chapter 30

Sources of the Magnetic Field

30.1 The Biot–Savart Law

30.2 The Magnetic Force Between Two Parallel Conductors

30.3 Ampère's Law

30.4 The Magnetic Field of a Solenoid

30.5 Magnetic flux Φ

30.6 Gauss's Law in Magnetism

Fig 30-CO, p.927

أهم مصدر للمجال المغناطيسي هو التيار الكهربائي لأنه شحنات متحركة. ويمكن حساب شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار الكهربائي عند أي نقطة في منطقة تأثيره عن طريق قانون بيوت وسافرت وقانون أمبير.

30.1 THE BIOT–SAVART LAW قانون بيوت وسافارت:

اذا كان ds تمثل عنصر طول متناهي في الصغر من سلك يحمل تيار كهربائي I فان المجال المغناطيسي dB عند النقطة P التي تبعد r عن ds يحقق:

١- المتجه dB عمودي على كل من ds ومتجه الوحدة

2- قيمة dB تتناسب عكسيا مع r^2 حيث r هي المسافة بين النقطة P و ds

٣- قيمة dB تتناسب طرديا مع I و ds و sin

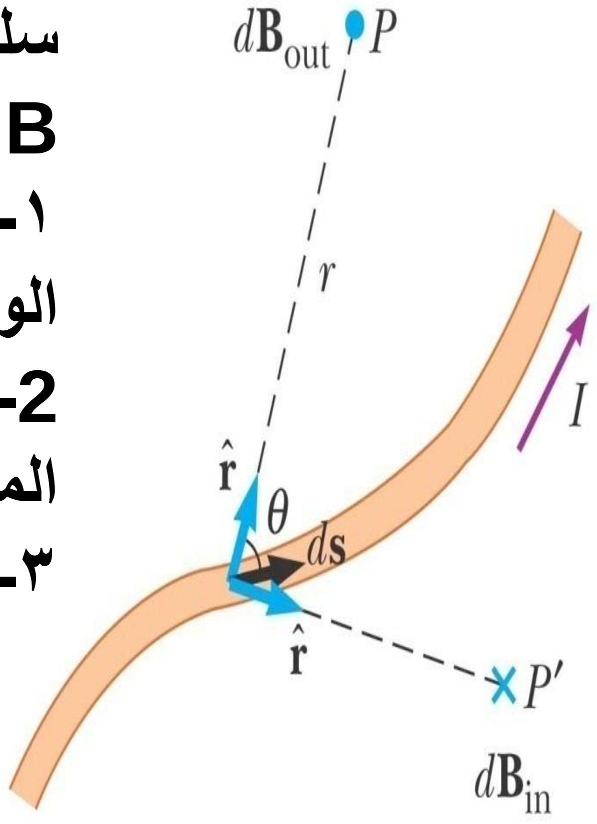


Fig 30-1, p.927

$$dB \propto \frac{Idl\ sin\theta}{r^2}$$

$$dB = K_m \frac{Ids\ sin\theta}{r^2}$$

حيث K_m ثابت التناسب ومقداره هو:

$$K_m = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

$$d\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\boldsymbol{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad T.m/A$$

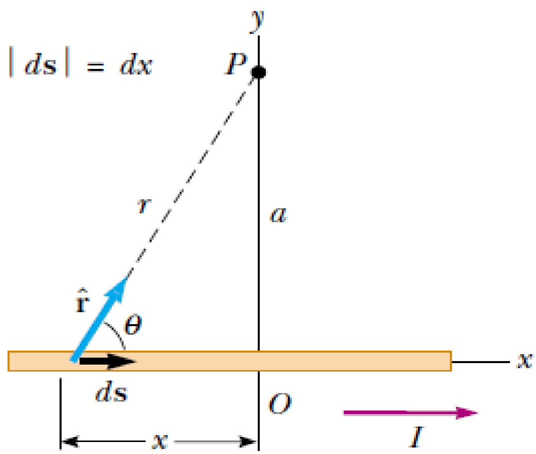
ويكون المجال الكلي B عند النقطة p هو:

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{4\pi} \int \frac{d\boldsymbol{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Application of Biot and Savart Law

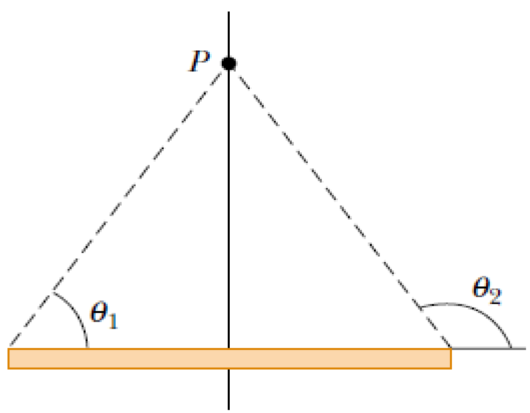
EXAMPLE 30.1 Magnetic Field Surrounding a Thin, Straight Conductor

المجال المغناطيسي الناتج عن تيار يمر في موصل مستقيم:



(a)

سلك مستقيم رفيع يحمل تيارا مقداره I موضوع على امتداد محور x كما بالشكل (30.3)
اوجد قيمة واتجاه المجال المغناطيسي عند النقطة p



(b)

Fig 30-3, p.929

باستخدام قانون بيوت وسافرت

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{4\pi} \int \frac{d\boldsymbol{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

$$d\boldsymbol{s} \times \hat{\mathbf{r}} = |d\boldsymbol{s} \times \hat{\mathbf{r}}|\hat{\mathbf{k}} = dx sin\theta \hat{\mathbf{k}}$$

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{4\pi} \int \frac{\mathrm{dx\ sin\theta}\ \hat{\mathbf{k}}}{r^2}$$

$$r = \frac{a}{sin\theta} = acsc\theta$$

$$tan\theta = \frac{a}{-x} \Rightarrow x = -a\,cot\theta$$

$$dx = a\,csc^2\theta\; d\theta$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{a\,csc^2\theta\; \sin\theta\; d\theta\; \hat{\mathbf{k}}}{a^2 csc^2\theta}$$

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta\; d\theta\;\; \hat{\mathbf{k}}$$

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}\; (\,cos\theta_1 - cos\theta_2)$$

ومن هذه المعادلة يمكن حساب المجال المغناطيسي الناتج عن أي موصل مستقيم ولكن إذا اعتبرنا الموصل لانهائي فإن :

$$\theta_1 = 0 \ \text{ and } \ \theta_2 = 180^o$$

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}\ (\,1 + 1)$$

$$\boxed{\Rightarrow \boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}}$$

Magnetic field direction

The right-hand rule for determining the direction of the magnetic field surrounding a long, straight wire carrying a current. Note that the magnetic field lines form circles around the wire.

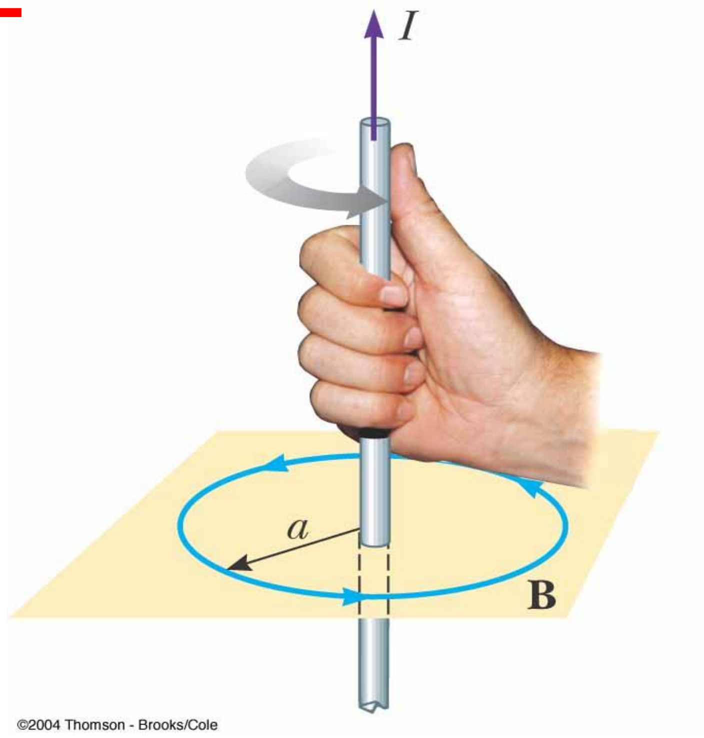


Fig 30-4, p.930

Example 30.2 Magnetic Field Due to a Curved Wire Segment

المجال المغناطيسي لموصل منحني

احسب المجال المغناطيسي عند النقطة o لموصل منحي يمر به تيار شدته I كما بالشكل (30.5) حيث نصف قطر الجزء الدائري هو R .

