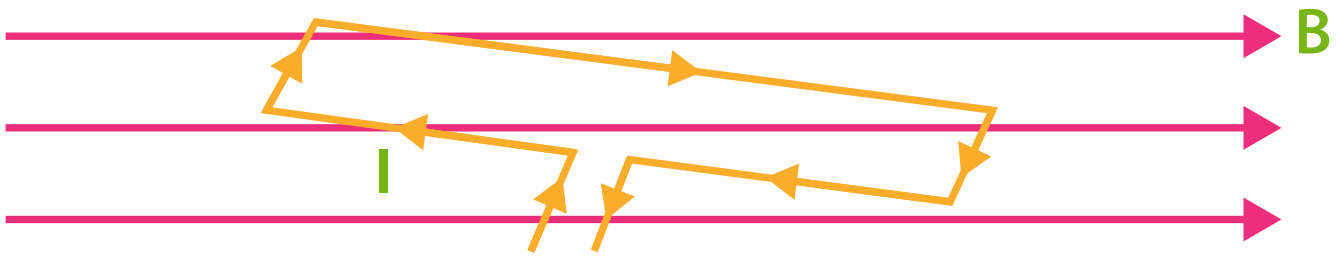
عزم الدوران المؤثِّر على ملف مستطيل يمرُّ به تيار عند وضْعه في مجال مغناطيسي



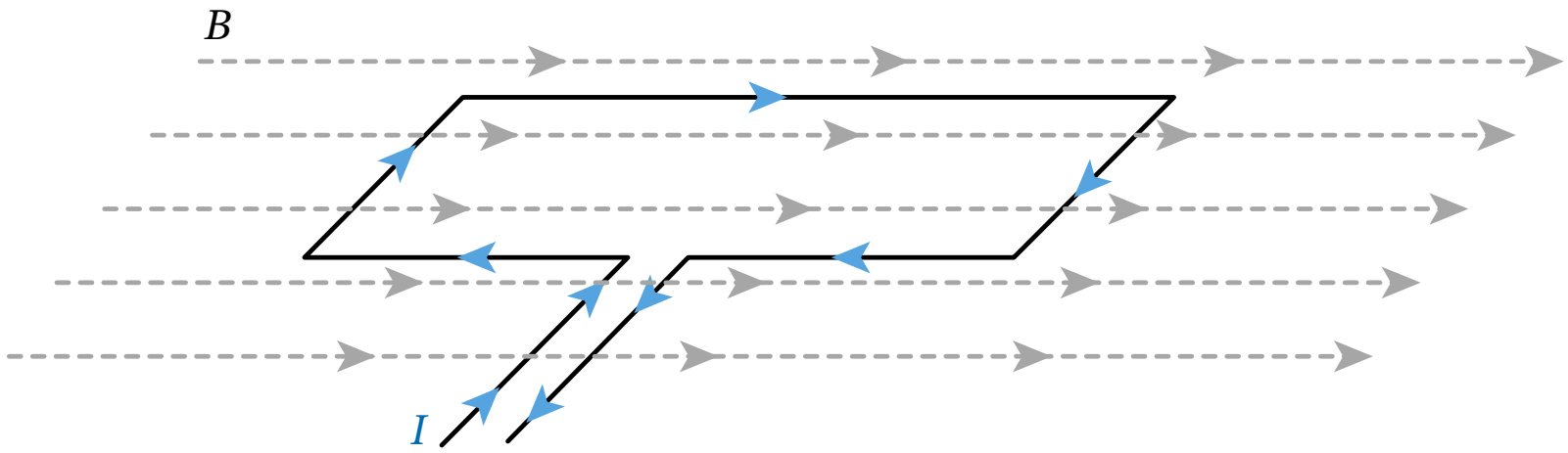
أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- حساب العزم المغناطيسي المؤثِّر في ملف مستطيل يمرُّ به تيار، عند وضعه في مجال مغناطيسي بزاوية مع مساحة الملف باستخدام المعادلة $\tau = BIAN \sin(\theta)$
- تعريف عزم ثُنائي القطب المغناطيسي لملف مستطيل يمرُّ به تيار، عند وضعه في مجال مغناطيسي؛ على أنه النسبة بين العزم المؤثِّر في الملف وشدة المجال المغناطيسي

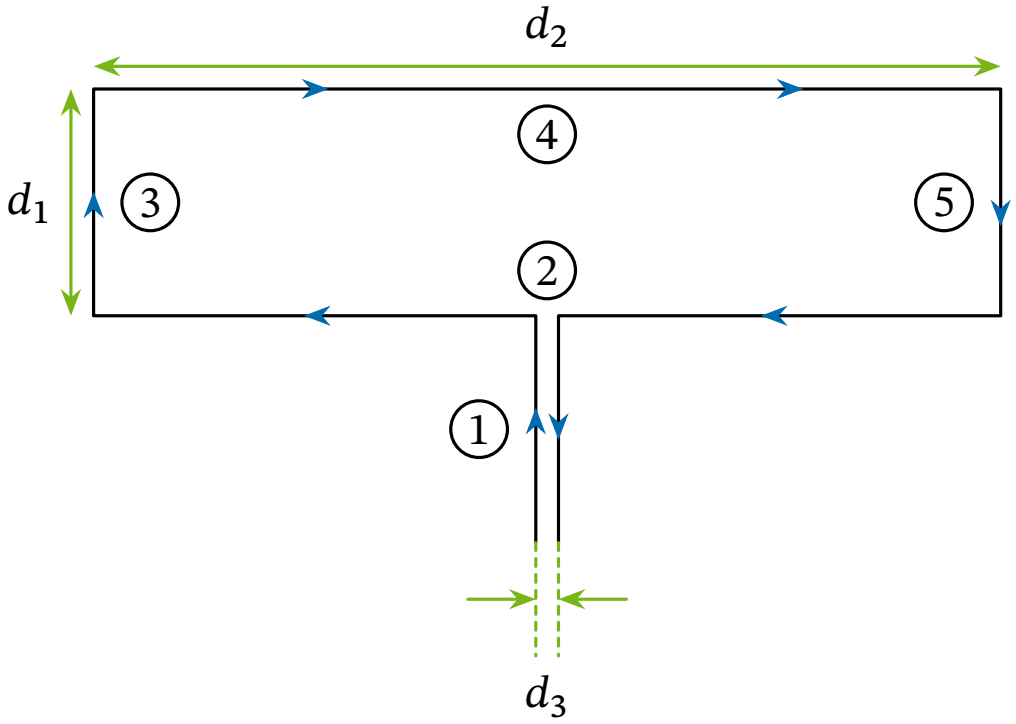
القوة المغناطيسية في ملف مستطيل

نبدأ بالنظر إلى ملف مستطيل موضوع في مستوى أفقي، ويمرُّ به تيار شدته I، الملف موضوع في مجال مغناطيسي أفقي شدته B في المستوى الأفقي أيضًا. يوضِّح الشكل الآتي هذا الملف.



القوة المغناطيسية في ملف مستطيل (متابعة)

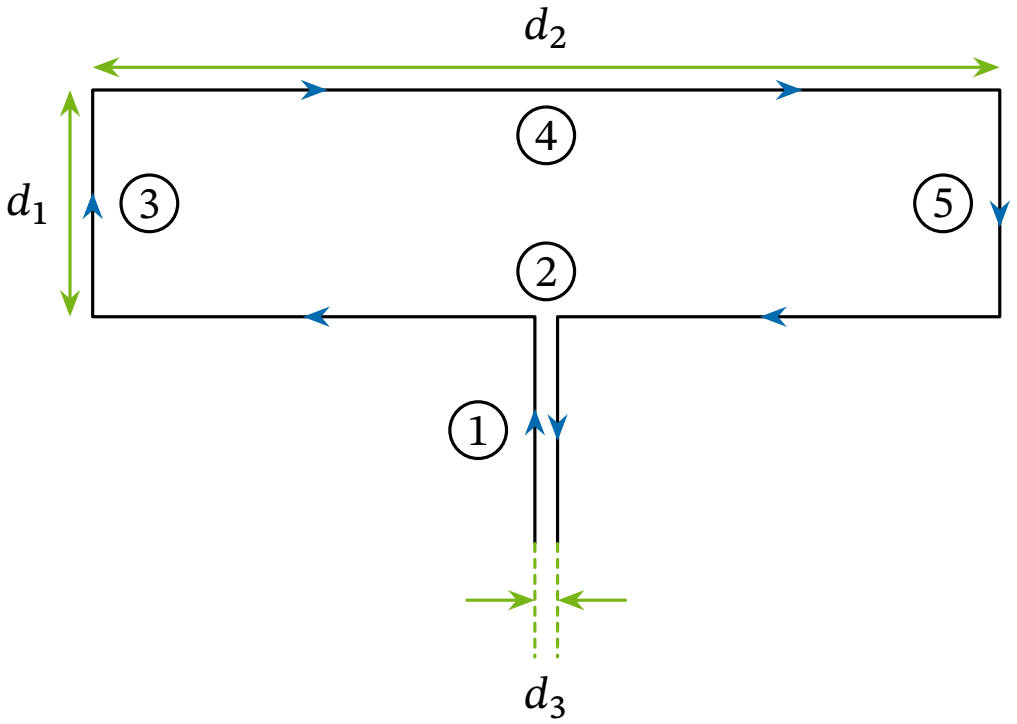
لِننظرْ إلى الملف المستطيل بمزيد من التفصيل. يوضِّح الشكل كل جانب من جوانب الملف مشارًا إليه برقم.



القوة المغناطيسية في ملف مستطيل (متابعة)

وكما نرى، يحتوي الملف المستطيل على سِلْكَيْن يعملان على نقل التيار من منتصف قاعدة المستطيل. المسافة بين هذين الملفين d_3، وهي صغيرة للغاية:

$$d_3 \approx 0.$$

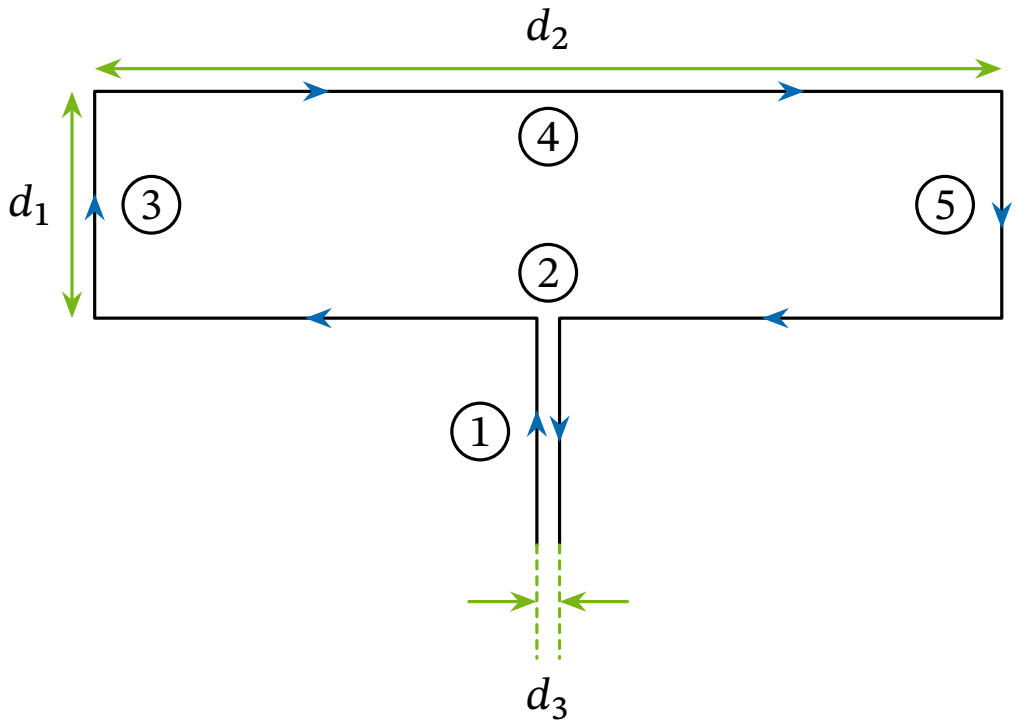


نفترض أيضًا أن طول هذين السِلْكَيْن الحاملين للتيار صغير؛ هذا يعني أن علينا التركيز على الجزء المستطيل (من 2 إلى 5 فقط).

