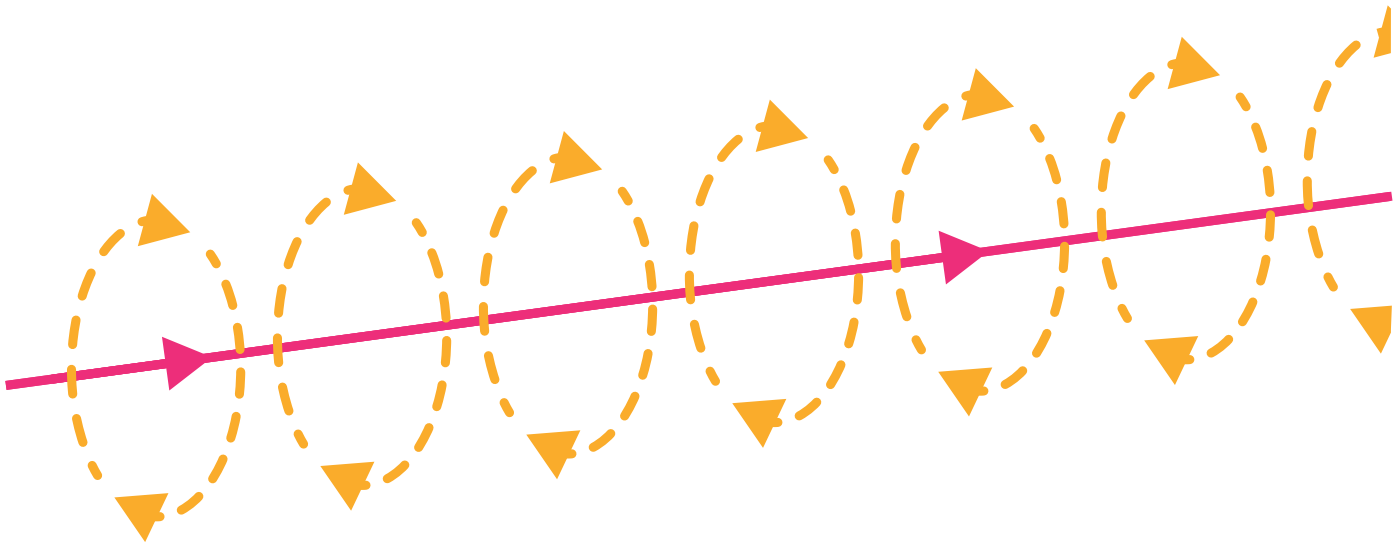
المجال المغناطيسي الناتج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم



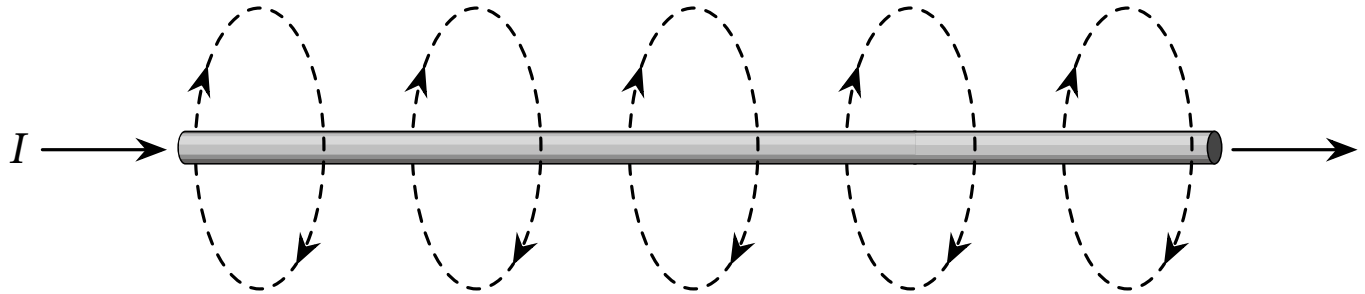
أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- استخدام المعادلة $B = \frac{\mu I}{2\pi d}$ لإيجاد شدة المجال المغناطيسي على بعد مسافة d من سلك طويل مستقيم يمرُّ به تيار شدته I
- معرفة أن شدة المجال المغناطيسي الناتج عن سلك يمرُّ به تيار تتناسب عكسيًّا مع المسافة من السلك: $B \propto \frac{1}{d}$
- استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي عند نقطة والناتج عن سلك طويل مستقيم

المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم

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

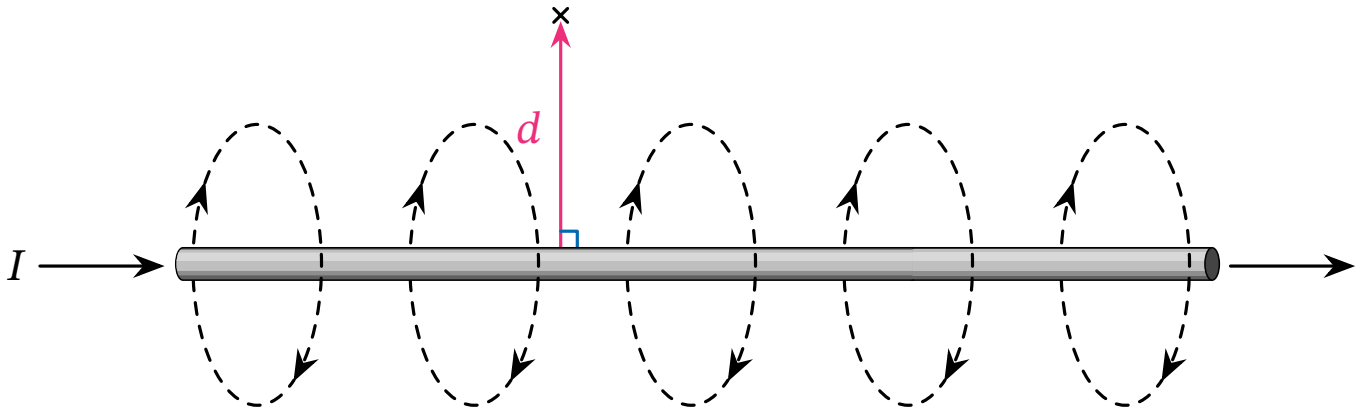


شدَّة المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم

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

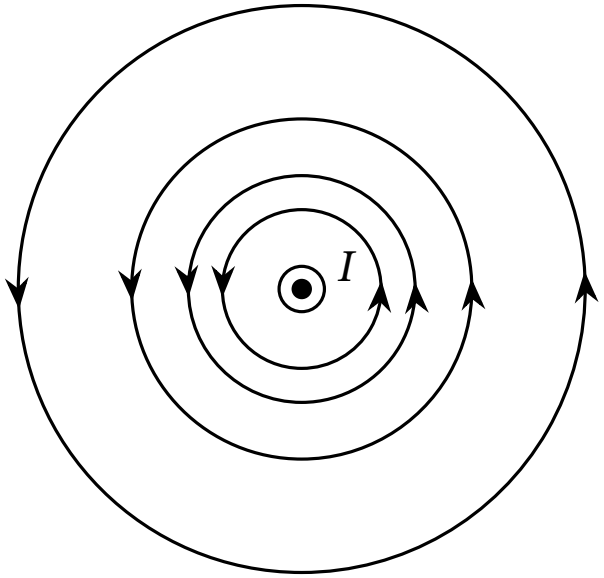
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d},$$