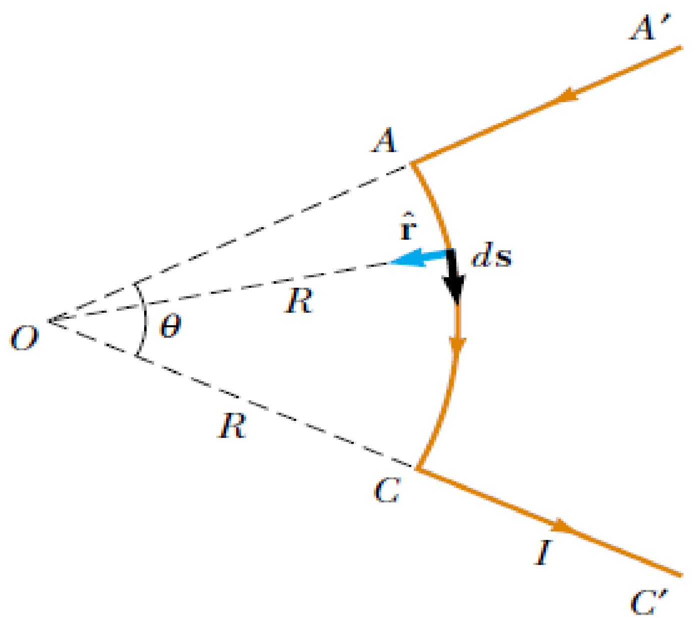


Figure 30.5 (Example 30.2) The magnetic field at O due to the current in the curved segment AC is into the page. The contribution to the field at O due to the current in the two straight segments is zero.

المجال المغناطيسي عند النقطة O الناتج عن التيار المار في الجزء المستقيم AA’ و CC’ يساوي صفر لان لان ds متوازية مع $\hat{\mathbf{r}}$ اما اجزء المنحني AC فكل نقطة منه تبعد نفس المسافة من O وتكون ds متعامدة مع $\hat{\mathbf{r}}$ أي ان:

$$d\boldsymbol{s} \times \hat{\mathbf{r}} = ds\, \hat{\mathbf{r}} \sin 90 = \mathrm{ds}$$

وبتطبيق قانون بيوت وسافارت وحيث ان R و I ثوابت في هذه الحاله فإن:

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{4\pi} \int \frac{ds}{R^2}$$

$$\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{4\pi R^2} \int ds = \frac{\mu_0 \mathrm{I}\ \mathrm{s}}{4\pi R^2}$$

وحيث ان المساحه S يمكن حسابها من :

$$s = R\theta$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}\,\theta}{4\pi R}$$

ويكون اتجاه المجال المغناطيسي عند O داخل للصفحة لان $\hat{\mathbf{r}} \times \boldsymbol{ds}$ سيكون داخل للصفحة

لو كان الجزء المنحني هو دائرة كامله يمر بها تيار I فإن $\theta = 2\pi$ وتكون قيمة المجال المغناطيسي عند مركز الدائرة هو:

$$\boxed{\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{2R}}$$

Example 30.3 Magnetic Field on the Axis of a Circular Current Loop

المجال المغناطيسي الناشئ عن حلقه دائرية

حلقة دائرية نصف قطرها R تقع في المستوى yz وتحمل تيارا شدته I احسب المجال المغناطيسي عند نقطة p تقع على المحور x المار في مركز الحلقة والعمودي على مستواها وعلى بعد x من المركز كما بالشكل (30.6).

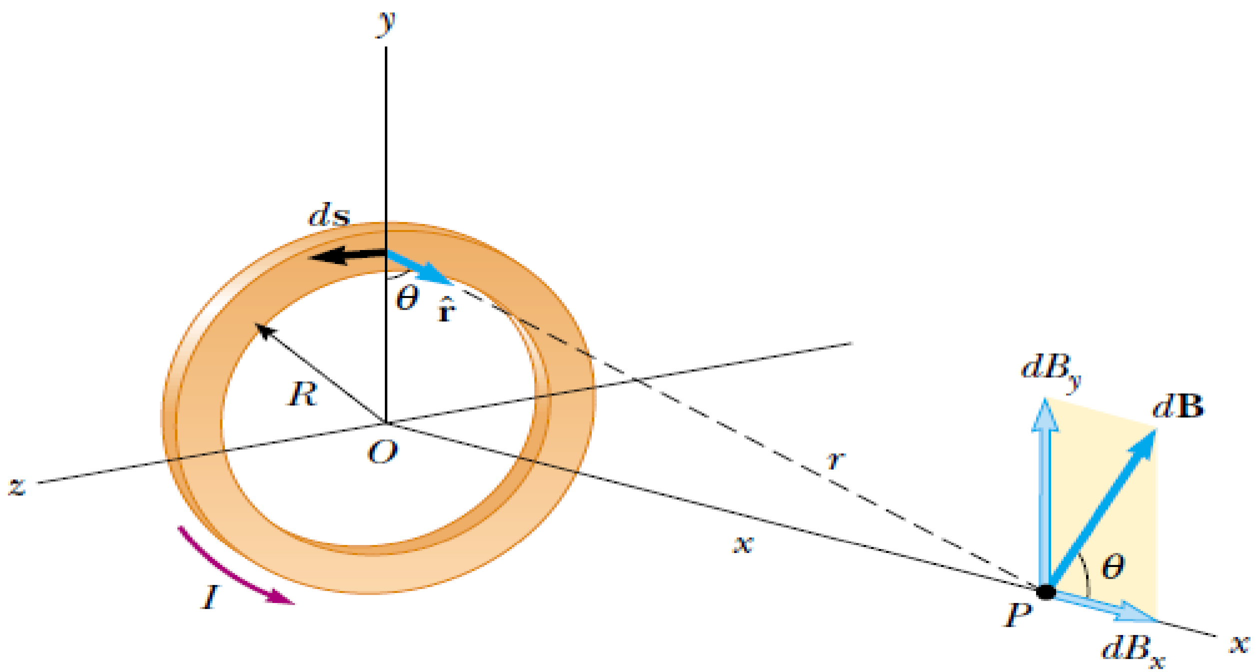


Figure 30.6 (Example 30.3) Geometry for calculating the magnetic field at a point P lying on the axis of a current loop. By symmetry, the total field $\mathbf{B}$ is along this axis.

كل عنصر طول ds متعامدة مع $\hat{\mathbf{r}}$ أي ان:

$$d\boldsymbol{s} \times \hat{\mathbf{r}} = ds\ (1)\ \sin 90 = \mathrm{ds}$$

وكذالك فان كل عنصر طول حول الحلقة يبعد نفس المسافه r من النقطة p حيث :

$$r^2 = x^2 + R^2$$

ويكون المجال المغناطيسي الناتج عن التيار المار في اي وحدة طول:

$$d\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{4\pi}\ \frac{|d\boldsymbol{s} \times \hat{\mathbf{r}}|}{r^2}$$

$$d\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{4\pi}\ \frac{ds}{x^2 + R^2}$$

ويكون اتجاه المجال عمودي على المستوى الحاوي لكلا من $d\boldsymbol{s}$ و $\mathbf{r}$ وتكون محصلة المجال في اتجاه x اي ان:

$$d\boldsymbol{B}_x = \mathrm{dB}\cos\theta$$

$$B = \boldsymbol{B}_x \mathrm{i}$$

$$\boldsymbol{B}_x = \oint \mathrm{dB}\cos\theta$$

$$\boldsymbol{B}_x = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{4\pi} \oint \frac{ds}{x^2 + R^2} \cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{R}{r} = \frac{R}{(x^2 + R^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\boldsymbol{B}_x = \frac{\mu_0 \mathrm{IR}}{4\pi (x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \oint ds$$

$$\boldsymbol{B}_x = \frac{\mu_0 \mathrm{IR}}{4\pi(x^2+R^2)^{\frac{3}{2}}} 2\pi R$$

$$\boxed{\boldsymbol{B}_x = \frac{\mu_0 \mathrm{IR}^2}{2(x^2+R^2)^{\frac{3}{2}}}}$$