القوة المغناطيسية في ملف مستطيل (متابعة)

تذكَّر أن القوة F، المؤثِّرة في سلك طوله l ويحمل تيارًا شِدَّته I، وعمودي على مجال مغناطيسي B؛ تساوي:

$$F = BIl.$$



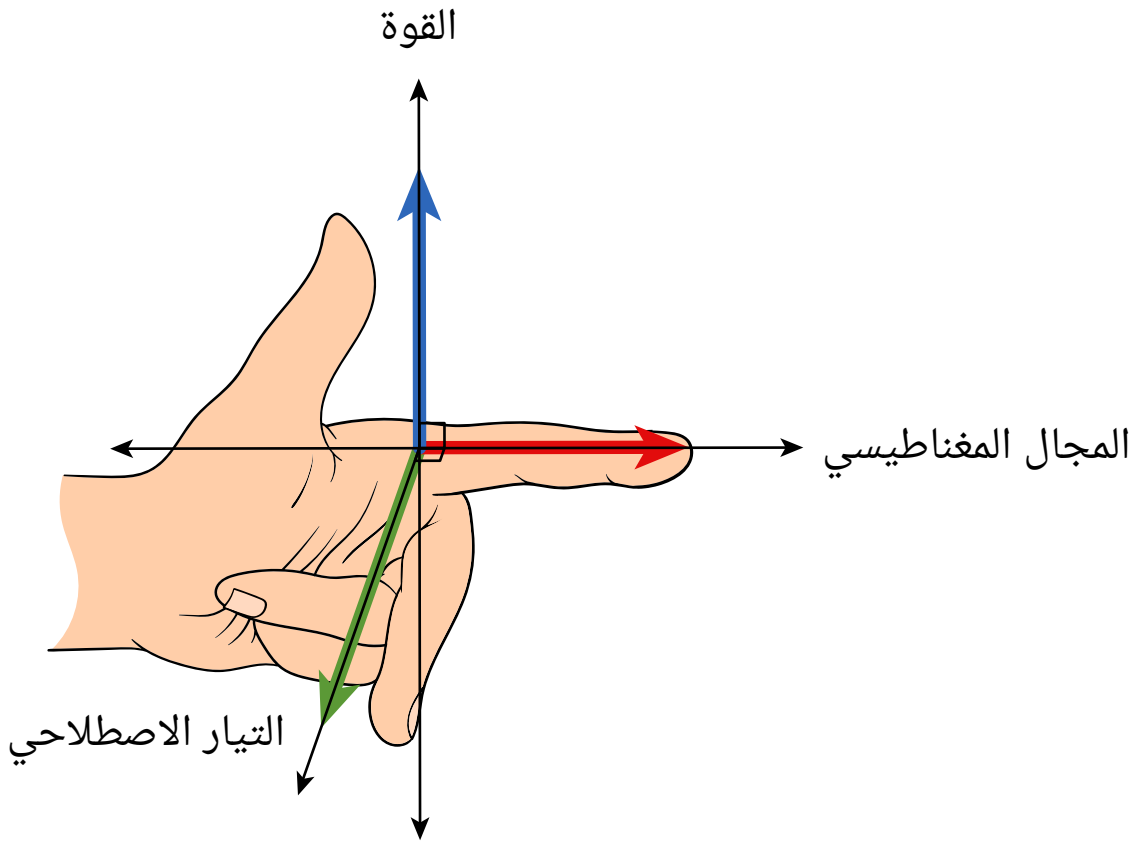
إذا نظرنا إلى كل جانب من جوانب الملف، فسنلاحظ وجود قوةٍ تؤثِّر فقط على الجانبين 3 و5. وباعتبار الاتجاه الرأسي لأعلى موجبًا؛ فإن القوة المؤثِّرة على كلٍّ من هذين الجانبين تساوي:

$$F_3 = -BId_1,$$
$$F_5 = BId_1.$$

إذن تؤثِّر على جانبي الملف قوَّتان متساويتان في المقدار، لكن في اتجاهين متعاكسَيْن. يُمْكِننا إيجاد اتجاه القوة باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.

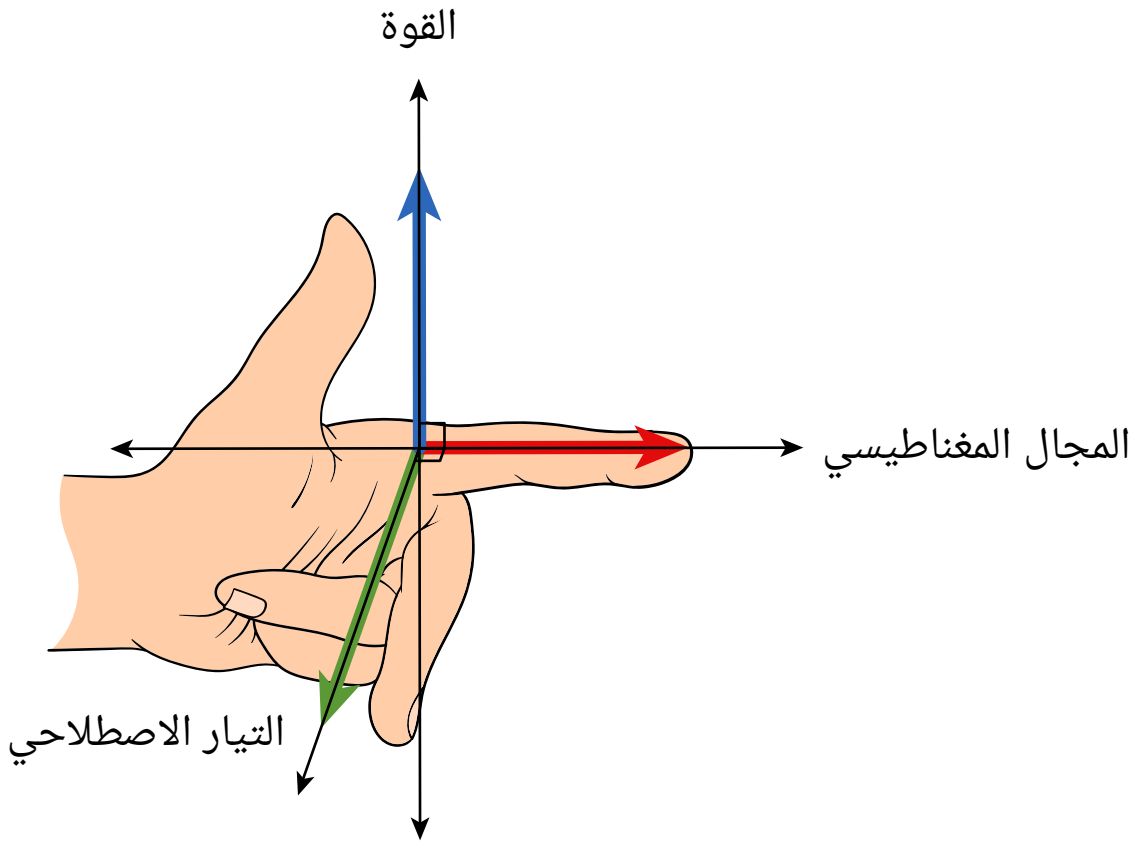
تحديد اتجاه القوى باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج قاعدة تُستخدم لإيجاد اتجاه القوة المؤثِّرة في سلك ما، بدلالة كلٍّ من: اتجاه المجال المغناطيسي الذي يقع فيه السلك، واتجاه التيار عبر السلك. يوضِّح الشكل الآتي قاعدة اليد اليسرى لفلمنج، والمحاور التي تمثِّل اتجاه كلٍّ من: المجال المغناطيسي، والقوة، والتيار.



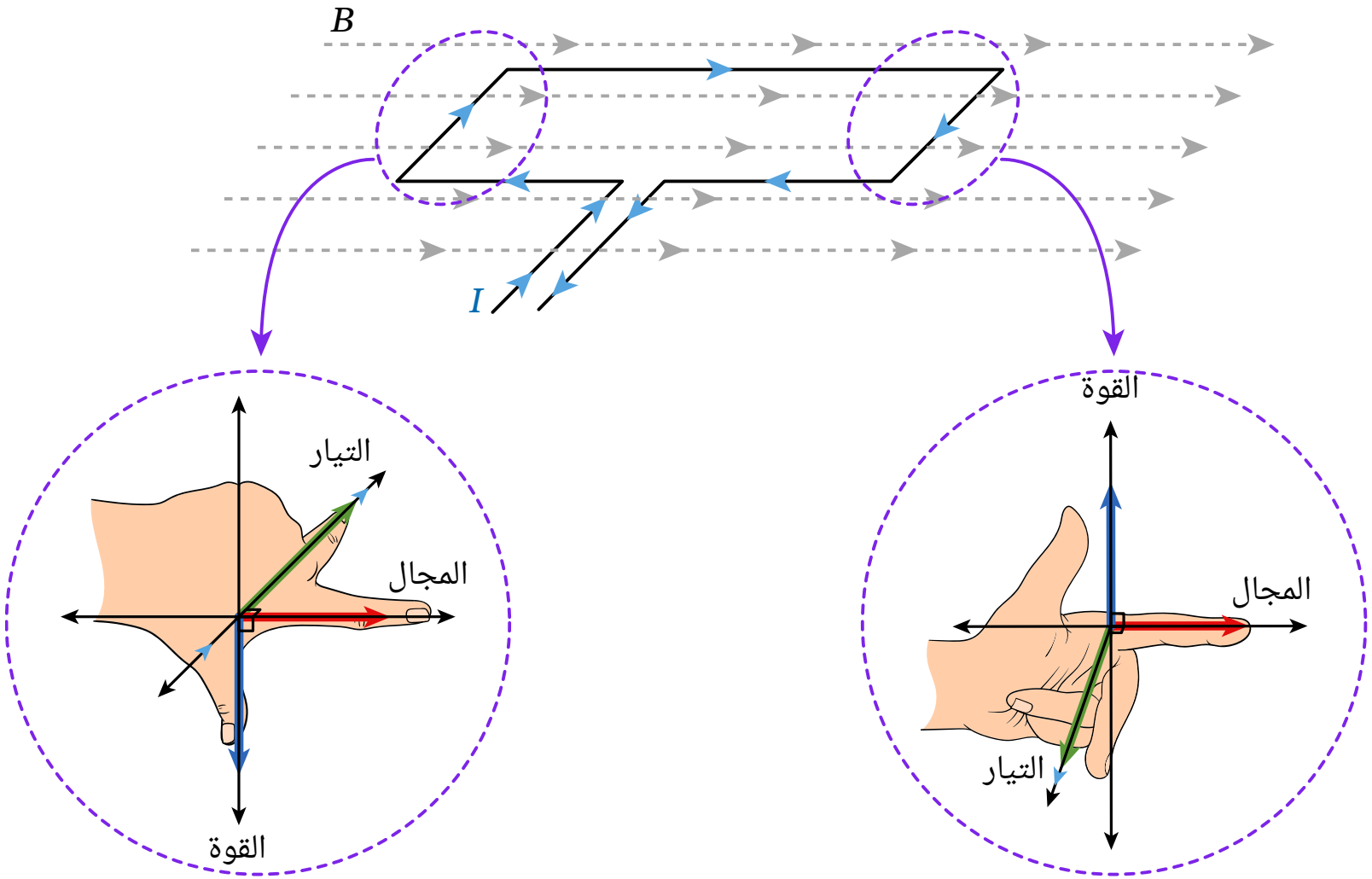
تحديد اتجاه القوى باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج (متابعة)

وَفقًا لقاعدة اليد اليسرى لفلمنج يشير الإبهام إلى اتجاه القوة، وتشير السبَّابة إلى اتجاه المجال المغناطيسي، وتُشير الإصبع الوسطى إلى اتجاه التيار عبر السلك.



