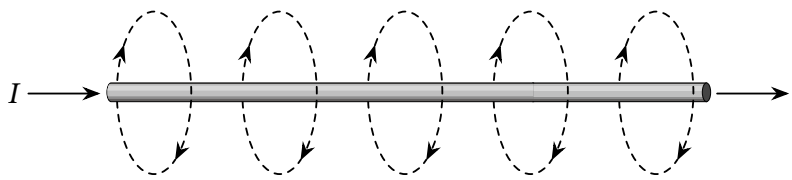
شارح: المجال المغناطيسي الناتج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نحسب شدة المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم.

نعلم أن الشحنة المتحرِّكة أو التيار يُنتِج مجالًا مغناطيسيًا. ويوضِّح الشكل الآتي مقطعًا طويلًا من سلك مستقيم يمرُّ به التيار I. ونظرًا لوجود تيار في السلك، يَنتُج مجال مغناطيسي حول السلك على شكل دوائر مُغلَقة متَّحِدة المركز، كما هو ممثَّل بالحلقات الرمادية في الشكل.



يُمكن إيجاد شدة المجال المغناطيسي الناتِج B، عند المسافة d، من السلك باستخدام المعادلة الموضَّحة.

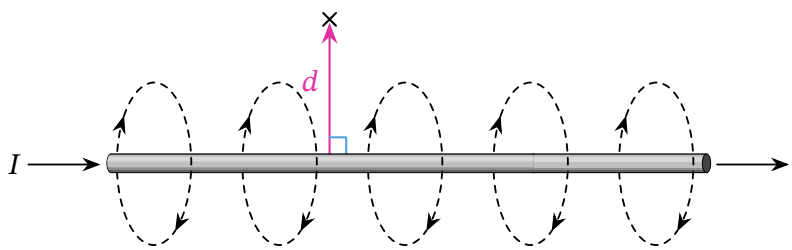
شدَّة المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم

يُمكن إيجاد شدَّة المجال المغناطيسي B، عند المسافة d، من سلك مستقيم يمرُّ به التيار I، باستخدام المعادلة:

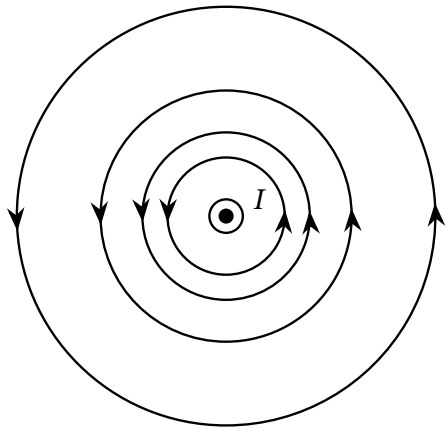
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d},$$

حيث μ_0 ثابت يُعرَف باسم «نفاذية الفراغ»، وقيمته $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{T}\cdot\text{m/A}$.

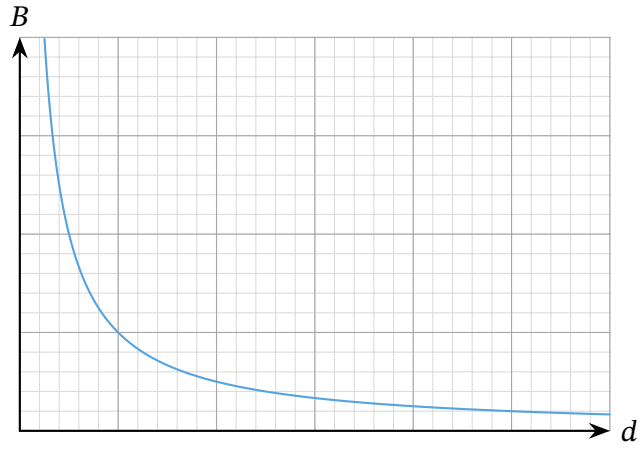
تنبغي الإشارة إلى أن المسافة d يجب أن تُقاس عموديًّا على السلك. ويوضِّح الشكل الآتي قياس مسافة عمودية.



تقلُّ شدة المجال B، عندما تزيد المسافة d من السلك. وهذا موضَّح في الشكل الآتي الذي يعرض مقطعًا لسلك مستقيم يمرُّ به تيار. وتنبغي الإشارة إلى أن النقطة الموجودة في مركز السلك تُشير إلى أن التيار يتَّجِه إلى خارج الشاشة، وعموديًّا عليها.



