية

يُمثل الشكل المجاور حلقة فلزية دائرية تتكون من لفة واحدة. فإذا علمت أن المقاومة الكهربائية للنصف السفلي من الحلقة يساوي مثلي المقاومة الكهربائية للنصف العلوي منها. وبالاعتماد على الشكل وبياناته، احسب:



1. **المجال المغناطيسي عند مركز الحلقة.**
2. **القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية مقدارها $(3\times10^{-6}C)$ تتحرك بسرعة $(40m/s)$ نحو الشرق لحظة مرورها بمركز الحلقة وحدّد اتجاهها.**

الحل:

1. بما أن المقاومة السفلية تساوي مثلي المقاومة العلوية فإن التيار السفلي يساوي نصف التيار العلوي أي أن:

$$I_{\text{العلوي}} = 4\text{A}$$
$$I_{\text{السفلي}} = 2\text{A}$$

$$B_{\text{العلوي}} = \frac{\mu_o IN}{2R} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times4\times\frac{1}{2}}{2\times\frac{\pi}{2}\times10^{-2}} = 8\times10^{-5}\ \text{T}\ ,\ -z$$

$$B_{\text{السفلي}} = \frac{\mu_o IN}{2R} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times2\times\frac{1}{2}}{2\times\frac{\pi}{2}\times10^{-2}} = 4\times10^{-5}\ \text{T}\ ,\ +z$$

$$B = B_{\text{العلوي}} - B_{\text{السفلي}}$$
$$= 8\times10^{-5} - 4\times10^{-5} = 4\times10^{-5}\text{T}\ ,\ -z \text{ (أي داخل الى الصفحة)}$$

2. القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة .

$$F_B = qvB\sin\theta$$
$$= 3\times10^{-6}\times40\times4\times10^{-5}\sin 90°$$
$$= 4.8\times10^{-9}\ \text{N}\ ,\ +x \text{ (أي للأعلى)}$$

مثال28: إضافي (وزارة 2018) الدورة الشتوية

موصلان مستقيمان متوازيان طويلان تفصلهما في الهواء مسافة (5cm)، والقوة المتبادلة بين الموصلين لوحدة الأطوال منهما $(8\times10^{-5}N/m)$، فإذا كان التيار الكهربائي المار في أحدهما (10A) فإن التيار المار في الموصل الآخر بوحدة الأمبير يساوي:

أ. 2 ب. 5 ج. 6 د. 10

الحل:

$$\frac{F}{L}=\frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi r}$$

$$8\times10^{-5}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times10\times I_2}{2\pi\times5\times10^{-2}}=$$

$$8=I_2\times 4$$

$$I_2=2\ \text{A}$$

الجواب الصحيح : أ . 2