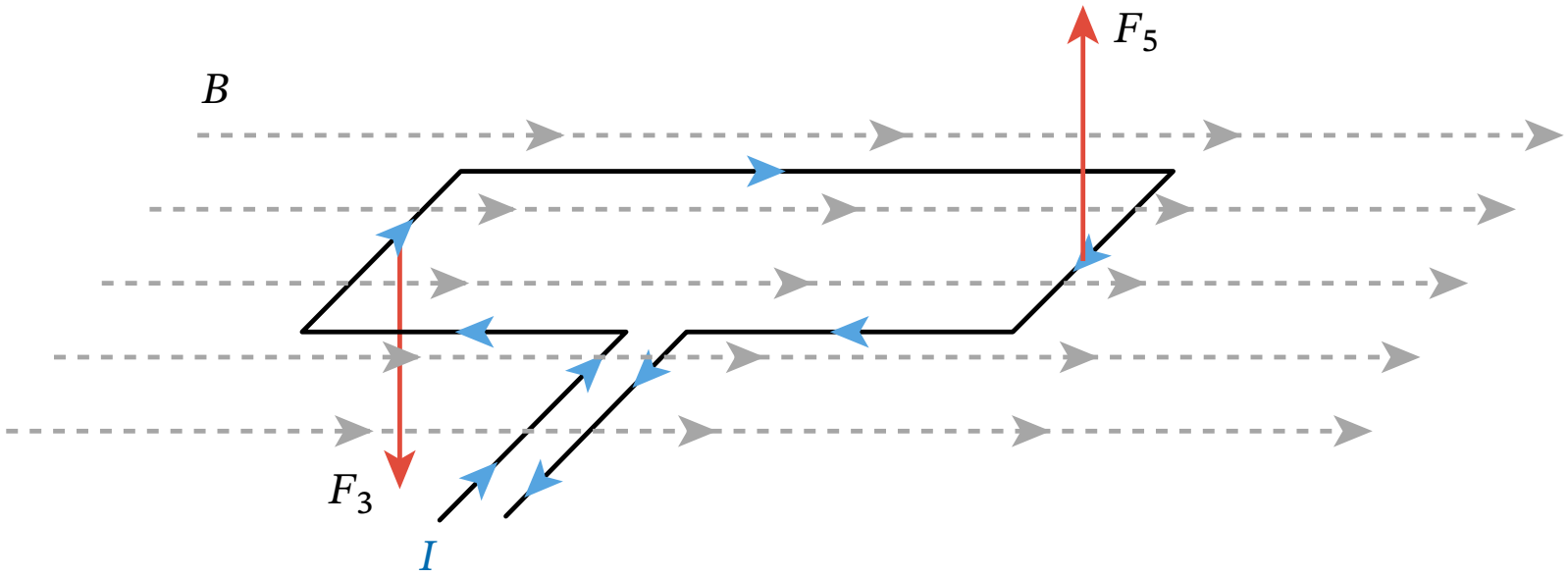
تحديد اتجاه القوى باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج (متابعة)

يُمْكِننا استخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج لإيجاد اتجاه القوة المؤثِّرة على الجانبين 3 و5 من الملف. هذا كما في الشكل الموضَّح.



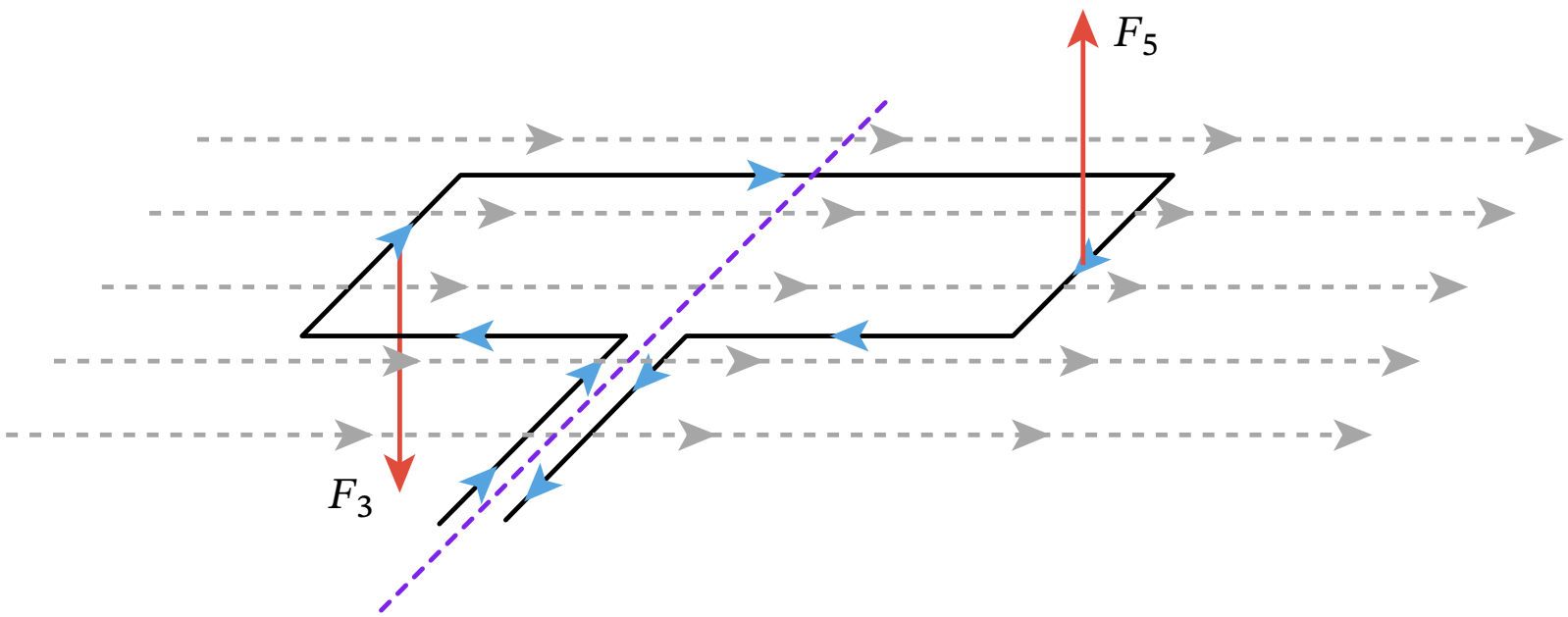
تحديد اتجاه القوى باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج (متابعة)

نلاحظ أن القوة المؤثِّرة على الجانب 3 من الملف تؤثِّر لأسفل، والقوة المؤثِّرة على الجانب 5 من الملف تؤثِّر لأعلى. يوضِّح الشكل الآتي القوى المؤثِّرة في الملف المستطيل؛ حيث تؤثِّر F_3 لأسفل، وتؤثِّر F_5 لأعلى.



عزم الدوران المغناطيسي

والآن، ننظر إلى المحور الذي يمر عبر مركز الملف، والذي يمثِّله الخط المتقطع في الشكل الموضَّح.



عزم الدوران المغناطيسي (متابعة)

يُمْكِن حساب عزم الدوران حول هذا المحور بضرب كل قوة في المسافة العمودية منها إلى المحور:

$$\tau = F_3\left(\frac{-d_2}{2}\right) + F_5\frac{d_2}{2}.$$

بالتعويض عن F_3 وF_5 نحصل على:

$$\tau = -BId_1\left(\frac{-d_2}{2}\right) + BId_1\frac{d_2}{2}$$

$$\tau = BId_1d_2.$$

عزم الدوران المغناطيسي (متابعة)

نلاحظ أن هذه العلاقة تحتوي على d_1 مضروبًا في d_2، أيْ مساحة المستطيل A؛ ومن ثمَّ يُمْكِن كتابة عزم الدوران على الصورة:

$$\tau = BIA.$$

يُمْكِننا أيضًا حساب عزم ثُنائي القطب المغناطيسي للملف. يُعرَّف عزم ثُنائي القطب المغناطيسي بأنه عزم الدوران المؤثِّر في الملف مقسومًا على شدة المجال المغناطيسي:

$$m_d = \frac{\tau}{B}.$$

تعريف: عزم ثُنائي القطب المغناطيسي

يُعرَّف عزم ثُنائي القطب المغناطيسي لملف يحمل تيارًا، وموضوع في مجال مغناطيسي؛ بأنه عزم الدوران المؤثِّر في الملف مقسومًا على شدة المجال المغناطيسي:

$$m_d = \frac{\tau}{B}.$$

تعريف: عزم ثُنائي القطب المغناطيسي (متابعة)

بالنسبة إلى الملف المستطيل يُمْكِننا التعويض بتعبير عزم الدوران الذي أوجدناه سابقًا:

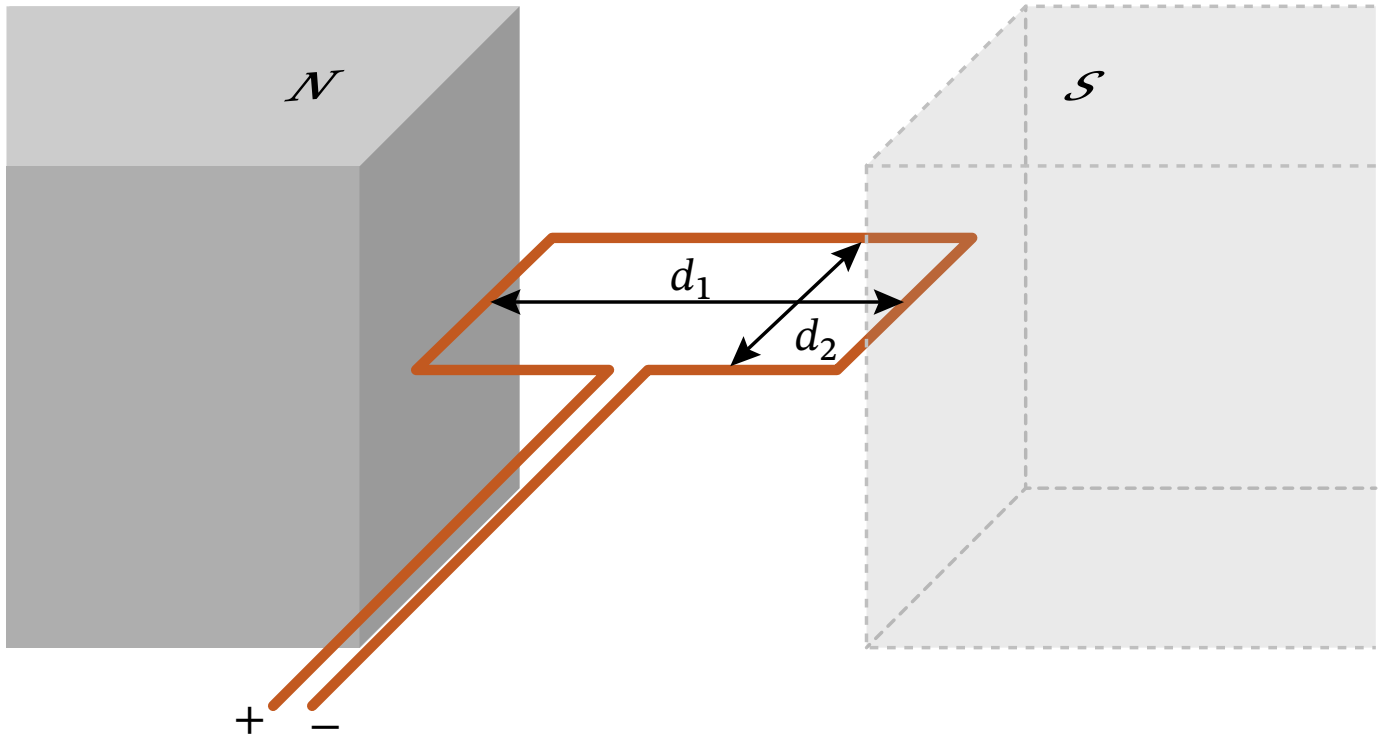
$$m_d = \frac{BIA}{B}$$

$$m_d = IA.$$

نتناول الآن مثالًا لحساب عزم الدوران وعزم ثُنائي القطب المغناطيسي لملف مستطيل.