تُشير المساحات التي تكون فيها خطوط المجال أقرب بعضها إلى بعض إلى مناطق تكون فيها شدَّة المجال أقوى. وعلى الرغم من توضيح بعض خطوط المجال فقط في الشكل السابق، إلا أن هذا المجال موجود فعليًّا بشكل لا نهائي على امتداد السلك. ولكن تكون شدة المجال صغيرة بدرجةٍ لا تُذكَر عندما نكون عند مسافة بعيدة للغاية. وذلك لأن المسافة d تُوجَد في مقام معادلة شدَّة المجال المغناطيسي؛ ومن ثَمَّ يتناسب B وd تناسبًا عكسيًّا، وتقترب شدة المجال المغناطيسي من الصفر عندما تقترب d من ما لا نهاية. ويوضِّح التمثيل البياني الآتي هذا التناسب.



لنتدرَّب على استخدام معادلة المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم.

مثال ١: حساب المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم

يمرُّ تيار مستمر شدَّته 100 A في كبل طويل مستقيم في محطة طاقة صناعية. احسب شدَّة المجال المغناطيسي الناتِج على بُعد مسافة عمودية مقدارها 0.06 m من هذا الكبل. استخدِم $4\pi \times 10^{-7}\ \text{T·m/A}$ لقيمة μ_0. اكتب إجابتك بالصيغة العلمية، لأقرب منزلتين عشريتين.

الحل

أولًا: دعونا نتذكَّر معادلة إيجاد شدَّة المجال المغناطيسي على بُعد مسافة مقدارها d من سلك مستقيم يمرُّ به التيار I:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}.$$

بما أن لدينا قِيَم μ_0، I، d، فنحن مستعدُّون للتعويض بها وإيجاد شدَّة المجال المغناطيسي، B. ومن ثَمَّ نحصل على:

$$B = \frac{(4\pi \times 10^{-7}\ \text{T·m/A})\,(\text{A})}{2\pi\,(0.06\ \text{m})}.$$

يُمكننا تبسيط هذه العملية الحسابية بحذْف بعض الحدود والوحدات. سنحذف وحدة المتر؛ لأن m يُوجَد في البسط والمقام. يحتوي البسط على A/1، A؛ لذا ستُحذَف وحدة الأمبير أيضًا. وهذا يُبقِي لنا وحدة شدة المجال المغناطيسي فقط؛ التسلا. يُمكننا بعد ذلك حذْف 2π من البسط والمقام، وهو ما يُعطينا:

$$B = \frac{(2 \times 10^{-7}\ \text{T})\,(100)}{0.06} = 3.333 \times 10^{-4}\ \text{T}.$$

بالتقريب لأقرب منزلتين عشريتين، تكون الإجابة $3.33 \times 10^{-4}\ \text{T}$.

بالإضافة إلى استخدام القِيَم الدقيقة لحساب شدَّة المجال، يُمكننا استخدام معادلة المجال المغناطيسي لاستكشاف المزيد من المفاهيم.

مثال ٢: إيجاد النسبة بين شدَّة مجالين مغناطيسيين ناتِجين عن تيار يمرُّ في سلكين مستقيمين

يمرُّ تيار مستمر في سلك طويل مستقيم، فيُنتِج مجالًا مغناطيسيًّا شدَّته تسلا B_1 على بُعد مسافة d cm عموديًّا على السلك. بافتراض عدم تغيُّر النظام، ما العلاقة بين B_1 وشدَّة المجال المغناطيسي B_2 على بُعد مسافة $2d$ cm عموديًّا على السلك؟ افترض أن B_1، B_2 أكبر بكثير من شدَّة المجال المغناطيسي للأرض.

أ. $B_2 = \frac{1}{4}B_1$

ب. $B_2 = \frac{1}{2}B_1$

جـ. $B_2 = B_1$

د. $B_2 = 2B_1$

هـ. $B_2 = 4B_1$

الحل

لنبدأ بتذكُّر معادلة إيجاد شدَّة المجال المغناطيسي على بُعد مسافة من سلك مستقيم يمرُّ به تيار:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}.$$

لدينا هنا قيمتان لشدَّة المجال، B_1، B_2، مقيستان على بُعد مسافتين سنسمِّيهما d_1، d_2، على الترتيب. علمنا أن جميع خواص النظام الأخرى ثابتة؛ ومن ثَمَّ تكون الكمية $\frac{\mu_0 I}{2\pi}$ ثابتة في الحالتين. يُمكننا كتابة نسبة لربط هذه القِيَم:

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{d_2}{d_1}.$$

بالمقارنة بين المسافات المَقيسة من السلك، نعرف أن d_2 ضِعْف d_1؛ لذا:

$$d_2 = 2d_1.$$

بالتعويض بذلك في المعادلة السابقة، نحصل على:

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{2d_1}{d_1}.$$

يُمكننا الآن حذْف d_1 من الطرف الأيمن من المعادلة:

$$\frac{B_1}{B_2} = 2.$$

بإيجاد B_2، نحصل على:

$$B_2 = \frac{1}{2}B_1.$$

إذن شدَّة المجال المغناطيسي B_2 مَقِيسة على مسافة من السلك تساوي ضِعْف المسافة التي قيس منها B_1، وشدَّته تساوي نصف شدَّة B_1. إذن الخيار (ب) هو الصحيح.