ولو اردنا معرفة المجال عند مركز الحلقة نضع x=0

فنحصل على:

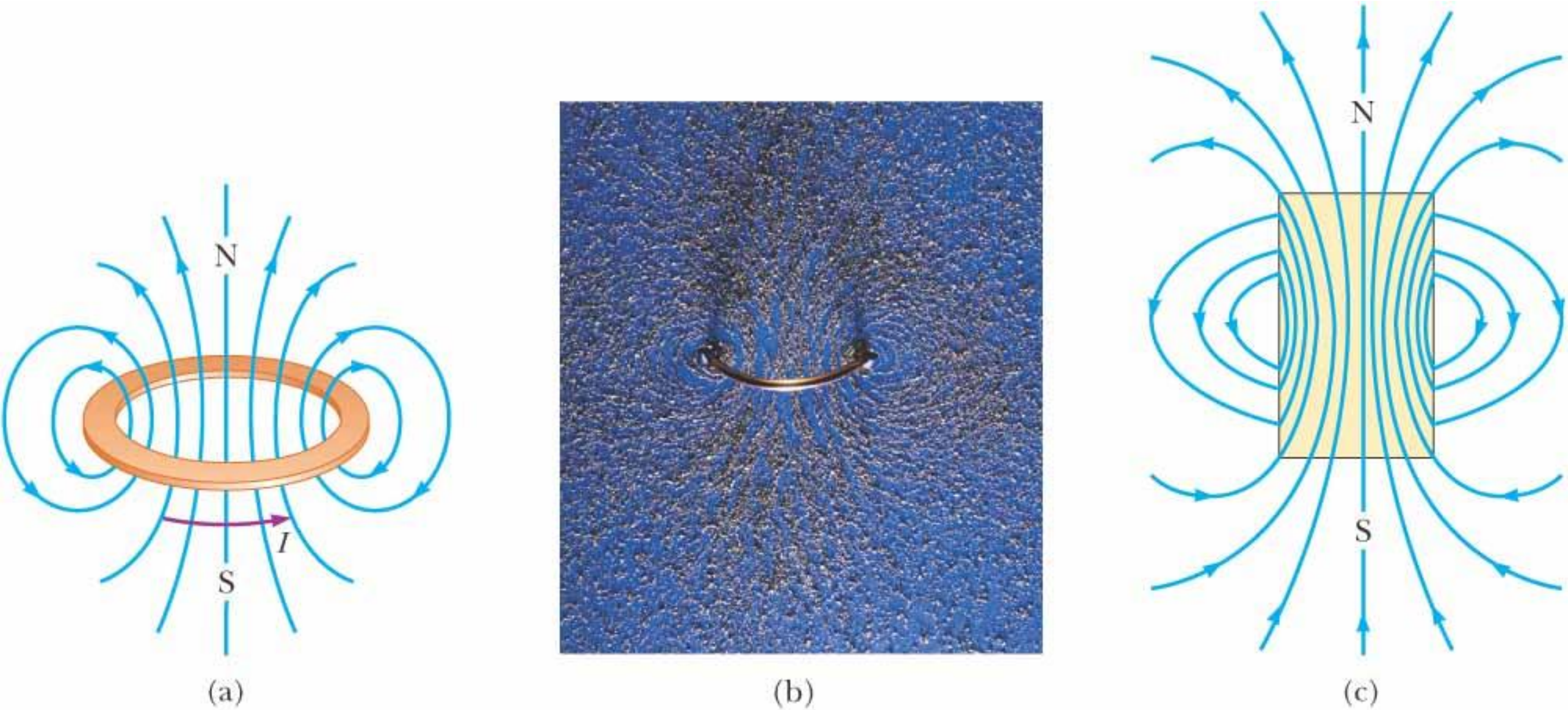
$$B = \frac{\mu_0 \mathrm{IR}}{4\pi R^3} 2\pi R$$

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 \mathrm{I}}{2R}}$$

وهو نفس ما حصلنا عليه في المثال السابق

اذا كانت $R \ll x$ فانه يمكن اهمال الحد الذي فيه R من المقام اي ان:

$$B = \frac{\mu_0 \mathrm{IR}^2}{2x^3}$$



(a) Magnetic field lines surrounding a current loop.
(b) Magnetic field lines surrounding a current loop, displayed with iron filings.
(c) Magnetic field lines surrounding a bar magnet. Note the similarity between this line pattern and that of a current loop

Fig 30-7, p.931

Ex: The magnetic filed due to electric current in a long straight wire having 100 A and at a distance of 2 mm is: (10mT)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Ex: The magnetic field at 10 m from a long straight conductor currying 3 A is 0.06μT

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Ex: Two cables have the same diameter . The first one is carrying 20 A only and the second one is carrying 100 A . The ratio B1/B2 is : 20/100

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Ex: A current 3A is passing a wire and if the resulted magnetic field was 2 T . Then the diameter of this filed will be **2r = 600nm**

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

30.3 AMPÈRE'S LAW

قانون امبير

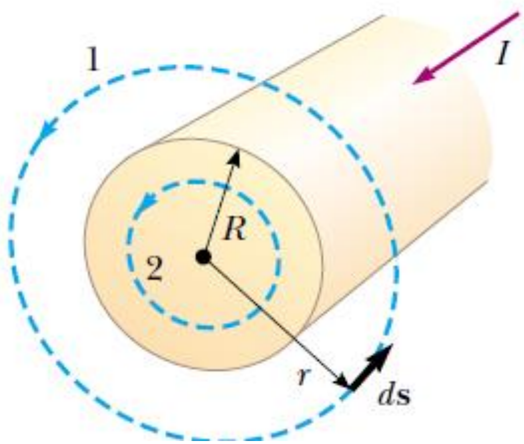
يسهل حساب المجال المغاطيسي الناتج عن تيارات ذات تماثل عالي كما يعطي تصور اوضح للمجال المغاطيسي وبالتالي فهو افضل من قانون بيوت وسافارت وخاصة في المسائل المعقدة وهو يشبه قانون جاوس في حساب المجال الكهربائي.

نص قانون امبير : التكامل الخطي لشدة المجال المغناطيسي حول اي مسار مغلق يساوي الجموع الجبري للتيارات المارة داخل هذا المسار مضروبا في ثابت نفاذية الفراغ المغناطيسية اي ان:

$$\oint \mathbf{B} \,.\, d\mathbf{s} = \oint B \, ds \cos\theta = \mu_0 i$$

المجال المغناطيسي الناتج عن تيار يمر في موصل مستقيم:

EXAMPLE 30.4 The Magnetic Field Created by a Long Current-Carrying Wire



موصل مستقيم طويل نصف قطره R كما بالشكل يحمل تيارا مقداره I احسب المجال المغناطيسي عند النقطة:

١- خارج الموصل وتبعد r عن محور الموصل

٢- داخل الموصل وتبعد r عن محور الموصل

٣- على سطح الموصل

الحل:

١) عند نقطه خارج السلك اي ان $r > R$

تكون خطوط القوى المغناطيسه على شكل دوائر حول الموصل وبالتالي من الانسب ان نختار المسار المغلق دائره نصف قطرها نفس بعد النقطه r ومستواها عمودي عليه حيث تكون شدة المجال ثابته ثابته على هذا المسار ويكون اتجاه B هو نفس اتجاه ds وبالتالي فان:

$$\oint \mathbf{B}\,.\,\mathrm{d}\mathbf{s} = \oint \mathrm{B}\,\mathrm{d}s\cos\theta = \mu_0 i$$

$$\oint \mathbf{B}\,.\,\mathrm{d}\mathbf{s} = \oint \mathrm{B}\,\mathrm{d}s\cos 0 = \mu_0 i$$

$$\Longrightarrow B\oint \mathrm{d}s = \mu_0 i$$

$$B(2\pi r) = \mu_0 i$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \qquad\qquad r > R$$