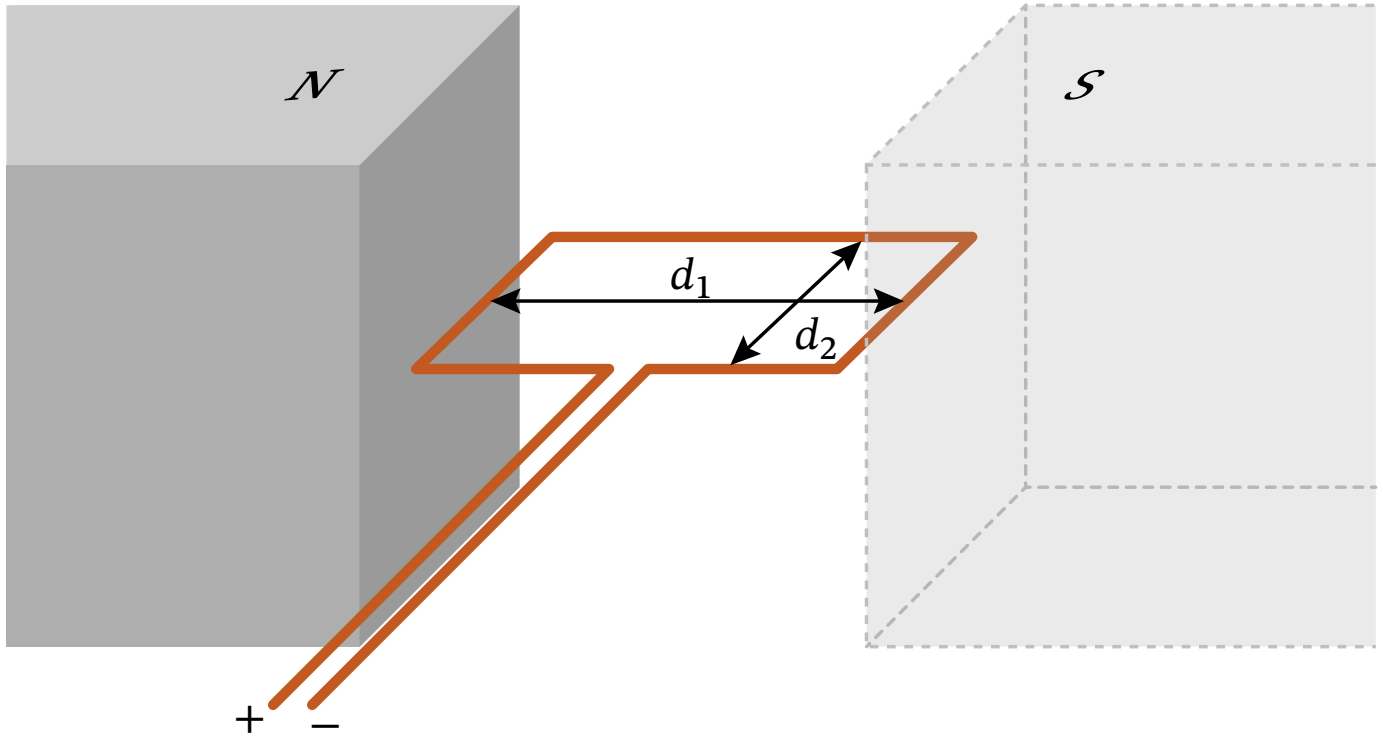
مثال١: حساب عزم الدوران وعزم ثُنائي القطب المغناطيسي لملف مستطيل يحمل تيارًا عند وضعه في مجال مغناطيسي

يوضِّح الشكل ملفًّا مستطيلًا يمر به تيار، موضوعًا بين قطبي مغناطيس. جانبا الملف الموازيان للخط d_1 يوازيان المجال المغناطيسي، ويتعامد جانبا الملف الموازيان للخط d_2 على المجال المغناطيسي. شدة التيار المار في الملف $350\ \text{mA}$، وشدة المجال المغناطيسي $0.12\ \text{T}$. طول $d_1 = 0.025\ \text{m}$ ، وطول $d_2 = 0.015\ \text{m}$.



مثال ١ (متابعة)

١. أوجد عزم الدوران المؤثِّر على الملف لأقرب ميكرونيوتن · متر.
٢. أوجد عزم ثنائي القطب المغناطيسي للملف لأقرب ميكرونيوتن · متر لكل تسلا.



مثال ١ (متابعة)

الحل

الجزء الأول

يُمْكِن إيجاد عزم الدوران المؤثِّر في الملف، τ، باستخدام المعادلة:

$$\tau = BIA,$$

حيث B شدة المجال المغناطيسي، I شدة التيار المار في الملف، A مساحة الملف.

بدايةً، نُحوِّل قيمة شدَّة التيار المار في الملف إلى وَحدة النظام الدولي، الأمبير:

$$I = 350 \text{ mA}$$
$$I = 0.35 \text{ A}.$$

مثال ١ (متابعة)

وبما أن الملف مستطيل الشكل، إذن مساحة الملف ببساطة هي:

$$A = d_1 d_2,$$

حيث $d_1 = 0.025\,\text{m}$، $d_2 = 0.015\,\text{m}$، كما هو موضَّح في نص السؤال. وهذا يُعطينا مساحة:

$$A = 3.75 \times 10^{-4}\,\text{m}^2.$$

بالتعويض بقيم I وA في معادلة عزم الدوران، بالإضافة إلى شدة المجال المغناطيسي $B = 0.12\,\text{T}$، نحصل على:

$$\tau = 0.12\,\text{T} \times 0.35\,\text{A} \times 3.75 \times 10^{-4}\,\text{m}^2$$
$$\tau = 1.575 \times 10^{-5}\,\text{N} \cdot \text{m}.$$

مثال ١ (متابعة)

بوَحدة الميكرونيوتن · متر، هذا يساوي

$$\tau = 15.75\,\mu\text{N}\cdot\text{m}.$$

وبالتقريب لأقرب ميكرونيوتن · متر، يساوي عزم الدوران المؤثِّر في الملف $16\,\mu\text{N}\cdot\text{m}$.

الجزء الثاني

عزم ثُنائي القطب المغناطيسي، m_d لملف يمر به تيار وموضوع في مجال مغناطيسي يساوي عزم الدوران المؤثِّر في الملف، τ، مقسومًا على شدة المجال المغناطيسي، B:

$$m_d = \frac{\tau}{B}.$$

مثال ١ (متابعة)

بالتعويض بالقيمة $\tau = 1.575 \times 10^{-5}\,\text{N}\cdot\text{m}$ المحسوبة سابقًا، والقيمة المُعطاة $B = 0.12\,\text{T}$ ، نحصل على:

$$m_d = \frac{1.575 \times 10^{-5}\,\text{N}\cdot\text{m}}{0.12\,\text{T}}$$
$$m_d = 1.313 \times 10^{-4}\,\text{N}\cdot\text{m/T}.$$

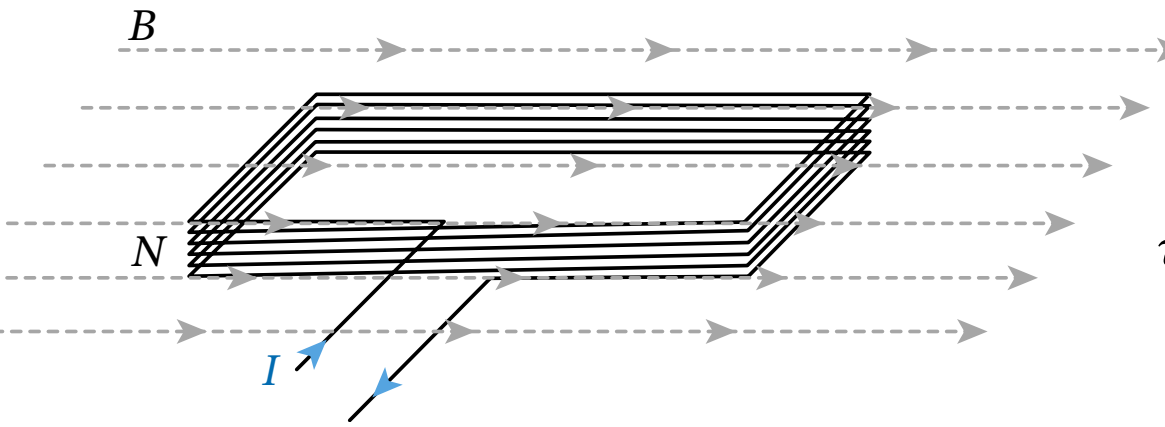
بوَحدة ميكرونيوتن · متر لكل تسلا، هذا يساوي

$$m_d = 131.3\,\mu\text{N}\cdot\text{m/T}.$$

إذن عزم ثُنائي القطب المغناطيسي للملف لأقرب ميكرونيوتن · متر لكل تسلا يساوي $131\,\mu\text{N}\cdot\text{m/T}$.

ملف مستطيل يحتوي على عدد N من اللفّات

الآن نتناول ما يحدث إذا كان الملف المستطيل مكوَّنًا من عدة لفَّات. في الشكل الموضَّح الملف المستطيل نفسه الذي تناولناه من قبل، إلا أنه الآن يحتوي على عدة لفَّات.



