

الدارات الكهربائية 1

الدكتور المهندس
علاء الدين أحمد حسام الدين



أسس المغناطيسية

THE BISEC OF MAGNETISEM

مفهوم الحقل المغناطيسي :Magnetic Field Concept

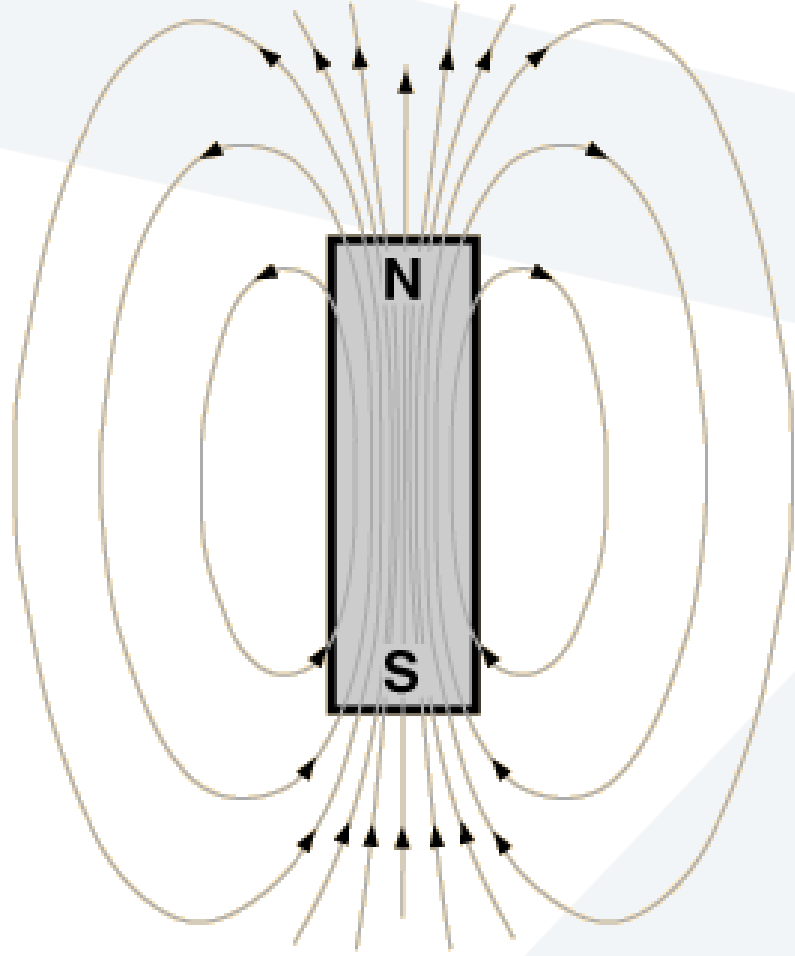
تتكوّن الذّرة كما هو معلوم من نواة تضم بروتونات موجبة وإلكترونات سالبة تدور حول مدارات ذات مستويات طاقة محدّدة. الإلكترونات تدور حول النواة، وتدور حول نفسها. يتولد الحقل المغناطيسي حول الإلكترون باتجاه معين عند دورانه حول نفسه، وتدور الإلكترونات حول النواة، بعضها بالاتجاه الموجب الموافق لاتجاه عقارب الساعة، وبعضها بالاتجاه السالب الموافق لعكس اتجاه عقارب الساعة ويرتبط بها حقل مغناطيسي له اتجاه حركتها. الحقل المغناطيسي الكلي لذرة ما قد يكون مساوٍ للصفر، وذلك حسب عدد الإلكترونات التي تدور في اتجاه ما، وعدد الإلكترونات التي تدور في الاتجاه المعاكس، الأمر الذي يفسر وجود مواد مغناطيسية ومواد لا مغناطيسية.