مثال ٣: حساب شدَّة التيار في سلك مستقيم بمعلومية شدَّة المجال المغناطيسي

يمرُّ تيار شدَّته I A في سلك مستقيم في دائرة كهربية. شدَّة المجال المغناطيسي الناتِج على بُعد 18 mm عموديًّا من السلك تساوي 1.2×10^{-4} T. احسب I، لأقرب أمبير. استخدم $4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A لقيمة μ_0.

الحل

أُعطينا هنا شدَّة المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم، وطُلِب منَّا إيجاد قيمة شدَّة التيار. يُمكننا البدء بتذكُّر معادلة شدَّة المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}.$$

لإيجاد قيمة شدَّة التيار I، سنضرب طرفي المعادلة في $\frac{2\pi d}{\mu_0}$. فنحصل على:

$$I = \frac{2\pi d B}{\mu_0}.$$

قبل مُتابعة الحلِّ، سنحوِّل المسافة إلى وحدة المتر؛ لأنها مُعطاة بوحدة المليمتر. نحن نعرف أن $d = 18\ \text{mm} = 0.018\ \text{m}$.

والآن بالتعويض بجميع القِيَم، نحصل على:

$$I = \frac{2\pi\,(0.018\ \text{m})\,(1.2 \times 10^{-4}\ \text{T})}{4\pi \times 10^{-7}\ \text{T·m/A}} = 10.8\ \text{A}.$$

بالتقريب لأقرب أمبير نَجِد أن شدَّة التيار المار في السلك تساوي 11 A.

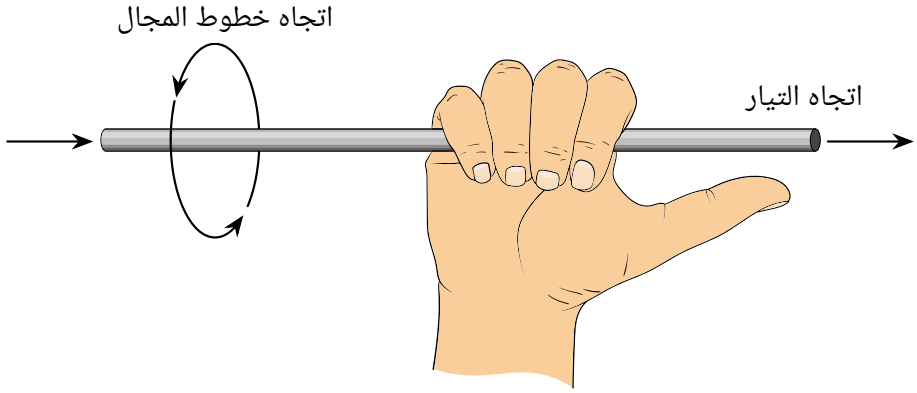
لم نُناقِش حتى الآن سوى مقدار المجال المغناطيسي أو شدَّته الناتِجة عن مرور تيار في سلك. لكن يجب أن نتذكَّر أن المجال المغناطيسي كمية متجهة؛ أيْ إنه يُعرَّف باستخدام مقدار واتجاه. سنستخدم قاعدة اليد اليُمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي، كما هو موضَّح فيما يأتي.

قاعدة: قاعدة اليد اليُمنى للمجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم

لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم، اتبع الخطوات الآتية:

١. باستخدام اليد اليُمنى، وجِّه الإبهام إلى اتجاه التيار.
٢. «أمسك» السلك بلفِّ بقية الأصابع حول محوره الافتراضي. إذن يكون الاتجاه الذي تلتفُّ فيه الأصابع مناظرًا لاتجاه المجال المغناطيسي.