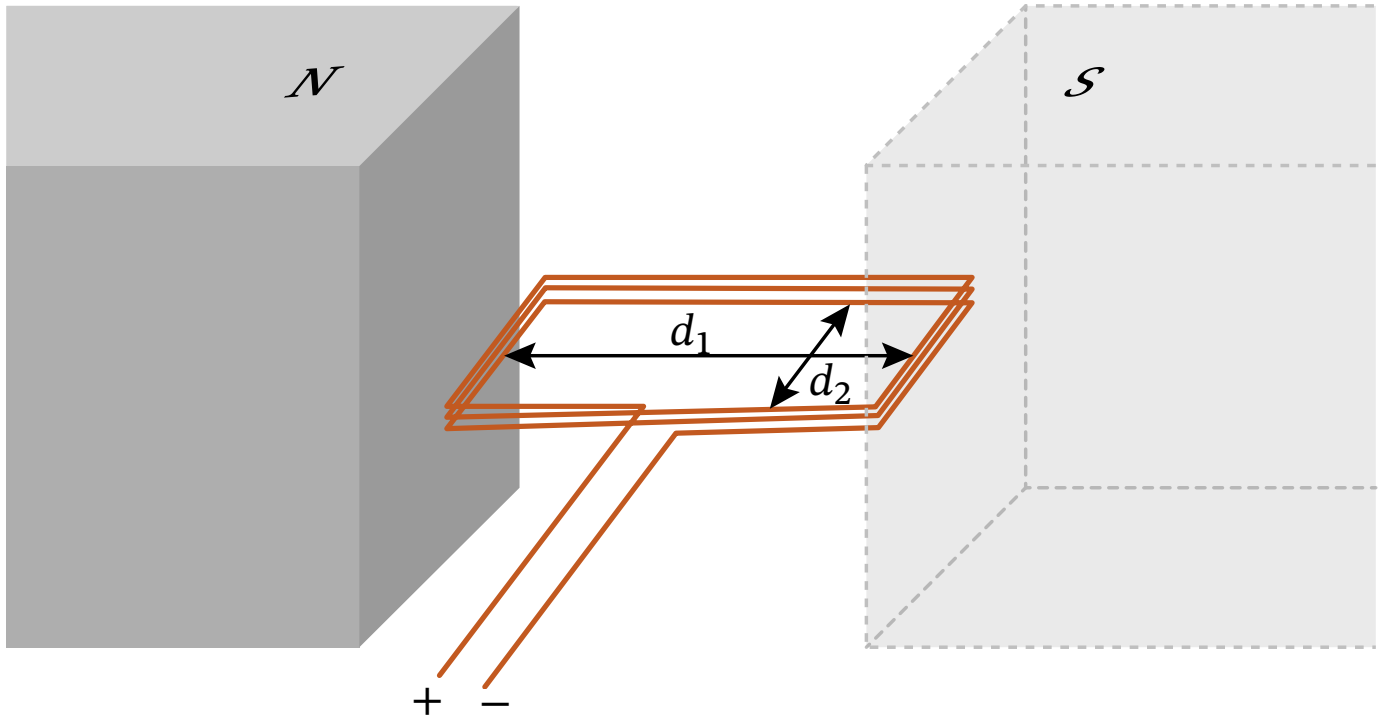
كل جزء من الملف يساهم بالقدر نفسه من القوة. إذا كان لدينا عدد N من الملفّات، فإن عزم الدوران المؤثِّر في المحور يساوي:

$$\tau = BIAN.$$

نتناول الآن مثالًا يتضمَّن ملفًّا مستطيلًا يحتوي على عدة لفّات.

مثال ٢: حساب عزم الدوران المؤثِّر في ملف مستطيل متعدد اللفّات يمر فيه تيار؛ عند وضعه في مجال مغناطيسي

يوضِّح الشكل ملفًّا موصِّلًا مستطيلًا، يتكوَّن من ثلاث لفّات، موضوعًا في مجال مغناطيسي. يمرُّ بالملف تيار شدته 8.5 A. جانبا الملف الموازيان للخط d_1 يوازيان المجال المغناطيسي، ويتعامد جانبا الملف الموازيان للخط d_2 مع المجال المغناطيسي. طول $d_1 = 0.035\,\text{m}$، وطول $d_2 = 0.025\,\text{m}$. يبلغ عزم الدوران المؤثِّر في الملف $15\,\text{mN}\cdot\text{m}$. أوجد شدة المجال المغناطيسي لأقرب ملليتسلا.



مثال ٢ (متابعة)

الحل

معادلة عزم الدوران المؤثِّر في ملف مستطيل يتكوَّن من عدة لفّات، ويمر به تيار في مجال مغناطيسي؛ هي:

$$\tau = BIAN.$$

يُمْكِننا إعادة ترتيب هذه المعادلة لإيجاد شدة المجال المغناطيسي B:

$$B = \frac{\tau}{IAN}.$$

مثال ٢ (متابعة)

بدايةً، يُمْكِننا حساب مساحة الملف المستطيل، A، من خلال ضرب d_1 في d_2:

$$A = d_1 \times d_2$$
$$A = 0.035\,\text{m} \times 0.025\,\text{m}$$
$$A = 0.000875\,\text{m}^2.$$

يُمْكِن تحويل قيمة عزم الدوران في الملف إلى وَحدة النظام الدولي، نيوتن · متر:

$$\tau = 15\,\text{mN} \cdot \text{m} = 0.015\,\text{N} \cdot \text{m}.$$

مثال ٢ (متابعة)

يُمْكِن التعويض بهاتين القيمتين في معادلة شدة المجال المغناطيسي إلى جانب القيم المُعطاة $I = 8.5\,\text{A}$ و$N = 3$:

$$B = \frac{0.015\,\text{N}\cdot\text{m}}{8.5\,\text{A} \times 0.000875\,\text{m}^2 \times 3}$$

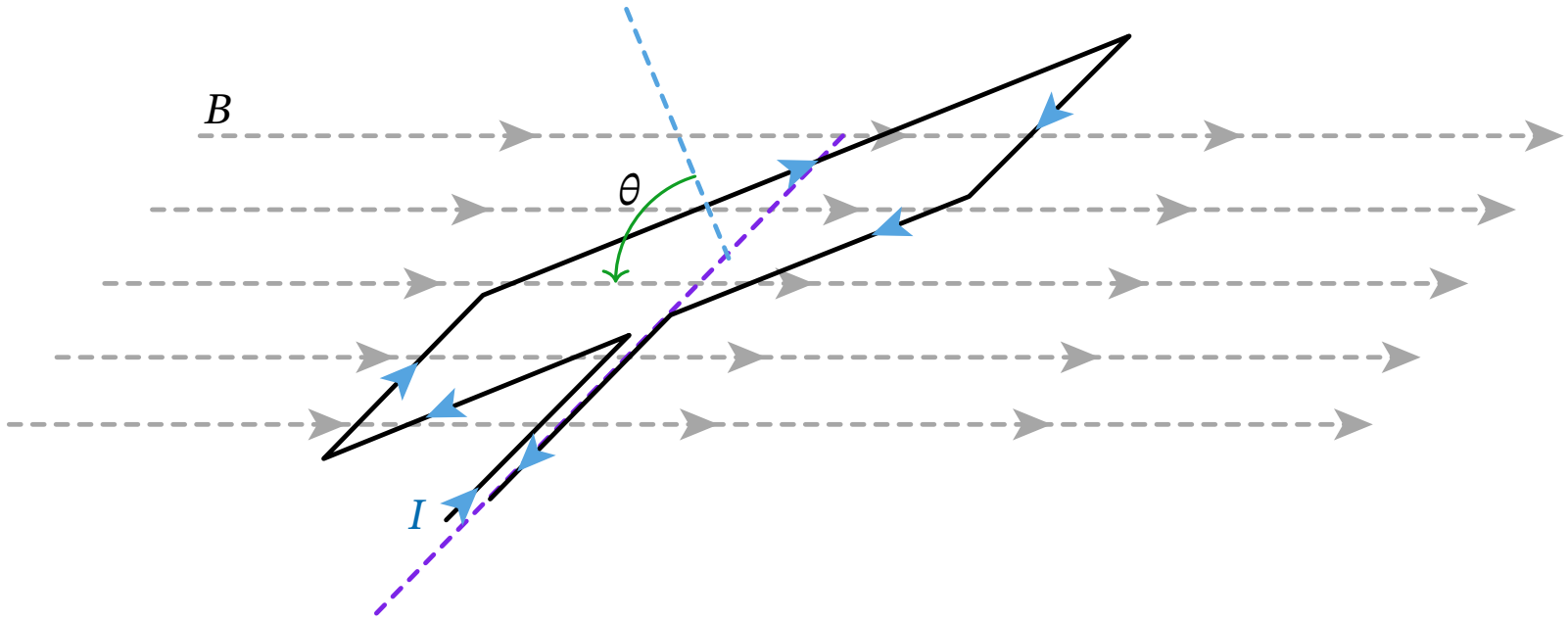
$$B = 0.672\,\text{T}.$$

بالتقريب لأقرب مللي تسلا هذا يساوي:

$$B = 672\,\text{mT}.$$

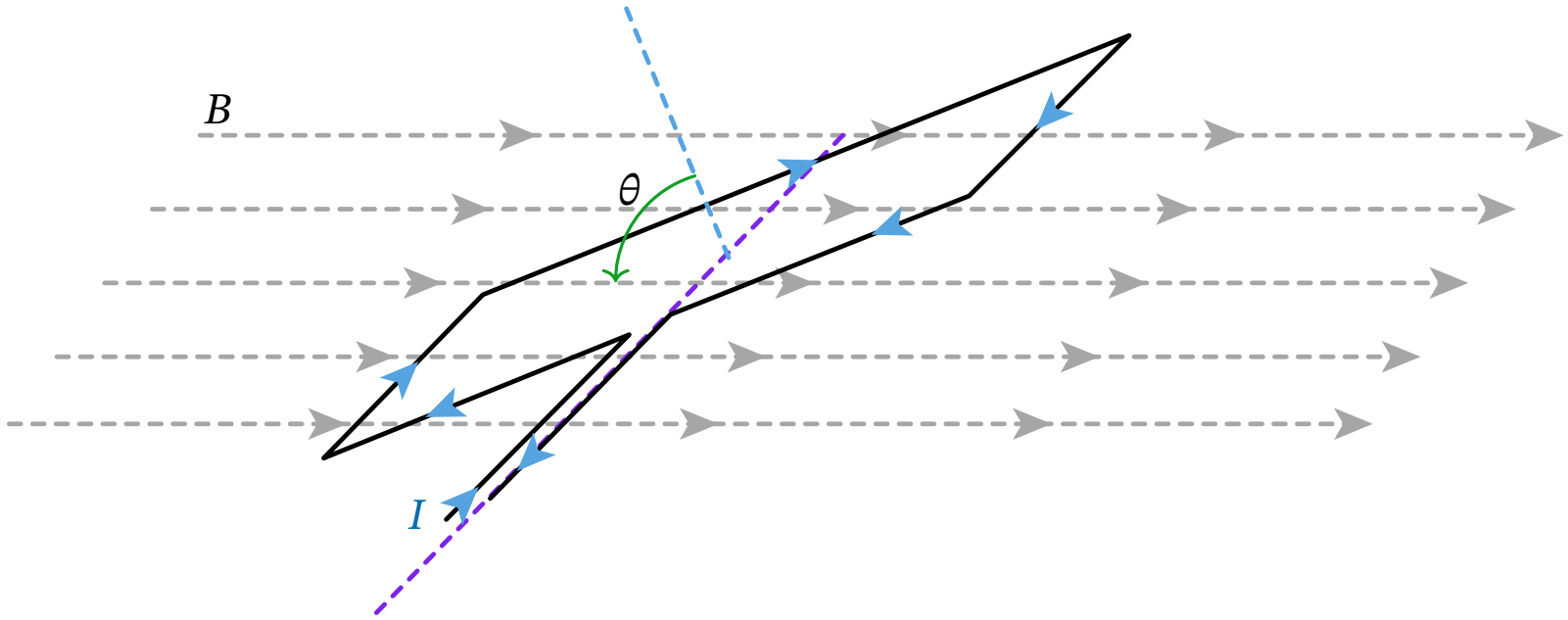
ملف مستطيل يصنع زاوية مع المجال

الآن، نتناول ما يحدث عندما يدور الملف حول المحور. نقيس الزاوية، θ، من الاتجاه العمودي على الملف (الاتجاه العمودي على المستطيل) إلى اتجاه المجال المغناطيسي.