في المواد المغناطيسية يكون عدد الإلكترونات التي تدور في أحد الاتجاهين أكبر منه في الاتجاه المعاكس، وبذلك فإن الحقلين المغناطيسيين المتولدين عنهما لا يكونان متساويين، ويكون الحقل المغناطيسي الكلي مساوٍ لمحصلة هذين الحقلين. أما في المواد غير المغناطيسية فتكون هذه الحقول متساوية ومتعاكسة، وليس لها محصلة، وبذلك يكون التحريض المغناطيسي لهذه المواد مساوٍ للصفر.

ويُعدّ الحديد من أكثر المعادن أهمية من الناحية المغناطيسية، فذارته تمتلك مجالات قوية جداً. فإذا كانت هذه الذرات مرتبة بحيث تقوي مجالاتها، فسيتكون عندئذٍ حول الجسم الحديدي مجالاً مغناطيسياً. ويسمى مثل هذا الجسم مغناطيساً.

عندما يكون ترتيب الذرات أو الجزيئات داخل الجسم مشوشاً تضعف مجالاتها ولا يكون هناك مجال مغناطيسي حول الجسم الحديدي. ويمكننا مغنطة هذا الجسم بوضعه ضمن حقل مغناطيسي خارجي، بحيث تصبح جزيئاته مرتبة ترتيباً منظماً بتأثير هذا الحقل.

بعد إبعاد الجسم عن تأثير هذا الحقل فإنه يحتفظ بمغناطيسيته بصورة ثابتة ودائمة، أي أنه يصبح مغناطيساً ثابتاً يستطيع جذب الأجسام الحاوية على حديد. وتكون قوة الجذب أكبر ما يمكن في نهايتي المغناطيس، اللتين تسميان قطبي المغناطيس (magnetic poles).

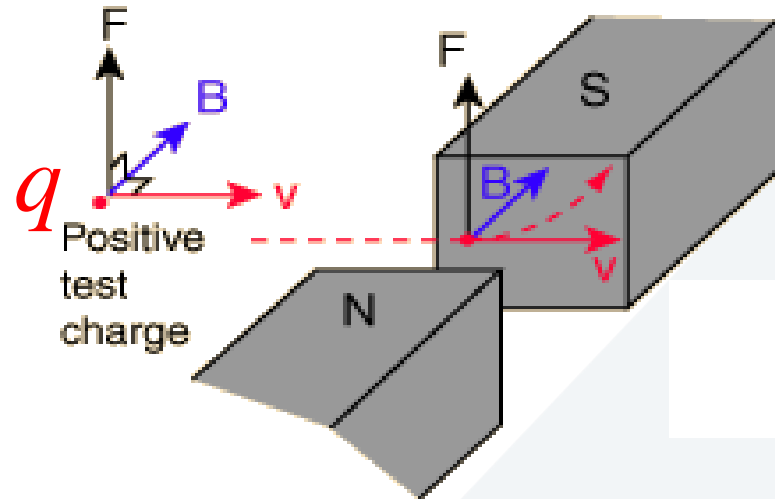


يتم تمثيل الحقل المغناطيسي بخطوط قوى تنطلق من القطب الشمالي وتصب في القطب الجنوبي لتعود عبر الجسم المغناطيسي إلى القطب الشمالي. تحيط هذه الخطوط بالجسم وفق أبعاده الثلاثة وتتقارب من بعضها دون أن تتلامس، مشكّلةً حقلاً مغناطيسياً مستمراً حوله، كما هو موضّح في الشكل.

تمثيل خطوط الحقل المغناطيسي حول أحد الأجسام الممغنطة.

القوة المغناطيسية Magnetic Force: (قوة لورنتز Lorentz Force)