وهو ما حصلنا عليه بقانون بيوت وسافار

٢)- عند نقطه داخل السلك اي ان $r < \mathrm{R}$

اذا اخترنا مسارا مغلق نصف قطره r داخل الموصل يكون التيار $\grave{i}$ المار داخل المسار هنا اقل من التيار الكلي i ويحسب عن طريق كثافة التيار اي ان:

$$\grave{i} = J\,(A) = J\,\pi r^2$$

$$\Rightarrow \grave{i} = \frac{i}{\pi R^2}\ \pi r^2 = i(\frac{r}{R})^2$$

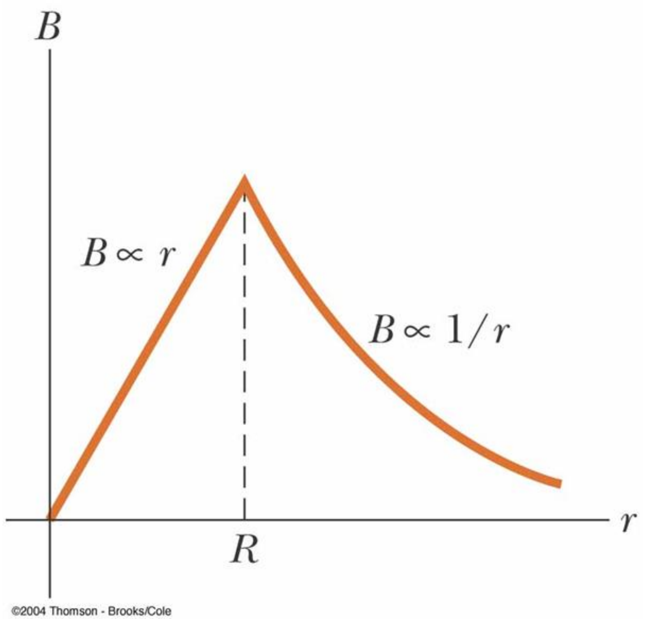
وبتطبيق قانون امبير

$$\oint \mathbf{B} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{s} = \oint \mathrm{B}\, \mathrm{d}s \cos 0 = \mu_0 i$$

$$\Rightarrow B \oint \mathrm{d}s = \mu_0 i$$

$$B(2\pi \mathrm{r}) = \mu_0 i$$

$$\boxed{B = \left(\frac{\mu_0 i}{2\pi R^2}\right) r \qquad r < R}$$



٣)- عند نقطه داخل الموصل اي ان $r = \mathrm{R}$

نتبع نفس الطريقة

$$B \oint \mathrm{d}s = \mu_0 i$$

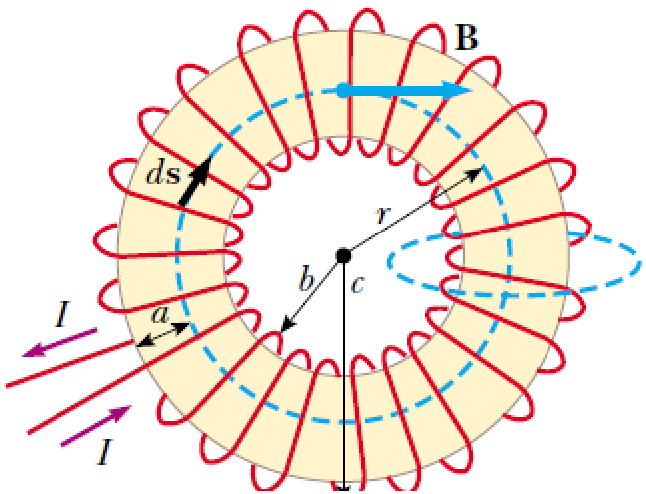
$$B(2\pi R) = \mu_0 i$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{(2\pi R)} \qquad \boldsymbol{r = R}$$

Example 30.5 The Magnetic Field Created by a Toroid

المجال المغناطيسي لملف اطاري

من الشكل المجاور خطوط المجال المغاطيسي الناشئة عن مرور التيار الكهربائي في الملف الاطاري تكون على شكل دوائر متحدة المركز داخل الملف وباخذ احدها كمسار مغلق نصف قطره r فاذا كان عدد لفات الملف N لفه يكون التيار داخل المسار المغلق iN وبتطبيق قانون امبير:



$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \oint B\, ds \cos\theta = \mu_0 i$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \oint \mathrm{B}\, ds \cos\theta = \mu_0 i$$

$$B \oint ds = \mu_0 N i$$

$$B(2\pi r) = \mu_0 N i$$

$$B = \frac{\mu_0 N i}{2\pi r} \qquad \boldsymbol{b < r < c}$$

30.4 THE MAGNETIC FIELD OF A SOLENOID

المجال المغاطيسي لملف لولبي

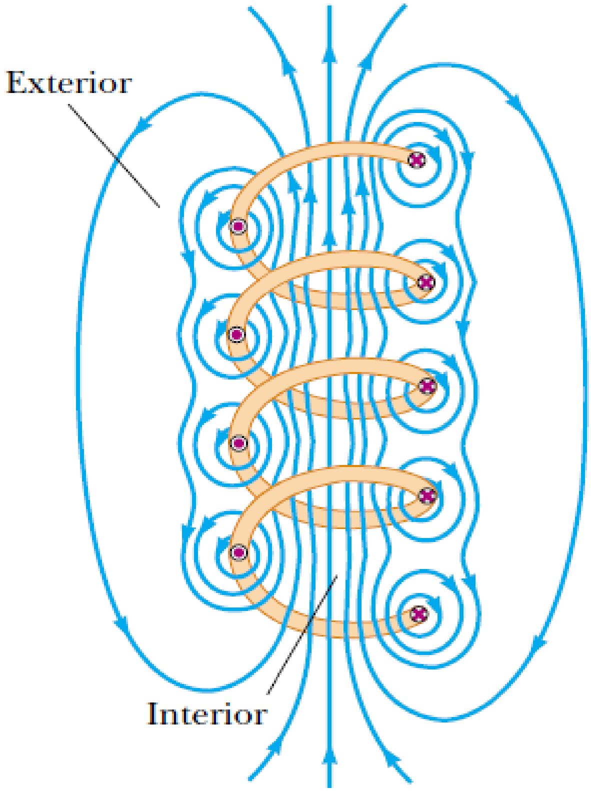
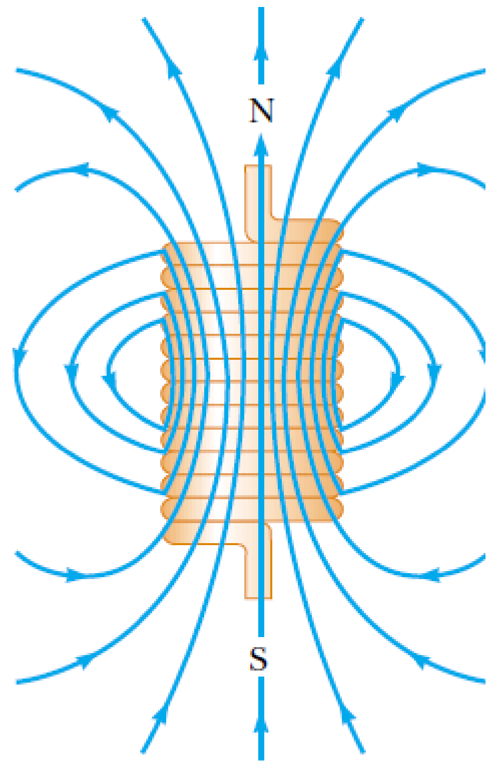
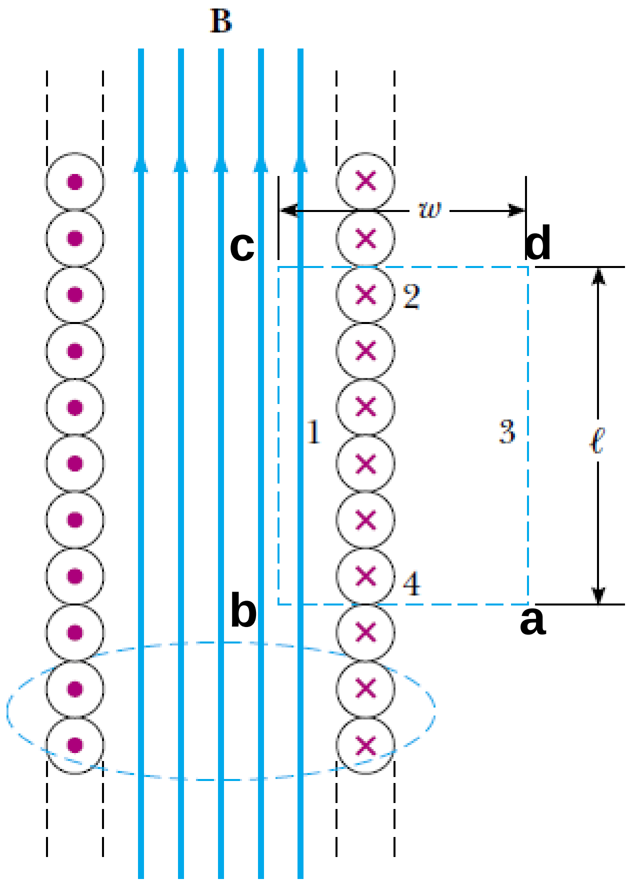


Figure 30.17 The magnetic field lines for a loosely wound solenoid.