ملف مستطيل يصنع زاوية مع المجال (متابعة)

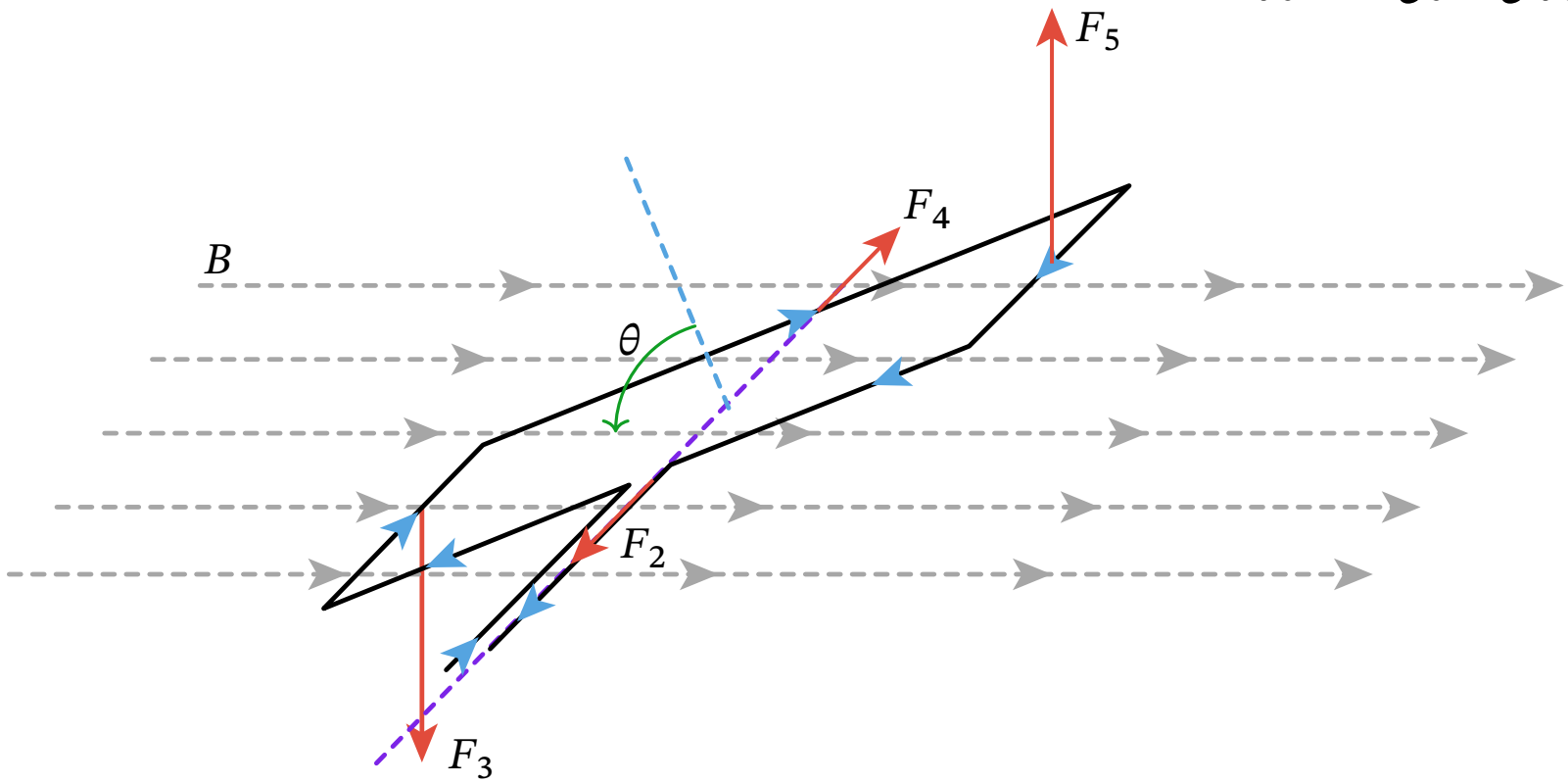
الآن، تختلف القوى المؤثِّرة في الملف.



ملف مستطيل يصنع زاوية مع المجال (متابعة)

تظل القوى المؤثِّرة على الجانبين 3 و5 كما هي، وتؤثِّر رأسيًّا. بيد أن الجانبين 2 و4 ليسا موازيين للمجال المغناطيسي الآن. وهذا يعني وجود قوة عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي واتجاه التيار في هذين الجانبين.

ونفهم مما سبق أن القوى المؤثِّرة على هذين الجانبين من الملف تؤثر على طول محور الدوران، وفي اتجاهين متعاكسين؛ لذا لا ينتُج عن هذه القوى عزم دوران حول المحور.



ملف مستطيل يصنع زاوية مع المجال (متابعة)

نستطيع حساب عزم الدوران المؤثِّر في الملف بضرب كل قوة في المسافة العمودية من المحور.

بالنسبة إلى ملف دار بزاوية θ، المسافة العمودية x_3، من الجانب 3 إلى المحور، تُعطى بالمعادلة:

$$x_3 = \frac{-d_2}{2}\sin\theta.$$

وبالمثل، بالنسبة إلى المسافة العمودية، x_5، من الجانب 5 إلى المحور:

$$x_5 = \frac{d_2}{2}\sin\theta.$$

يُمْكِننا استخدام هذه القيم لحساب عزم الدوران المؤثِّر حول المحور:

$$\tau = F_3 x_3 + F_5 x_5.$$

ملف مستطيل يصنع زاوية مع المجال (متابعة)

بالتعويض بتعبيرات x_3 وx_5 ، نحصل على:

$$\tau = F_3\left(\frac{-d_2}{2}\sin\theta\right) + F_5\left(\frac{d_2}{2}\sin\theta\right).$$

وبالتعويض بالتعبيرات المعلومة لدينا $F_3 = -BId_1$ و$F_5 = BId_1$ ، نحصل على:

$$\tau = -BId_1\left(\frac{-d_2}{2}\sin\theta\right) - BId_1\left(\frac{d_2}{2}\sin\theta\right)$$

$$\tau = BId_1d_2\sin\theta.$$

مرة أخرى، يُمْكِن كتابة ذلك بدلالة مساحة المستطيل A:

$$\tau = BIA\sin\theta.$$

إذا كان لدينا عدد N من اللفّات في الملف، فإن عزم الدوران يساوي:

$$\tau = BIAN\sin\theta.$$

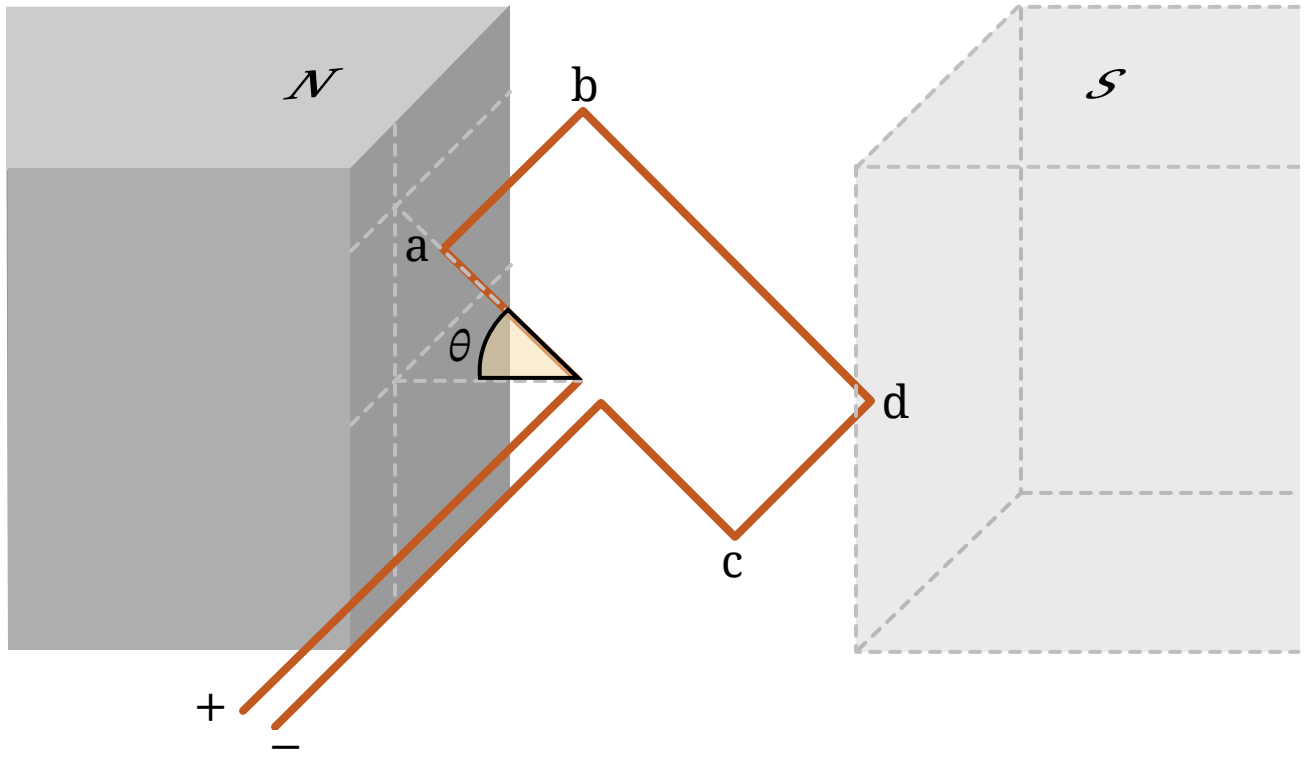
تعريف: عزم الدوران المؤثِّر في ملف مستطيل موضوع في مجال مغناطيسي

عزم الدوران، τ، المؤثِّر في ملف مستطيل مساحته A، وعدد لفّاته N، ويحمل تيارًا شدته I، وموضوع في مجال مغناطيسي شدته B، ويصنع زاوية θ بين العمودي على سطحه واتجاه المجال المغناطيسي؛ يساوي:

$$\tau = BIAN \sin\theta.$$

مثال ٣: حساب عزم الدوران المؤثِّر في ملف مستطيل يحمل تيارًا، وموضوع في مجال مغناطيسي بزاوية

يوضِّح الشكل ملفًّا مستطيلًا يمُرُّ به تيار، موضوع بين قطبين مغناطيسيين. جانبا الملف ab وdc عموديان على المجال المغناطيسي. يصنع قُطرا الملف bc وad زاويةً $\theta = 33°$ مع اتجاه المجال المغناطيسي. شدة التيار في الملف $1.75\,\text{A}$، وشدة المجال المغناطيسي $0.15\,\text{T}$. طول $\text{ac} = 0.065\,\text{m}$، وطول $\text{ab} = 0.045\,\text{m}$. أوجد عزم الدوران المؤثِّر في الملف، لأقرب ميكرونيوتن · متر.



مثال ٣ (متابعة)

الحل

المطلوب منا في هذا السؤال هو حساب عزم الدوران المؤثِّر في ملف مستطيل يحمل تيارًا، وموضوع في مجال مغناطيسي بزاوية.