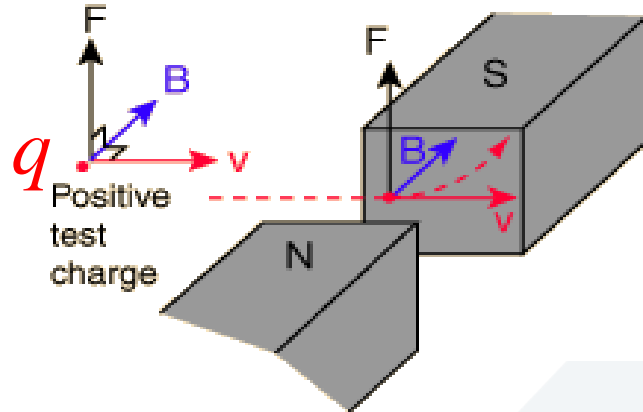
ليكن لدينا جسماً مادياً اختبارياً صغيراً مشحوناً بشحنة كهربائية موجبة q . إذا حرّكنا هذا الجسم بشكل منتظم بسرعة ثابتة v في الفراغ المحيط بأحد الأجسام المغناطيسية، فإننا نلاحظ أن هناك قوة جديدة تؤثر في الجسم، سميت بالقوة المغناطيسية أو قوة لورنتز (F) نسبةً للعالم الذي اكتشفها لأول مرة.



القوة المغناطيسية.

وقد أظهرت التجارب ارتباط هذه القوة بثلاث خواص فيزيائية: حالة الجسم المشحون، وحركته، وحالة الجسم المغناطيسي. فإذا زالت إحدى هذه الخواص فستزول هذه القوة المغناطيسية.

وقد اتضح بنتيجة هذه التجربة أن الحقل المغناطيسي ما هو إلا وسيط يقوم بنقل الخواص الثلاث المذكورة، بمعنى أنه يحمل تأثير الأجسام المغناطيسية في الأجسام الكهربائية المتحركة أمامها (**الجسم المشحون**). وتبين من خلال التجربة أن القوة المغناطيسية تتناسب طردياً مع كلٍ من شحنة الجسم المادي الاختباري ومع سرعته:



$$F \sim q \cdot v$$
$$\Rightarrow F = q \cdot v \cdot B$$

حيث **B** هو ثابت التناسب الذي يتعلّق بحالة الجسم المغناطيسي وحالة الفراغ المحيط به، وهو كمية شعاعية تسمى شعاع التحريض المغناطيسي.

القوة المغناطيسية.

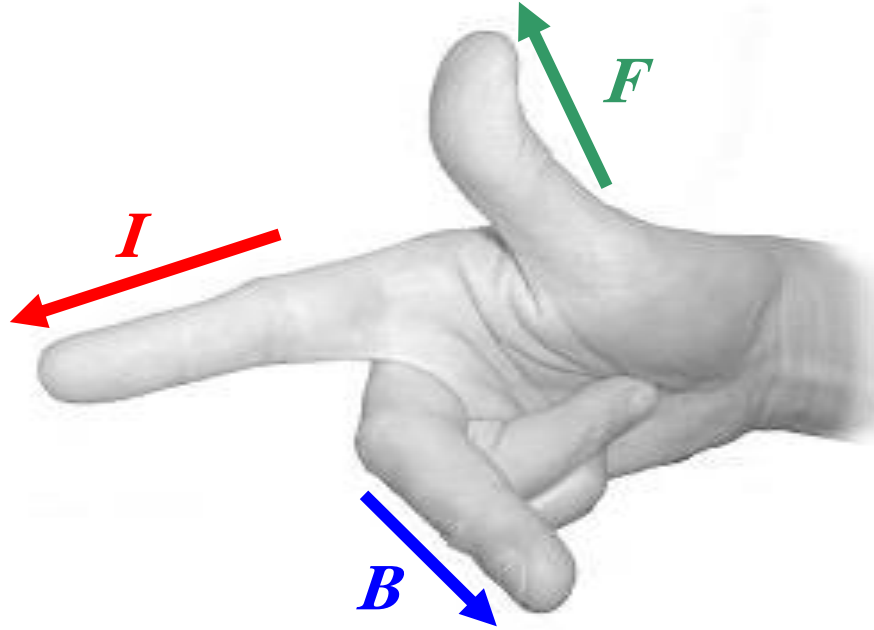
القوة المغناطيسية الناتجة عن سريان التيار في ناقل.

$$F = q \cdot v \cdot B = q \cdot \frac{l}{t} \cdot B = I \cdot l \cdot B \Rightarrow B = \frac{F}{I \cdot l}$$