الملف اللولبي يتكون من سلك ملفوف لفات دائرية متراصة لتكون اسطوانة كما بالشكل وعند مرور التيار بالملف يتولد مجالا مغناطيسيا قويا ومنتظما داخل الملف ويكون على شكل خطوط مستقيمة موازية لمحور الملف بينما يكون المجال خارج الملف ضعيف ولحساب شدة المجال المغناطيسي داخل الملف نطبق قانون امبير على المسار المغلق كما بالشكل والذي يتكون من اربعة اجزاء هي 1,2,3,4 وبالتالي فان:

$$\int_{a}^{b} \mathbf{B} \,.\, d\mathbf{s} + \int_{b}^{c} \mathbf{B} \,.\, d\mathbf{s} + \int_{c}^{d} \mathbf{B} \,.\, d\mathbf{s} + \int_{d}^{a} \mathbf{B} \,.\, d\mathbf{s} = \mu_0 i$$

وبما ان المجال خارج الملف صغير جدا فلذالك يمكن اهماله كذلك يكون المجال المغناطيسي B داخل الملف عمودي على المسارين ab و cd فتكون قيمة التكامل تساوي صفرا أي ان:

$$\oint \mathbf{B} \,.\, d\mathbf{s} = \int_{b}^{c} \mathbf{B} \,.\, d\mathbf{s} = \mathbf{B} \int ds = \mu_0 N i$$

$$\Longrightarrow \mathbf{B}\boldsymbol{l} = \mu_0 N i$$

حيث ان l هو طول الجزء bc **من المسار المغلق و N هي عدد اللفات الذي يحتويها المسار bc**

$$B = \frac{\mu_0 N i}{l}$$

واذا رمز لعدد اللفات في كل وحدة طول بالرمز n فإن :

$$B = \mu_0 n i$$

ومن هذه المعادلة يتضح ان المجال المغناطيسي داخل الملف يعتمد على عدد اللفات بالمتر وعلى شدة التيار ولا يعتمد على المكان داخل الملف.

مثال١ :

احسب شدة المجال المغناطيسي داخل ملف لولبي طولة 50cm ويحوي على 1000 لفه عندما يمر به تيار شدته 3A

الحل:

$$B = \mu_0 n i$$

$$\mathbf{B} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{1000}{0.5} \times 3 = 7.54 \times 10^{-3} \mathrm{T} = 75.4 \mathrm{~G}$$

مثال ٢:

ثني ملف لولبي عدد لفاته 3000 لفه على شكل اطار نصف قطره الداخلي 50cm والخارجي 60cm فما مقدار التيار الكهربائي اللازم امراره في الملف للحصول على مجال مغناطيسي مقداره 0.03T في مركز اللفات.

الحل:

$$B = \frac{\mu_0 N i}{2\pi r}$$

$$0.03 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 300 \times i}{2\pi(\frac{0.5 + 0.6}{2})}$$

$$i = 27.5 \text{ A}$$

Ex: A long solenoid (n= 1200 turns/m) has a current of a 30 A in its winding .the magnitude of the resulting magnetic filed at the centre point on the axis of the solenoid is: 45.2 mT

$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I$$

Ex: If a solenoid of 0.5 m length , having 10000 turns , curries a current of 10 A the magnetic filed inside its is : 0.25 T

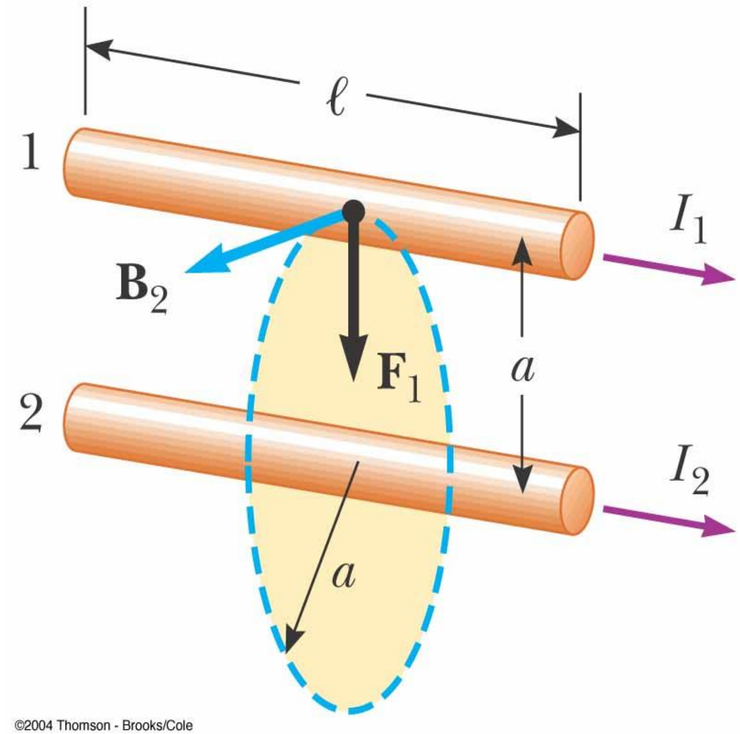
$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I$$

Ex: If a solenoid of 1 m length having 30000 turns curries a current of 2 A , the magnetic filed Inside is : 0.075 T

$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I$$

30.2 THE MAGNETIC FORCE BETWEEN TWO PARALLEL CONDUCTORS

القوة المغناطيسية المتبادلة بين موصليين متوازيين:



اذا كان لدينا موصلين طويلين طول كل منهما l ويمر في الاول تيار i_1 والثاني تيار i_2 كما بالشكل فان كلا منهما يؤثر على الاخر بقوه مغناطيسية نتيجة لوقوع كل منهما تحت تاثير المجال المغناطيسي للسلك الآخر.

Fig 30-8, p.932

فيكون المجال B_1 الذي يولده السلك الاول ويؤثر على السلك الاخرهو:

$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi a}$$

حيث a المسافة بين السلكين. حيث يؤثر هذا المجال على السلك الثاني بقوة مغناطيسية مقدارها:

$$\mathbf{F_{21}} = i_2 l B_1$$

$$\mathbf{F_{21}} = i_2 l \frac{\mu_0 i_1}{2\pi a} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi a} l$$

وبالمثل فإن B_2 الذي يولده السلك الثاني ويؤثر على السلك الاول هو:

$$\boldsymbol{B_2} = \frac{\mu_0 i_2}{2\pi a}$$

$$\mathbf{F_{12}} = i_1 l B_2$$

$$\mathbf{F_{12}} = i_1 l \frac{\mu_0 i_2}{2\pi a} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi a} l$$

ولهذا فان كل سلك يؤثر على الاخر بنفس القوه اي ان :

$$\mathbf{F} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi a} l$$

وتكون القوة لكل وحدة طول هي :

$$\frac{\mathbf{F}}{\boldsymbol{l}} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi a}$$

ومن هذه المعادلة يمكن تعرف الامبير

الامبير : هو شدة التيار الكهربائي الذي اذا مر في سلكين مستقيمين متوازيين وطويليين المسافة بينهما 1m موضوعين في الفراغ ينتج بينهما قوه مقدارها

$$\mathbf{2 \times 10^{-7} \boldsymbol{N/m}}$$

اي ان:

$$\frac{\mathbf{F}}{\boldsymbol{l}} = \frac{(4\pi 10^{-7})(1)(1)}{2\pi(1)} = 2 \times 10^{-7} N/m$$

مثال ١ :

سلكان طويلان متوازيان تفصلهما مسافة قدرها 10cm اذا مر تيار كهربائي شدته 20A في كل منهما فاحسب القوة المؤثرة على وحدة الاطوال لكل من السلكين اذا كان التياران : ١

١- في نفس الاتجاه ٢- متعاكسي الاتجاه

الحل:

١)

$$\frac{\mathbf{F}}{\boldsymbol{l}} = \frac{(4\pi 10^{-7})(20)(20)}{2\pi(0.1)} = 8 \times 10^{-4} N/m$$

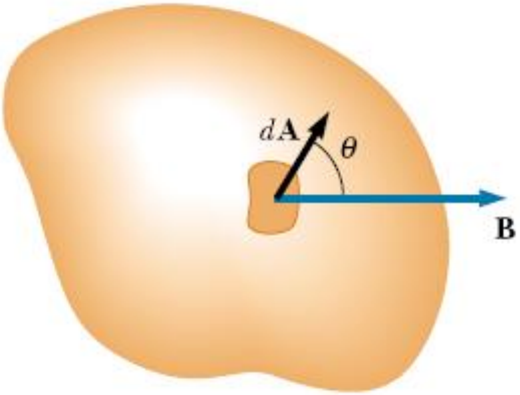
وتكون قوه تجاذب

٢) نفس قيمة القوه ولكن تكون قوة تنافر بين السلكين

30.5 MAGNETIC FLUX

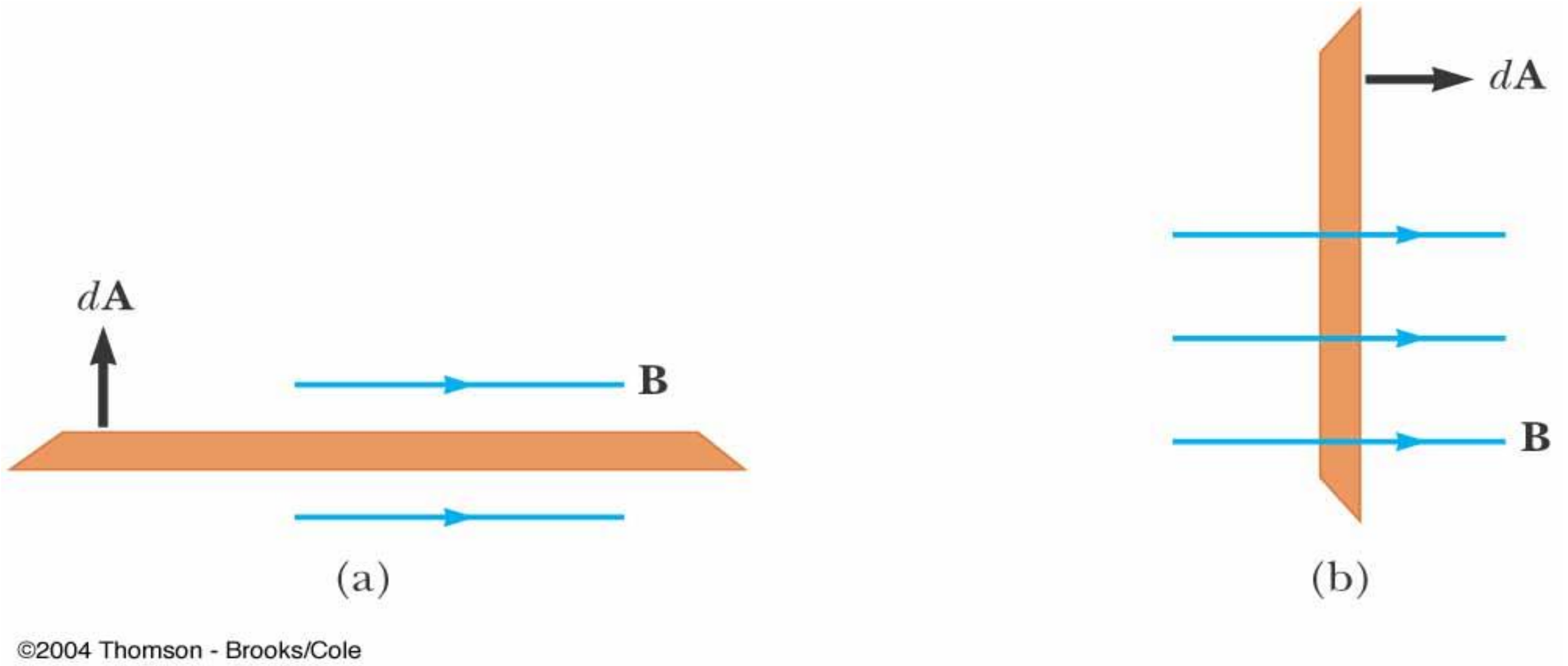
كما مر معنا في التدفق الكهربائي فإن التدفق المغناطيسي من سطح هو عبارة عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق السطح باتجاه عمودي عليه.

إذا اعتبرنا سطح كما بالشكل وان **dA** هو عنصر المساحة والمجال المغناطيسي المؤثر هو **B** فان التدفق المغناطيسي من السطح هو:



$$\emptyset_B = \oint \mathbf{B} \,.\, d\mathbf{A}$$

$$\emptyset_B = B\, dA \cos\theta$$



اذا كان المجال المغناطيسي موازي للسطح   أي ان الزاويه

$\theta = 90$ ومن ثم يكون التدفق = صفر

اما اذا كان المجال المغناطيسي عمودي على السطح فان

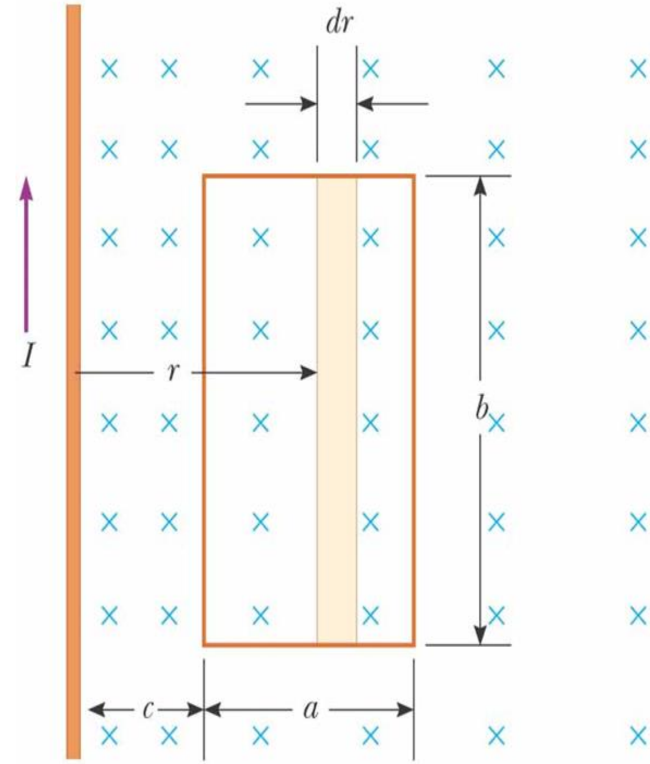
$\theta = 0$ فيكون التدفق اعلى ما يمكن $(\phi = BA)$

Fig 30-21, p.940

EXAMPLE 30.8 Magnetic Flux Through a Rectangular Loop

التدفق المغناطيسي من حلقه مستطيلة:

حلقة مستطيلة الشكل عرضها a وطولها b موضوعة قرب سلك يمر به تيار كهربائي شدته I والمسافة بين السلك واقرب حافه للحلقة هو c اوجد تدفق المجال المغناطيسي للتيار من خلال هذه الحلقة.