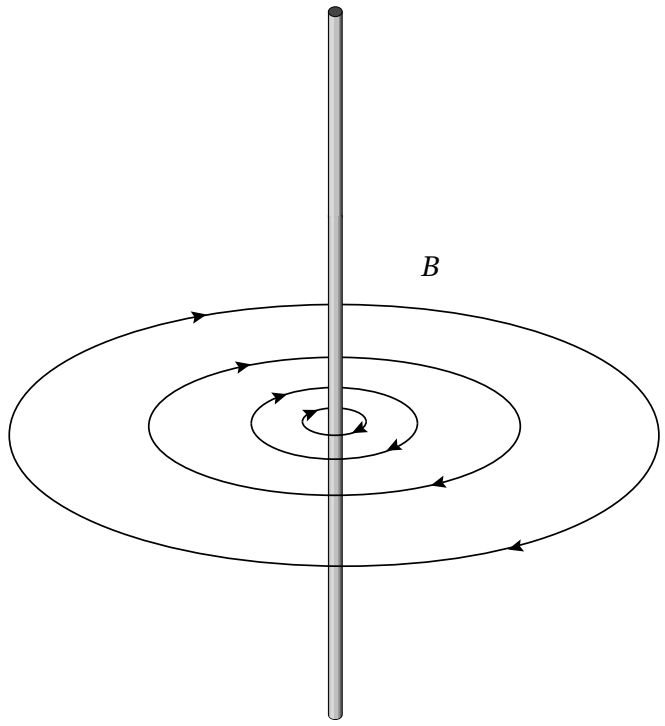
يوضِّح الشكل الآتي كيفية استخدام اليد اليُمنى للالتفاف حول محور السلك. لاحِظ كيف يُشير الإبهام إلى اتجاه التيار، وكيف أن الأصابع تلتفُّ في نفس اتجاه المجال المغناطيسي.



سنتدرَّب على استخدام قاعدة اليد اليُمنى في المثال الآتي.

مثال ٤: استخدام قاعدة اليد اليُمنى للمجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم

سلك طويل مستقيم يمرُّ به تيار شدَّته ثابتة I، يُنتِج المجال المغناطيسي B. خطوط المجال المغناطيسي B موضَّحة في الشكل. بناءً على الشكل، اذكر اتجاه التيار الاصطلاحي في السلك.



الحل

تذكَّر أن الشحنات المتحرِّكة تُنتِج مجالًا مغناطيسيًّا، وأن اتجاه التيار المار في السلك يُمكن تحديده باستخدام قاعدة اليد اليُمنى. ولفعل ذلك، استخدِم اليد اليُمنى «للإمساك» بالسلك؛ بحيث يُشير الإبهام إلى اتجاه التيار. وبعد ذلك، لفَّ بقية الأصابع لتشكِّل قبضةً، ويكون الاتجاه الذي تلتفُّ فيه الأصابع هو اتجاه المجال المغناطيسي الناتِج.

لمعرفة إذا ما كان التيار يمرُّ من الأسفل إلى الأعلى، نوجِّه الإبهام لأعلى ونلفُّ الأصابع. وفي هذه الحالة، كما هو موضَّح سابقًا (كما في الشكل)، يكون اتجاه المجال المغناطيسي في عكس اتجاه عقارب الساعة. وهذا يُخالِف ما يوضِّحه الشكل؛ ولذا نعلم أن التيار لا يمرُّ من الأسفل إلى الأعلى.

يُمكننا التحقُّق من أن التيار يمرُّ بالفعل من الأعلى إلى الأسفل بتوجيه الإبهام لأسفل باستخدام اليد اليُمنى. كما في الشكل، وكما هو موضَّح فيما سبق، تلتفُّ الأصابع (ومن ثَمَّ المجال المغناطيسي) في اتجاه عقارب الساعة.

إذن يمرُّ التيار في السلك من الأعلى إلى الأسفل.

وبذلك نكون قد رأينا كيف نُوجِد مقدار المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم، ونحدِّد اتجاهه. لنختم حديثنا بتلخيص بعض المفاهيم المُهِمَّة.

النقاط الرئيسية

- يُنتِج السلك الطويل المستقيم الذي يمرُّ به تيار مجالًا مغناطيسيًّا على شكل دوائر مُغلَقة متَّحِدة المركز، وتُعطَى شدَّة هذا المجال المغناطيسي بالعلاقة: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$.
- تتناسَب شدة المجال المغناطيسي B تناسُبًا عكسيًّا مع المسافة d التي تبعدها عن السلك. ومن ثَمَّ تنخفض شدَّة المجال إلى الصفر عندما يصبح d كبيرًا للغاية.
- يُمكننا تحديد اتجاه المجال المغناطيسي باستخدام قاعدة اليد اليُمنى: وجِّه الإبهام إلى اتجاه التيار، ولفَّ الأصابع كما لو أنها تُمسك السلك. فيكون الاتجاه الذي تلتفُّ فيه الأصابع مناظرًا لاتجاه المجال المغناطيسي.