حسب العلاقة السابقة فإن التحريض المغناطيسي يساوي عددياً القوة الكهرومغناطيسية التي تؤثر في ناقل طوله **1 [m]** ومتوضع بشكل متعامد مع الحقل عند مرور تيار في هذا الناقل قيمته **1 [A]**.

$$\begin{aligned} [B] &= \frac{[F]}{[I] \cdot [l]} = \left[\frac{N}{A \cdot m} \right] = \left[\frac{J}{A \cdot m} \right] = \left[\frac{J}{A \cdot m^2} \right] = \left[\frac{V \cdot C}{A \cdot m^2} \right] = \left[\frac{V \cdot A \cdot s}{A \cdot m^2} \right] = \\ &= \left[\frac{V \cdot s}{m^2} \right] = \left[\frac{Wb}{m^2} \right] = [T] \text{ Tesla} \end{aligned}$$

يمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة بوساطة قاعدة أصابع اليد اليمنى

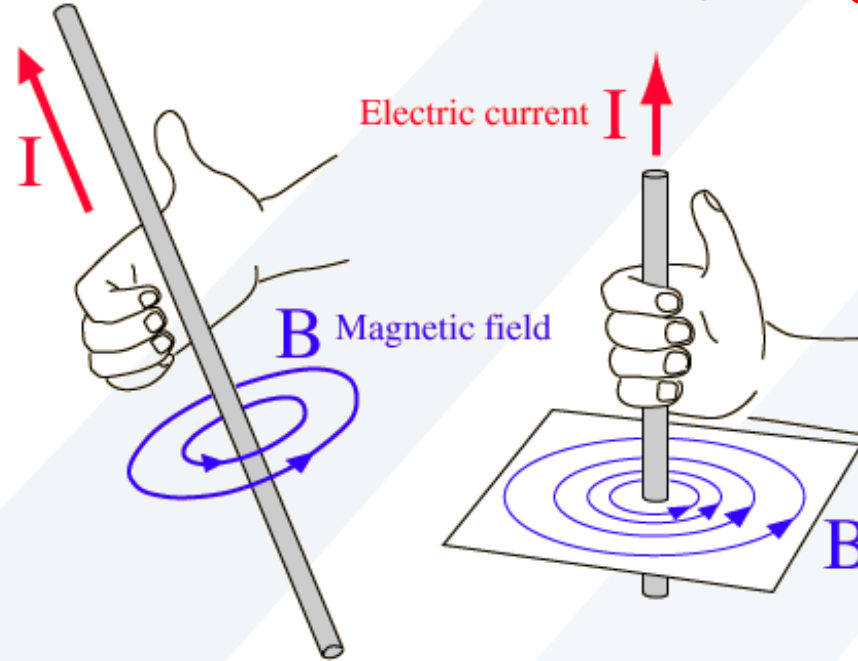


مثال: ناقل طوله 20 [cm] يسري فيه تيار قيمته 300 [A] موجود ضمن حقل مغناطيسي متجانس تحريضه 1.2 [T] . حدّد قيمة القوة الكهرومغناطيسية المؤثرة على الناقل إذا كان متوضعاً في المستوى بشكل متعامد مع الحقل.

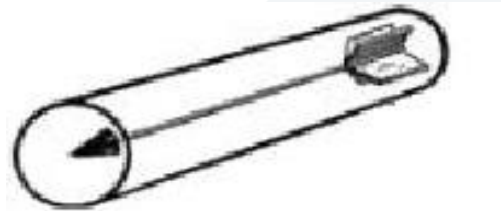
$$F = B \cdot I \cdot l = 1.2 \times 300 \times \frac{20}{100} = 72 \text{ [N]}$$

هناك طرق عديدة لتحديد اتجاه خطوط الحقل المغناطيسي، نذكر منها:

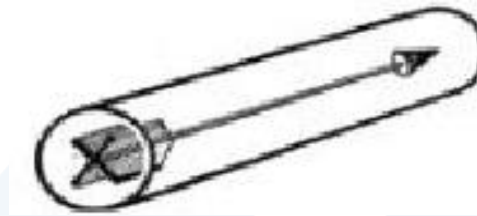
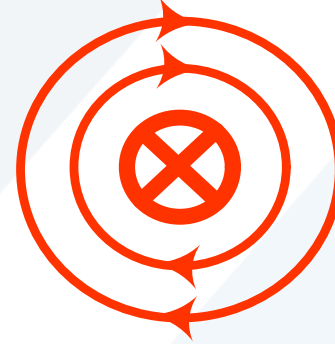
قاعدة اليد اليمنى: نوجه يدنا اليمنى بحيث يكون الإبهام باتجاه سريان التيار في الناقل، ونحاول أن نقبض براحة اليد على هذا الناقل. يكون الاتجاه الموجب لخطوط الحقل باتجاه حركة أصابع اليد الأربعة المتبقية، وذلك عند تحريكها للقبض على الناقل كما هو موضح في الشكل.



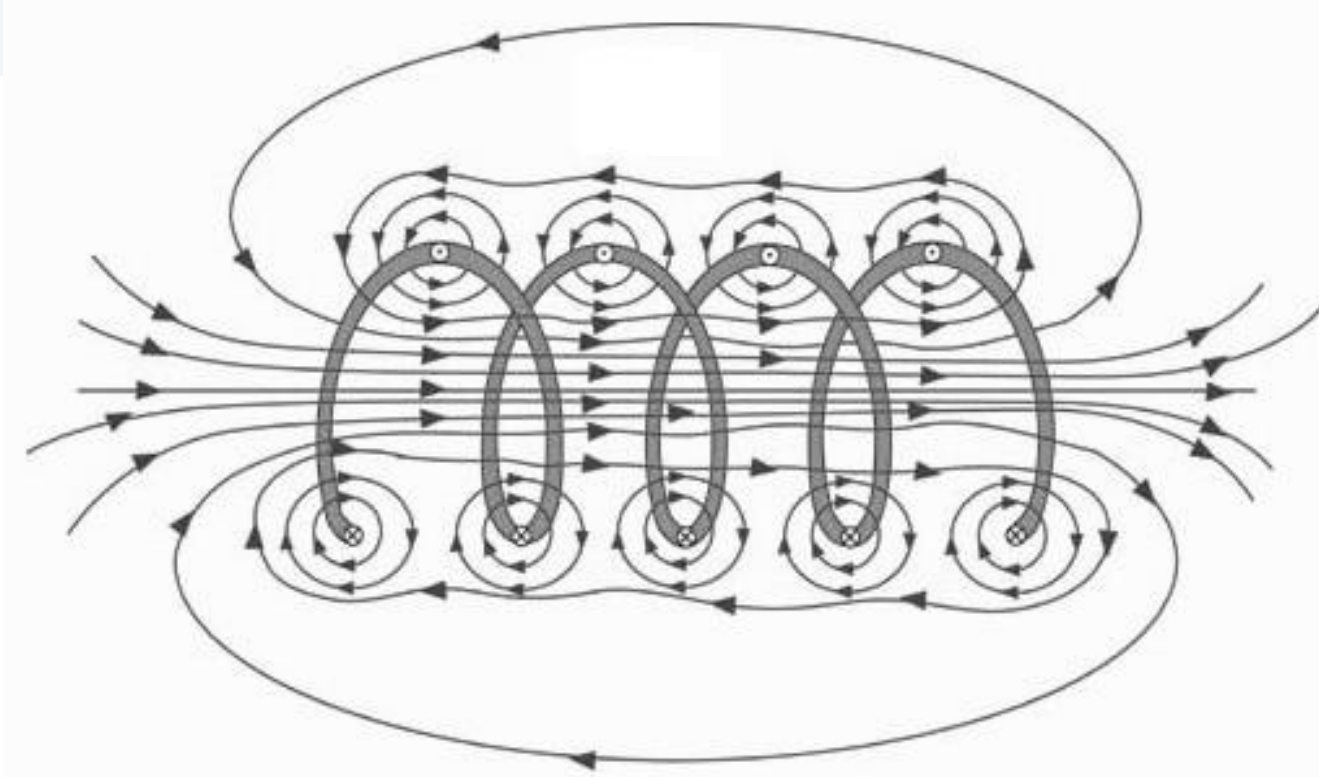
قاعدة الساعة: وفقاً لهذه القاعدة يكون الاتجاه الموجب لخطوط الحقل باتجاه عقارب الساعة إذا كان التيار يسري في الناقل بعيداً عن وجه الناظر (الشكل a)، وبالعكس عقارب الساعة إذا سرى التيار نحو وجه الناظر (الشكل b).