بدايةً، يُمْكِننا حساب مساحة المستطيل A من خلال ضرب طولَيِ الضلعين، ab وac:

$$A = \mathrm{ab} \times \mathrm{ac}$$

$$A = 0.045\,\mathrm{m} \times 0.065\,\mathrm{m}$$

$$A = 0.0029\,\mathrm{m}^2.$$

مثال ٣ (متابعة)

بعد ذلك، يُمْكِننا حساب الزاوية، ϕ، التي يصنعها العمودي على المستطيل مع المجال المغناطيسي. الزاوية المُعطاة في السؤال، θ، هي الزاوية التي يصنعها المستطيل مع المجال المغناطيسي، إذن:

$$\phi = 90^\circ - \theta$$

$$\phi = 90^\circ - 33^\circ$$

$$\phi = 57^\circ.$$

يُمْكِن حساب عزم الدوران المؤثِّر في الملف باستخدام المعادلة:

$$\tau = BIA \sin \phi,$$

حيث $B = 0.15\,\text{T}$ و$I = 1.75\,\text{A}$ كما هو موضَّح في نص السؤال.

مثال ٣ (متابعة)

إذن:

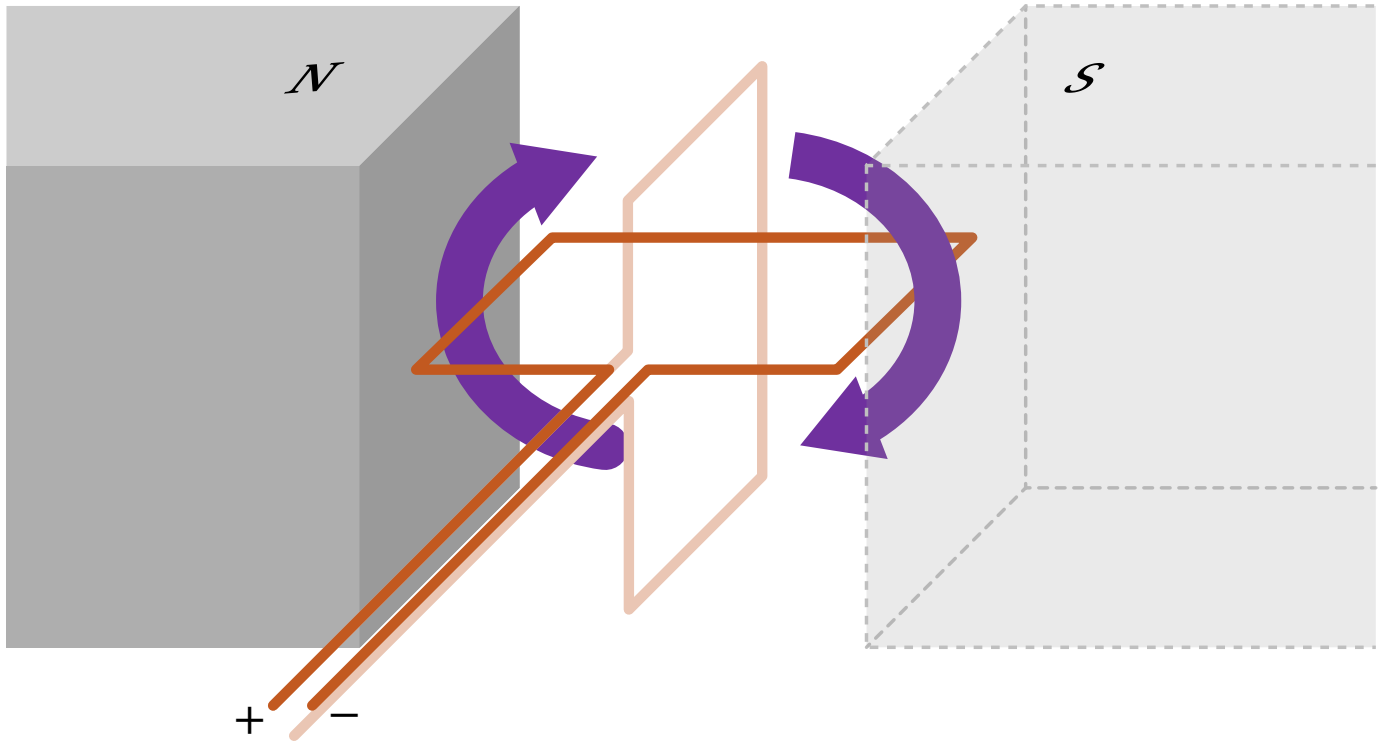
$$\tau = 0.15\,\mathrm{T} \times 1.75\,\mathrm{A} \times 0.0029\,\mathrm{m}^2 \times \sin 57$$
$$\tau = 0.000644\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}.$$

بوَحدة ميكرونيوتن · متر، هذا يساوي:

$$\tau = 644\,\mu\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}.$$

مثال ٤: تأثير الزاوية على عزم الدوران المؤثِّر في ملف مستطيل يحمل تيارًا عند وضعه في مجال مغناطيسي

يوضِّح الشكل ملفًّا على شكل مستطيل يحمل تيارًا بين قطبَيْ مغناطيس. أطول ضلعين للملف يوازيان المجال المغناطيسي ابتدائيًّا، وأقصر ضلعين للملف مُتعامِدان على المجال المغناطيسي ابتدائيًّا. يدور الملف بعد ذلك 90°؛ بحيث تكون جميع أضلاعه مُتعامِدة على المجال المغناطيسي. أيٌّ من الخطوط الموضَّحة على التمثيل البياني يُمثِّل تمثيلًا صحيحًا التغيُّرَ في عزم الدوران الذي يؤثِّر في الملف مع تغيُّر الزاوية التي يصنعها أطول ضلعين مع اتجاه المجال المغناطيسي من 0° إلى 90°؟



مثال ٤ (متابعة)

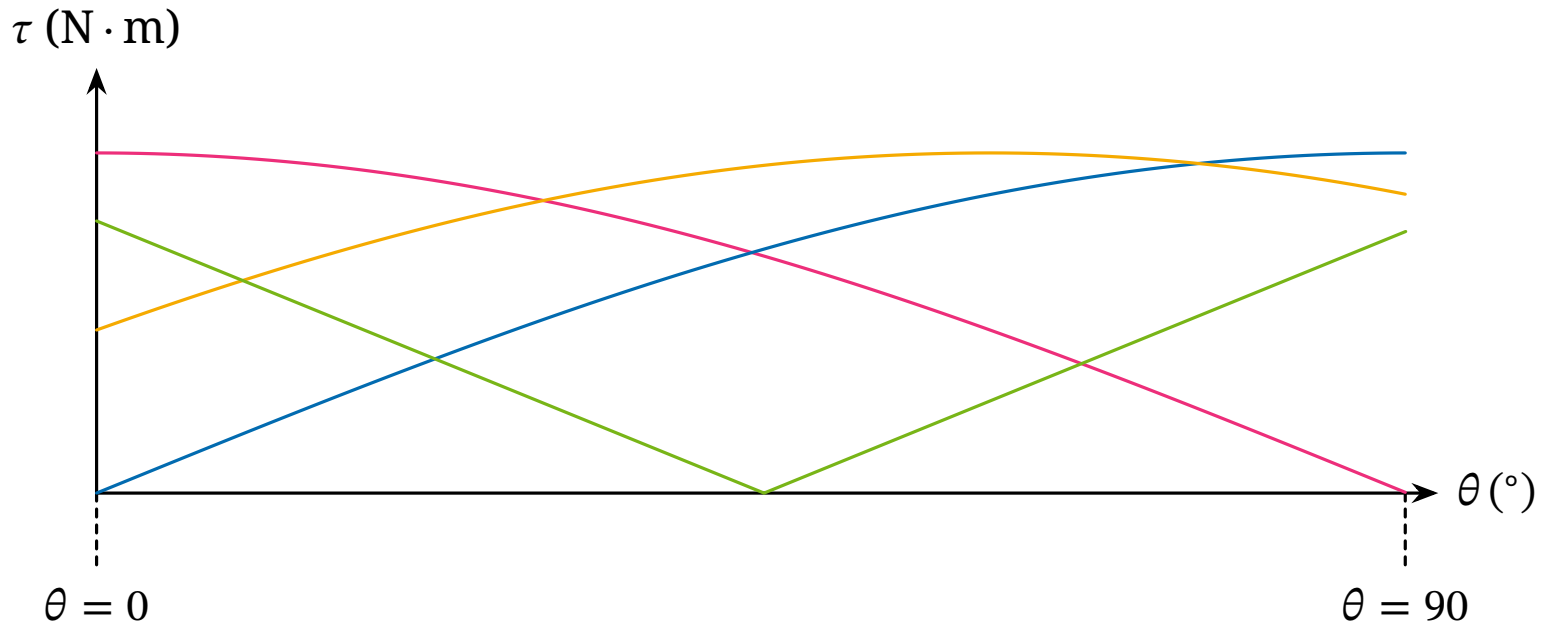
أ. الأزرق

ب. الأخضر

ج. الأحمر

د. البرتقالي

هـ. ليس أيٌّ من هذه الخطوط



مثال ٤ (متابعة)

الحل

في هذه المسألة، علينا التفكير في عزم الدوران المؤثِّر في ملف عند تغيُّر زاوية الملف.

تذكَّر أن عزم الدوران، τ،المؤثِّر في ملف مستطيل يحمل تيارًا، وموضوع في مجال مغناطيسي؛

يساوي:

$$\tau = BIA \sin \phi,$$

حيث: B شدة المجال المغناطيسي، I شدة التيار المار بالملف، A مساحة الملف المستطيل، ϕ الزاوية التي يصنعها العمودي على المستطيل مع المجال المغناطيسي.

لكن في هذا السؤال، تُقاس الزاوية من جوانب المستطيل إلى المجال المغناطيسي. هنرمز لهذه الزاوية بالرمز θ. حيث:

$$\phi = 90° - \theta.$$

مثال ٤ (متابعة)

إذن، يُمْكِن كتابة معادلة عزم الدوران على الصورة:

$$\tau = BIA \sin (90 - \theta).$$

وبالأخذ في الاعتبار أن $\cos \theta = \sin (90 - \theta)$، يُمْكِننا كتابة ذلك على الصورة:

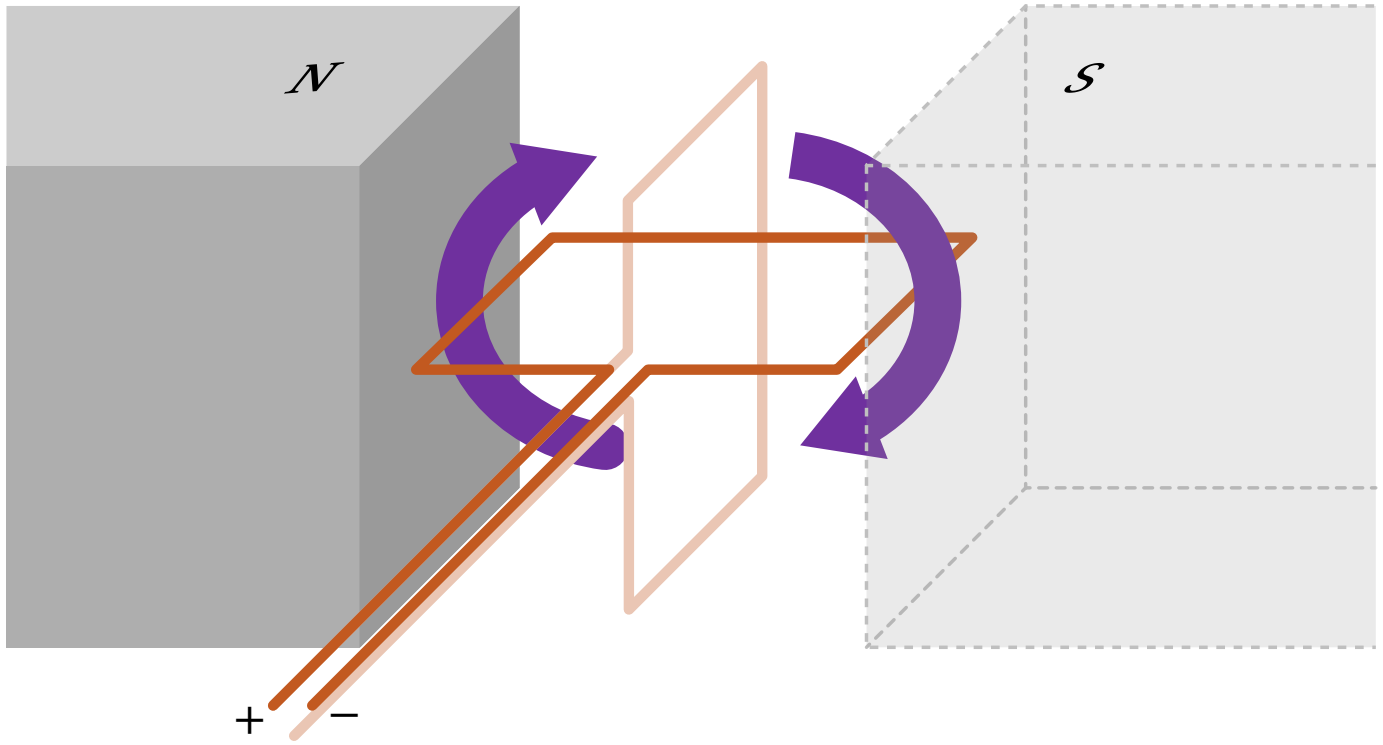
$$\tau = BIA \cos \theta.$$

إذن عند $\theta = 0°$ يكون عزم الدوران عند أقصى قيمة له، وعند $\theta = 90°$ يساوي عزم الدوران صفرًا. والخط الذي يطابق ذلك على التمثيل البياني هو الخط الأحمر.

إذن الإجابة هي الخيار ج، «الأحمر».

مثال ٥: حساب عزم الدوران المؤثِّر في ملف يحمل تيارًا في مجال مغناطيسي بمعلومية عزم ثُنائي القطب المغناطيسي

يوضِّح الشكل ملفًّا مستطيلًا يمرُّ به تيار، موضوع بين قطبين مغناطيسيين يُنتجان مجالًا شدته 250 mT. جانبا الملف الطويلان يوازيان المجال المغناطيسي ابتدائيًّا، وجانبا الملف القصيران يتعامدان على المجال المغناطيسي ابتدائيًّا. عزم ثُنائي القطب المغناطيسي للملف يساوي $500\ \mu\text{N}\cdot\text{m/T}$. يدور الملف بعد ذلك من خلال عزم دوران خارجي بزاوية 90°؛ بحيث تكون جميع جوانبه متعامدة على المجال المغناطيسي.



مثال ٥ (متابعة)

١. ما مقدار التغيُّر في عزم الدوران المؤثِّر على الملف بسبب دورانه؟ اكتب إجابتك لأقرب ميكرونيوتن · متر.

٢. عندما تزيد زاوية دوران الملف إلى قيم أكبر من 90°، ولكن أقل من 180°، كيف يمكن مقارنة اتجاه عزم الدوران المؤثِّر على الملف باتجاه عزم الدوران المؤثِّر عليه نتيجة المجال المغناطيسي؟

أ. اتجاه عزم الدوران المؤثِّر في الملف هو عكس اتجاه عزم الدوران المؤثِّر عليه نتيجة المجال المغناطيسي.

ب. اتجاه عزم الدوران المؤثِّر في الملف هو نفس اتجاه عزم الدوران المؤثِّر عليه نتيجة المجال المغناطيسي.

مثال ٥ (متابعة)

الحل

الجزء الأول

هذا الجزء من السؤال يطلب منا حساب عزم الدوران على الملف قبل الدوران وبعده بزاوية 90°.

تذكَّر أن عزم الدوران، τ، المؤثِّر في ملف يساوي:

$$\tau = BIAN \sin\theta,$$

حيث: شدة المجال المغناطيسي $B = 250\,\text{mT}$ I شدة التيار الذي يمر في الملف، A مساحة الملف المستطيل، N عدد لفّات الملف، θ الزاوية التي يصنعها العمودي على الملف مع المجال المغناطيسي.

مثال ٥ (متابعة)

قبل الدوران كان العمودي على الملف عموديًّا على المجال المغناطيسي، إذن $\theta = 90°$. بعد دوران الملف بزاوية $90°$ أصبح العمودي على الملف موازيًا للمجال المغناطيسي، إذن عزم الدوران عند هذا الوضع يساوي صفرًا.

والتغيُّر في عزم الدوران الناتج عن هذا الدوران يساوي ببساطة عزم الدوران قبل حدوث الدوران.

في هذه الحالة، مُعطًى لنا عزم ثُنائيُّ القطب المغناطيسي للملف قبل الدوران، وشدة المجال المغناطيسي. تذكَّر أن عزم ثُنائي القطب المغناطيسي، m_d، يرتبط بعزم الدوران المؤثِّر في الملف، τ، وشدة المجال المغناطيسي، B، من خلال المعادلة الآتية:

$$m_d = \frac{\tau}{B}.$$

مثال ٥ (متابعة)

يُمْكِننا إعادة ترتيب ذلك لإيجاد عزم الدوران المؤثِّر في الملف:

$$\tau = m_d B.$$

مُعطًى لنا قيم $m_d = 500\,\mu\text{N}\cdot\text{m/T}$، $B = 250\,\text{mT}$. بتحويل هذه القيم إلى وَحدات النظام الدولي نحصل على:

$$\begin{aligned} m_d &= 500\,\mu\text{N}\cdot\text{m/T} \\ m_d &= 0.0005\,\text{N}\cdot\text{m/T}, \\ B &= 250\,\text{mT} \\ B &= 0.25\,\text{T}. \end{aligned}$$

مثال ٥ (متابعة)

يُمْكِننا الآن حساب عزم الدوران على الملف:

$$\tau = m_d B$$
$$\tau = 0.0005\,\mathrm{N \cdot m/T} \times 0.25\,\mathrm{T}$$
$$\tau = 0.000125\,\mathrm{N \cdot m}.$$

بوَحدة ميكرونيوتن·متر هذا يساوي:

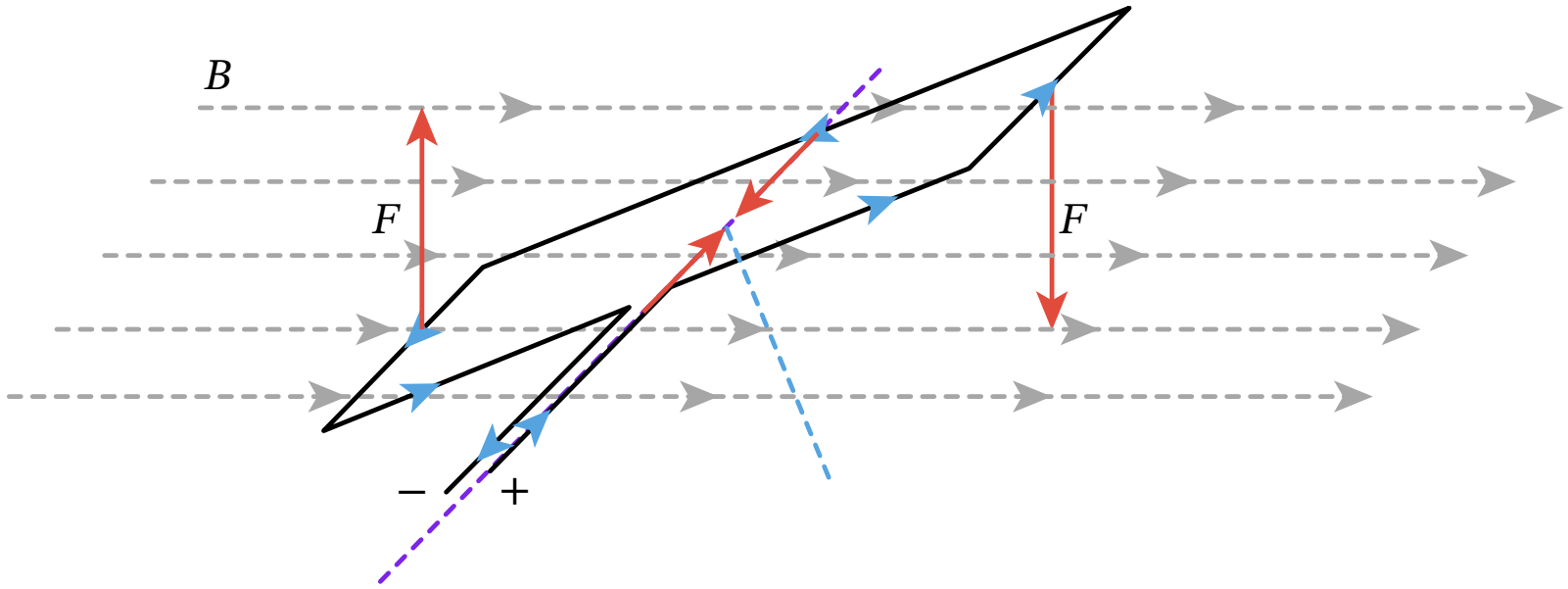
$$\tau = 125\,\mu\mathrm{N \cdot m}.$$

مثال ٥ (متابعة)

الجزء الثاني

مطلوب منا في هذا الجزء من السؤال التفكير فيما يحدث لعزم الدوران المؤثِّر في الملف عندما يدور أكثر من 90° من وضعه الابتدائي.

يُمْكِننا رسم مخطَّط لهذا الترتيب.



مثال ٥ (متابعة)

كما هو موضَّح، توجد قوة تؤثِّر لأسفل في الجزء الأيمن من الملف، وتوجد قوة تؤثِّر لأعلى في الجزء الأيسر من الملف.

وهذا يعني وجود عزم مغناطيسي يؤثِّر في اتجاه عقارب الساعة على الملف عندما يدور الملف بين 90° و180°.

كما أن عزم الدوران المُطبق على الملف لكي يدور من 90° إلى 180°؛ يؤثِّر في اتجاه عقارب الساعة أيضًا.

وهذا يعني أن اتجاه عزم الدوران المُطبق على الملف هو نفس اتجاه عزم الدوران المغناطيسي على الملف. إذن الإجابة هي الخيار ب.

النقاط الرئيسية

- عزم ثُنائي القطب المغناطيسي، m_d، لملف يحمل تيارًا، وموضوع في مجال مغناطيسي؛ يساوي عزم الدوران المؤثِّر في الملف، τ، مقسومًا على شدة المجال المغناطيسي B:

$$m_d = \frac{\tau}{B}.$$

- عزم الدوران، τ، المؤثِّر في ملف مستطيل مساحته A ، يحمل تيارًا I، وموضوع في مجال مغناطيسي شدته B، عندما يكون الملف موازيًا للمجال المغناطيسي، يساوي:

$$\tau = BIA.$$

- عندما يتكوَّن الملف المستطيل من عدد N من اللفّات، فإن عزم الدوران المؤثِّر في الملف يساوي:

$$\tau = BIAN.$$

- إذا كان العمودي على الملف يصنع زاوية θ مع المجال المغناطيسي، فإن عزم الدوران المؤثِّر في الملف يساوي:

$$\tau = BIAN \sin\theta.$$