وحيث ان المجال المغناطيسي B موازي لمتجه المساحة dA أي ان $\theta = 0$ عند أي نقطة في الحلقة فان التدفق هو:

$$\boldsymbol{B} = \frac{\boldsymbol{\mu_0 I}}{\boldsymbol{2\pi r}}$$

$$\emptyset_B = \oint \mathbf{B} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{A}$$

$$\emptyset_B = \oint \frac{\boldsymbol{\mu_0 I}}{\boldsymbol{2\pi r}} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{A}$$

$$\mathrm{d}\mathbf{A} = \boldsymbol{bdr}$$

حيث r هو المتغير الوحيد

$$\Longrightarrow \emptyset_B = \oint \frac{\boldsymbol{\mu_0 I}}{\boldsymbol{2\pi r}} \,.\, \mathrm{bdr}$$

$$\Longrightarrow \emptyset_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \int_c^{a+c} \frac{dr}{r}$$

$$\Longrightarrow \emptyset_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} [\ln r]_c^{a+c}$$

$$\Longrightarrow \emptyset_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \left(\frac{a+c}{c}\right)$$

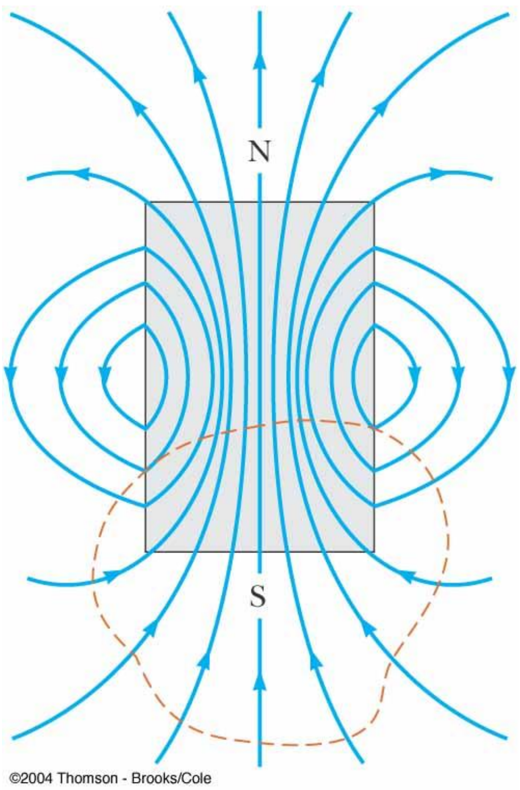
$$\Longrightarrow \emptyset_B = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{a}{c}\right)$$

قانون قاوس في المغناطيسية:

يختلف قانون قاوس في المجال المغناطيسية عنه في المجال الكهربائي لان خطوط المجال المغناطيسي على شكل حلقات مغلقه ولهذا فإن:

التدفق المغناطيسي الكلي خلال سطح مغلق يساوي صفر

$$\emptyset_B = \oint \mathbf{B} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{A} = \mathbf{0}$$

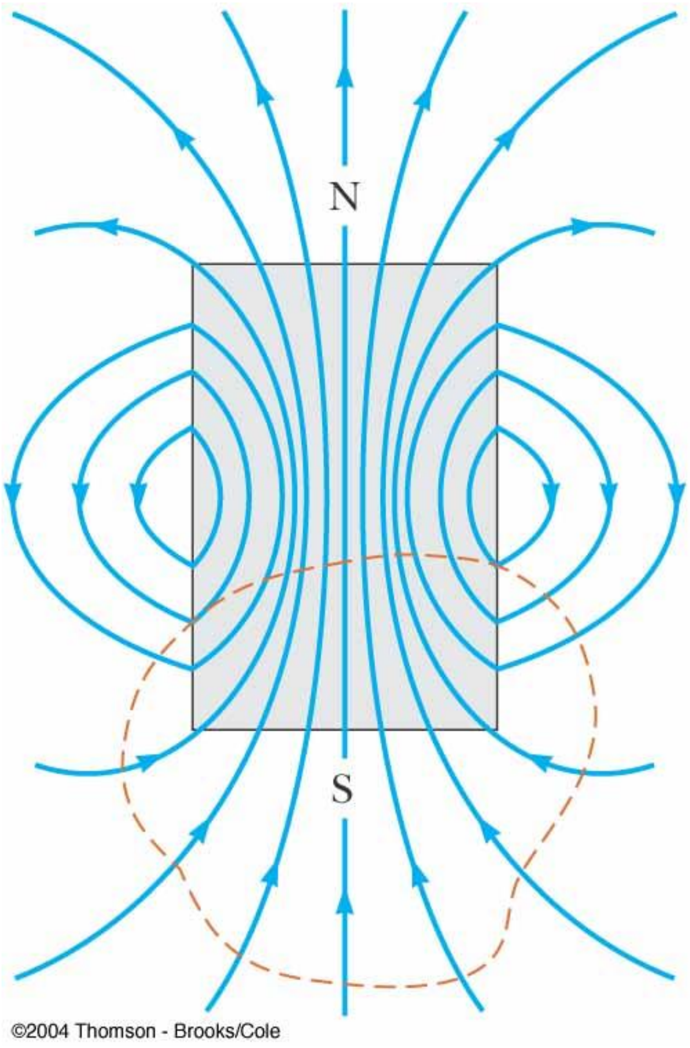


Gauss's law in magnetism states that

the net magnetic flux through any closed surface is always zero:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

Fig 30-23, p.942



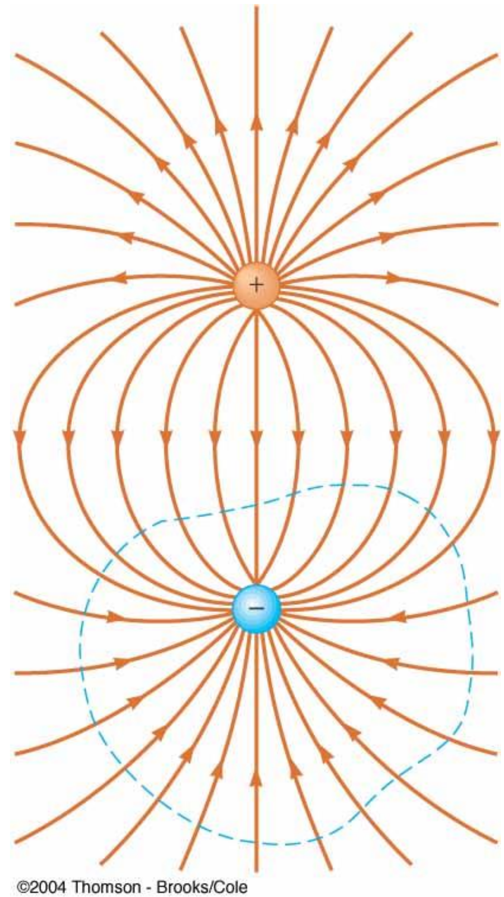


Fig 30-24, p.942

مثال١ :

وضعت صفيحة مربعة الشكل طول ضلعها 30cm في مجال مغناطيسي منتظم شدته 2T بحيث كان المجال عموديا على سطحها احسب تدفق المجال من سطح الصفيحة.

الحل:

$$\emptyset_B = \oint \mathbf{B} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{A} = \oint \mathrm{B\ dAcos0}$$

$$= \mathrm{B} \oint \mathrm{dA} = \mathrm{BA}$$

$$= 2\mathrm{T}(0.3 \times 0.3)$$

$$= 0.18\ \mathrm{T.m^2} = 0.18\ \mathrm{wb}$$

الخواص المغناطيسية للمواد:

اذا وضعت مادة عازلة في مجال كهربائي E فإنها تؤدي الى اضعافه ليصبح (E/K) حيث K ثابت العزل الكهربائي للمادة.

وبالمثل اذا وضعت مادة في مجال مغناطيسي B فانه يتغير ليصبح $(\mu_r B)$ حيث μ_r هي النفاذية المغناطيسية النسبية أي النسبة بين ثابت النفاذية المغناطيسية في المادة الى ثابت النفاذية في الفراغ أي ان

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

اذا كانت $\mu_r < 1$ تسمى الماده دايا مغناطيسية

اذا كانت μ_r اكبر بقليل من واحد تسمى الماده بارامغناطيسية

اذا كانت $\mu_r \gg 1$ تسمى الماده دايا مغناطيسية

المواد الدايا مغناطيسية (*Diamagnetic Materials)*:

يتم مغنطة المواد عن طريق وضعها في مجال مغناطيسي خارجي فاذا كان تمغنط المادة عكس اتجاه المجال الخارجي سميت الماده دايا مغناطيسيه ومن امثلة هذه المواد البزموث وعند تقريب هذه المواد من مغناطيس قوي فانها تنفر عنه.

وتضهر هذه الظاهر في المواد التي تكون مداراتها الخارجيه ممتلئه تماما.

المواد البارا مغناطيسية (paramagnetic Materials):

عند وضع هذه المواد في مجال مغناطيسي فانه يقوم بتوجيه بعض العزوم المغناطيسيه لالكترونات المادة باتجاه المجال فيتنتج عن ذالك تمغنط ضعيف ومن امثلة هذه المواد الالمنيوم والزنك.

وتحدث هذه الظاهرة في المواد التي تكون المدارات الخارجية لذراتها ممتلئة جزئيا.