الشكل b



الشكل a



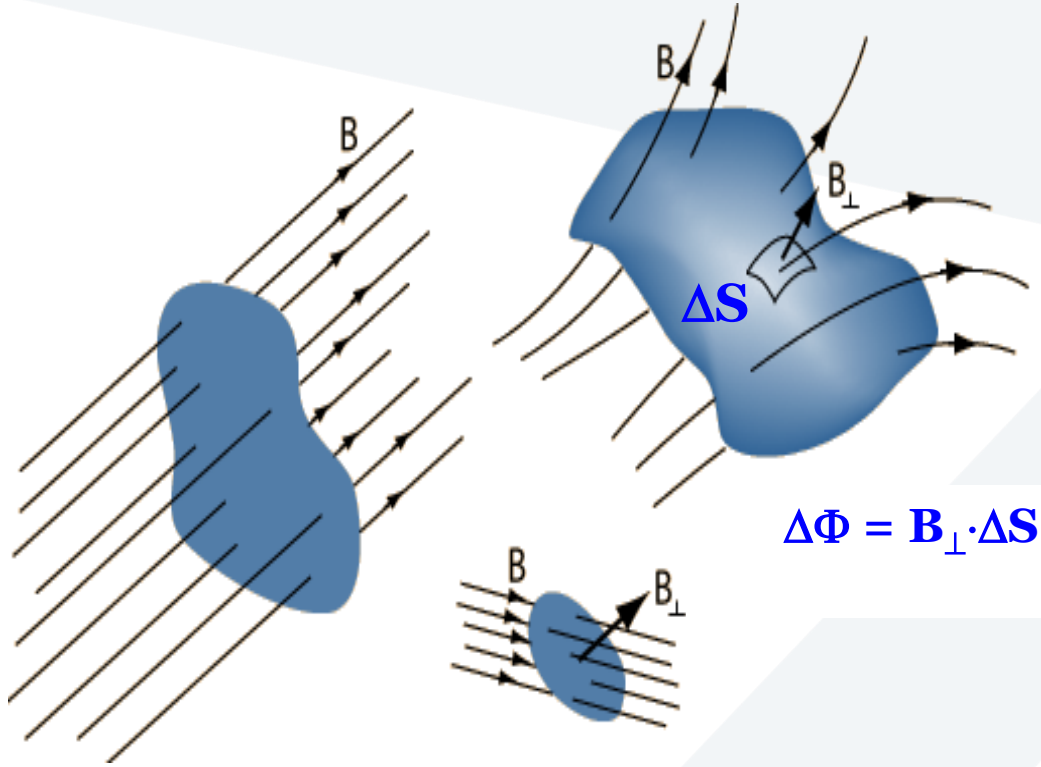
شكل خطوط الحقل للوشية.

الفيض المغناطيسي Magnetic Flux:

إذا تمكنا من تحديد عدد خطوط الحقل المغناطيسي المارة عبر واحدة السطح المتعامدة مع اتجاه الحقل والمساوية أو المتناسبة مع قيمة التحريض المغناطيسي في المكان المدروس لتمكنا من تقييم قيمة التحريض المغناطيسي من خلال كثافة الخطوط المغناطيسية. تسمى مجموعة خطوط الحقل التي تتجه من القطب الشمالي للمغناطيس إلى قطبه الجنوبي والتي تجتاز سطحاً مدروساً بالفيض المغناطيسي خلال هذا السطح، ونرمزله بالرمز Φ .