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



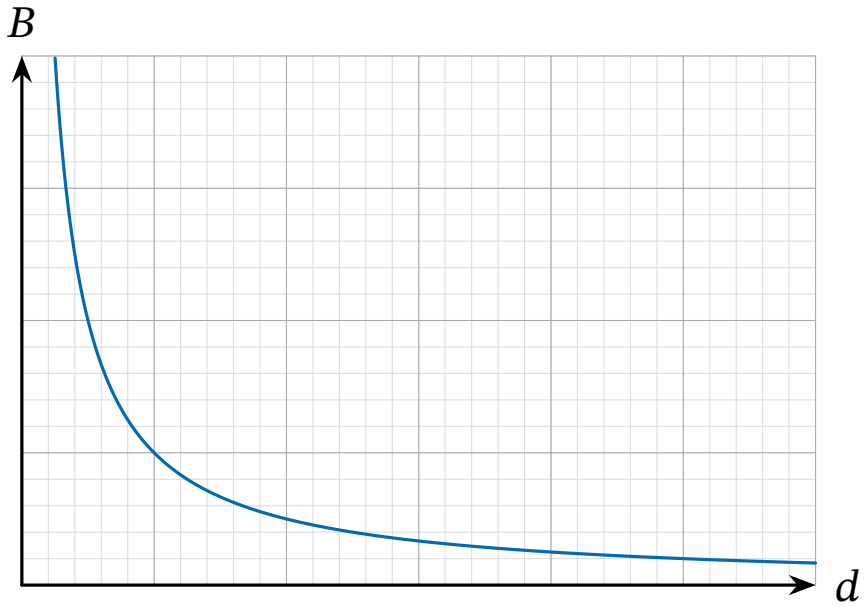
تنبغي الإشارة إلى أن المسافة d يجب أن تُقاس عموديًّا على السلك. ويوضِّح الشكل الآتي قياس مسافة عمودية.

اعتماد المجال المغناطيسي على المسافة



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.

اعتماد المجال المغناطيسي على المسافة (متابعة)



إن 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.

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

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

الحل

باستخدام قانون شدَّة المجال المغناطيسي الناتج عن تيار يمر في سلك مستقيم، يكون لدينا:

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

ثم نقوم بالتعويض في هذا القانون:

$$\begin{aligned} B &= \frac{\left(4\pi \times 10^{-7}\,\text{T}\cdot\text{m/A}\right)(\text{A})}{2\pi(0.06\,\text{m})} \\ &= \frac{\left(2 \times 10^{-7}\,\text{T}\right)(100)}{0.06} = 3.333 \times 10^{-4}\,\text{T}. \end{aligned}$$

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

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 B_1 تسلا على بُعد مسافة $d\,\text{cm}$ عموديًّا على السلك. بافتراض عدم تغيُّر النظام، ما العلاقة بين B_1 وشدَّة المجال المغناطيسي B_2 على بُعد مسافة $2d\,\text{cm}$ 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. $B_2 = \frac{1}{2}B_1$

ج. $B_2 = B_1$

د. $B_2 = 2B_1$

هـ. $B_2 = 4B_1$

مثال ٢ (متابعة)

الحل

نتذكَّر المعادلة:

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

ومن ثَمَّ:

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

وفي السؤال، $d_2 = 2d_1$؛ لذا:

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

إذن:

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

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

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

الحل

نتذكَّر المعادلة:

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

ومن ثَمَّ:

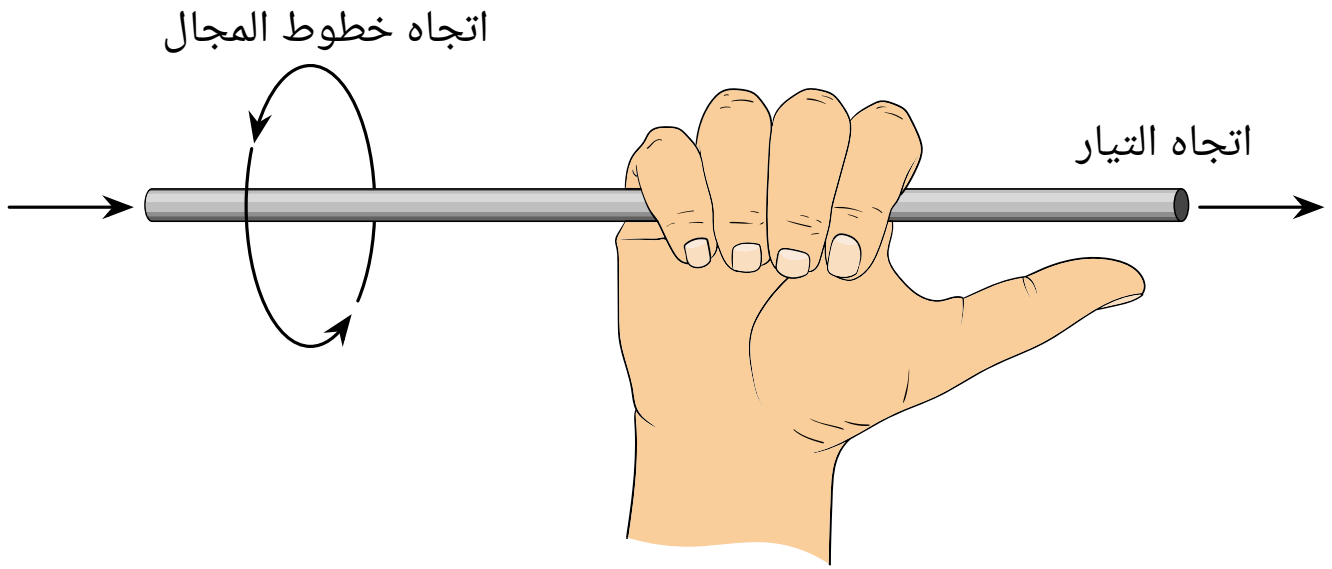
$$I = \frac{2\pi d B}{\mu_0} = \frac{2\pi(0.018\,\mathrm{m})\left(1.2 \times 10^{-4}\,\mathrm{T}\right)}{4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{T \cdot m/A}} = 10.8\,\mathrm{A}.$$

بالتقريب لأقرب أمبير نَجِد أن شدَّة التيار المار في السلك تساوي $11\,\mathrm{A}$.

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

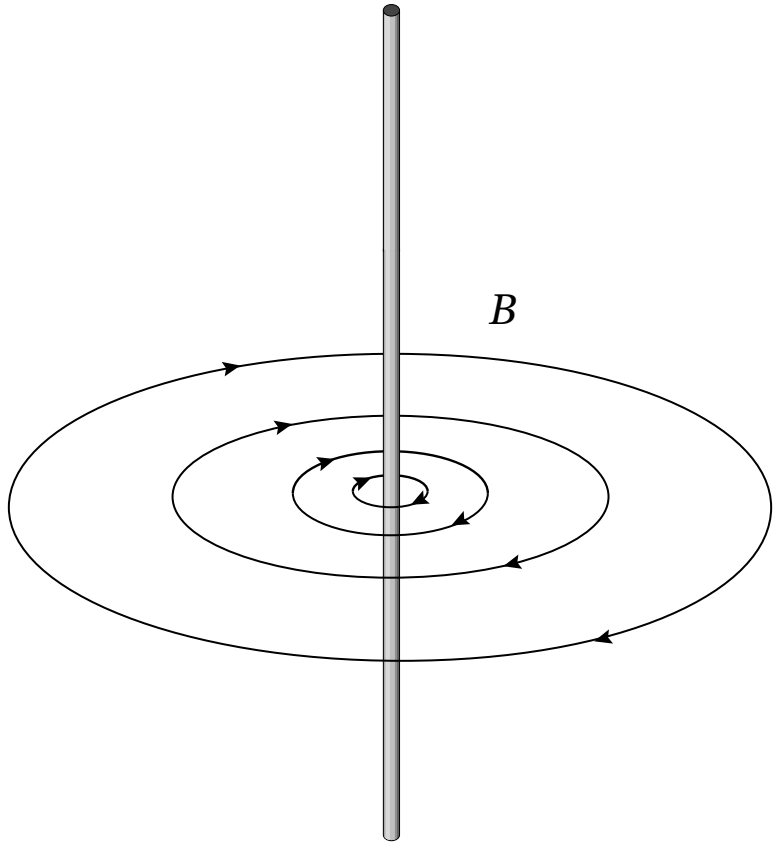
لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتِج عن تيار يمرُّ في سلك مستقيم، اتبع الخطوات الآتية:

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.



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.



مثال ٤ (متابعة)

الحل

لفعل 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.

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.

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. يكون الاتجاه الذي تلتفُّ فيه الأصابع مناظرًا لاتجاه المجال المغناطيسي.