المواد الفرومغناطيسية (*ferromagnetic Materials)*:

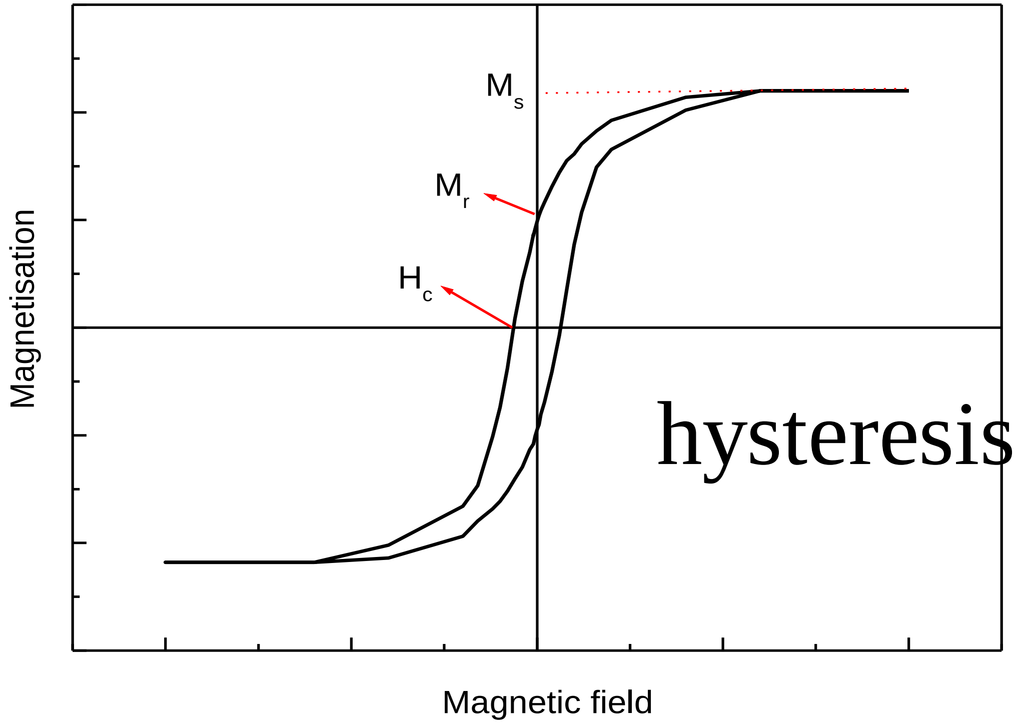
تتميز هذه المواد بتمغنطها التلقائي والدائم كما انه يزداد التمغنط كلما زادت شدة المجال المغناطيسي الخارجي حيث تحتفظ بالتمغنط بعد ازاله المجال الخارجي المطبق.

وتتكون هذه المواد في شكلها الاصلي من مناطق تسمى كلا منها (*domain*) وكل منطقه تكون عزومها المغناطيسيه في اتجاه واحد كما بالشكل ويكون محصلة التمغنط تساوي صفر.

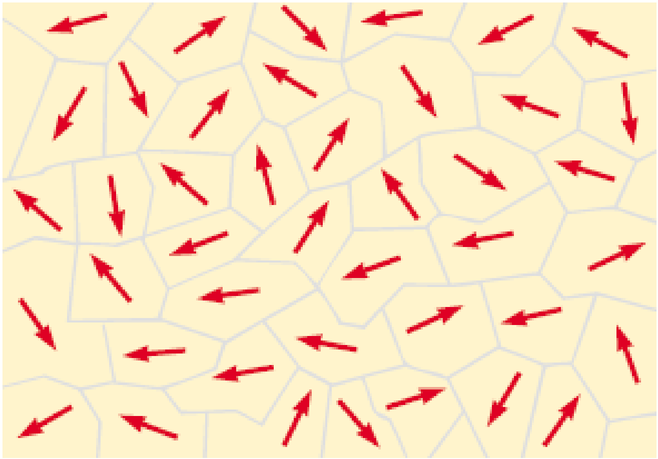
ولكن عند وضع هذه المواد في مجال مغناطيسي خارجي يزادد التمغنط حتي تتجه كل العزوم المغناطيسية في اتجاه المجال الخارجي المطبق وتصل المادة الي حالة التشبع

المغناطيسي (كما بالشكل). ومن امثلة هذه المواد الحديد والكوبالت والنيكل

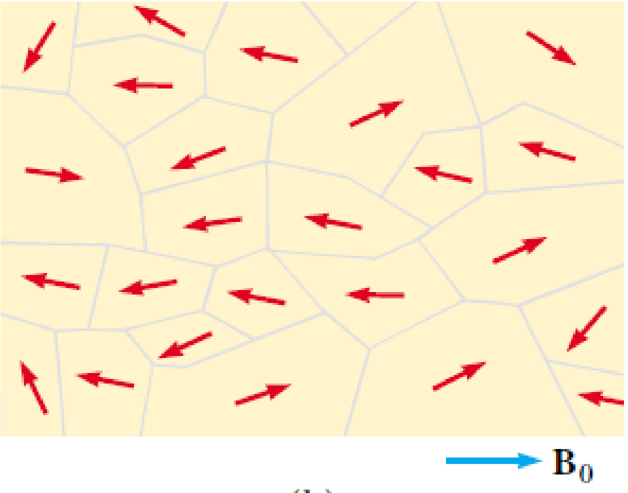
وتحدث هذه الظاهرة في المواد التي تكون المدارات الخارجية لذراتها نصف ممتلئة.



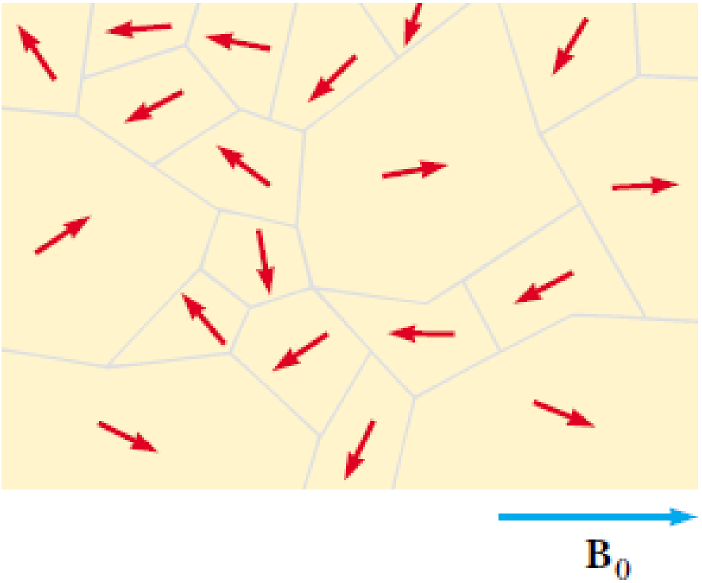
hysteresis loop



(a)



(b)



(c)

SUMMARY

The **Biot–Savart law** says that the magnetic field $d\mathbf{B}$ at a point P due to a length element $d\mathbf{s}$ that carries a steady current I is

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\, d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2} \qquad \textbf{(30.1)}$$

where $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T \cdot m/A}$ is the **permeability of free space,** r is the distance from the element to the point P, and $\hat{\mathbf{r}}$ is a unit vector pointing from $d\mathbf{s}$ to point P. We find the total field at P by integrating this expression over the entire current distribution.

The magnetic field at a distance a from a long, straight wire carrying an electric current I is

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \qquad \textbf{(30.5)}$$

The field lines are circles concentric with the wire.

The magnetic force per unit length between two parallel wires separated by a distance a and carrying currents I_1 and I_2 has a magnitude

$$\frac{F_B}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \tag{30.12}$$

The force is attractive if the currents are in the same direction and repulsive if they are in opposite directions.

Ampère's law says that the line integral of $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$ around any closed path equals $\mu_0 I$, where I is the total steady current passing through any surface bounded by the closed path:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I \tag{30.13}$$

Using Ampère's law, one finds that the fields inside a toroid and solenoid are

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r} \qquad \text{(toroid)} \tag{30.16}$$

$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I \qquad \text{(solenoid)} \tag{30.17}$$

where N is the total number of turns.

The **magnetic flux Φ_B** through a surface is defined by the surface integral

$$\Phi_B \equiv \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \tag{30.18}$$

Gauss's law of magnetism states that the net magnetic flux through any closed surface is zero.