نعبّر عن ذلك رياضياً من خلال جداء التحريض المغناطيسي B ومساحة السطح S المتعامد مع شعاع هذا التحريض، أي:

$$\Phi = B \cdot S \Rightarrow B = \frac{\Phi}{S}$$



تمثيل علاقة الفيض المغناطيسي.

$$[\emptyset] = [B] \cdot [S] = [T] \cdot [m^2] = \left[\frac{Wb}{m^2} \cdot m^2 \right] =$$
$$= [Wb] \equiv 10^8 \text{ magnetic Lines}$$

مثال: ناقل طوله **30 [cm]** يتحرك في المستوي لمسافة **20 [cm]** وبشكل متعامد مع الحقل. فإذا كان الحقل متجانس وقيمة التحريض له **1.5 [T]** وأن قيمة التيار المار في الناقل هي **200 [A]**. احسب قيمة العمل الناتج عن حركة هذا الناقل.

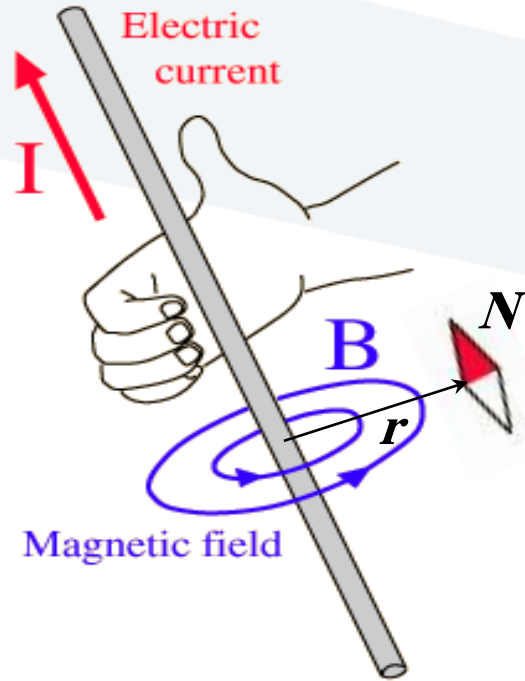
$$\Phi = B \cdot S = 1.5 \times 0.3 \times 0.2 = 0.09[\text{Wb}]$$

$$A = I \cdot \Phi = 200 \times 0.09 = 18[\text{Joule}]$$

or

$$F = B \cdot I \cdot l = 1.5 \times 200 \times 0.3 = 90[\text{N}]$$

$$A = F \cdot l = 90 \times 0.2 = 18[\text{Joule}]$$



الحقل المغناطيسي الناتج عن سريان تيار في ناقل مستقيم:

$$B \sim \frac{I}{r} \Rightarrow B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

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

$$[\mu_0] = [B] \cdot \frac{[r]}{[I]} = [T] \cdot \frac{[m]}{[A]} = \left[\frac{V \cdot s \cdot m}{m^2 \cdot A} \right] = \left[\frac{\Omega \cdot s}{m} \right] = \left[\frac{H}{m} \right] = \left[\frac{\text{Henry}}{m} \right]$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} = 125.66 \times 10^{-8} [H/m]$$

إذا لم يكن الفراغ هو الوسط المحيط بالناقل وإنما مادة ما، عندها سيزداد التحريض المغناطيسي بمقدار μ_r مرة، أي:

$$\Rightarrow B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r} = \mu_a \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

$$\mu_a = \mu_0 \cdot \mu_r \Rightarrow \mu_r = \frac{\mu_a}{\mu_0}$$

ويمكن التعبير عن القوة المؤثرة في الناقل عند سريان تيار فيه اعتماداً على العلاقة:

$$F = I \cdot l \cdot B = I \cdot l \cdot \mu_a \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r} = \mu_a \cdot \frac{I^2}{2\pi \cdot r} \cdot l$$

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r} = \frac{2 \cdot I}{r} \cdot 10^{-7}$$

مثال: احسب التحريض المغناطيسي على مسافة **10 cm** من محور ناقل يسري فيه تيار قيمته **600 A**.

$$B = \frac{2 \cdot I}{r} \cdot 10^{-7} = \frac{2 \times 600}{10 \times 10^{-2}} \cdot 10^{-7} = 1.2 \times 10^{-3} [T]$$

شدة الحقل المغناطيسي Magnetic Field: H

نعرف شدة الحقل المغناطيسي H بأنها النسبة بين التحريض المغناطيسي B والنفوذية المغناطيسية للوسط:

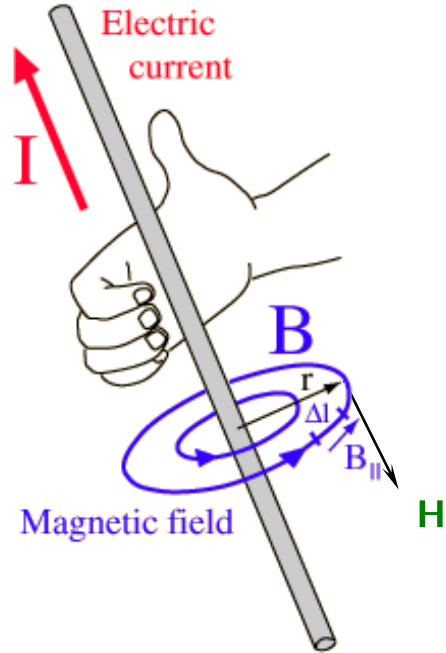
$$H = \frac{B}{\mu_a} = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu_r}$$

واحدة قياس شدة الحقل المغناطيسي H :

$$[H] = \frac{[B]}{[\mu_a]} = \frac{[T]}{\left[\frac{H}{m}\right]} = \left[\frac{V \cdot s}{m^2}\right] = \left[\frac{V \cdot s}{H \cdot m}\right] = \left[\frac{\Omega \cdot A \cdot s}{\Omega \cdot s \cdot m}\right] = \left[\frac{A}{m}\right]$$

قانون التيار الكلي (قانون أمبير) (Total Current Law (Ampere's law):

يُقصد بالتيار الكلي، المجموع الجبري للتيارات التي تخترق السطح المحدد بالحلقة المغلقة. ويسمح هذا القانون، الذي يسمّى بقانون أمبير بحساب شدة الحقل المغناطيسي من خلال معرفة قيم التيارات.



$$B = \mu_a \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

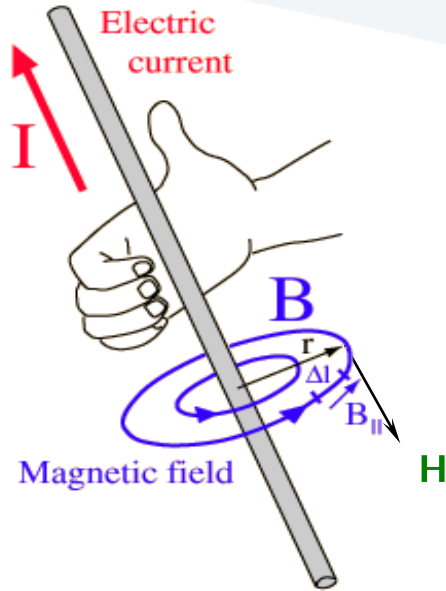
$$\frac{B}{\mu_a} = \frac{I}{2\pi \cdot r} = H$$

$$I = H \cdot 2\pi \cdot r = H \cdot l$$

حيث يمثل الطول l محيط الحلقة المغلقة التي تمثل الخط المغناطيسي.

يسمى جداء شدة الحقل المغناطيسي H بطول الخط المغناطيسي للحقل l بالجهد المغناطيسي، ويُرمز له بالرمز V_m :

$$V_m = H \cdot l$$



يسمى الجهد المغناطيسي خلال حلقة مغلقة بالقوة الدافعة المغناطيسية أو قوة المغنطة (magnetic motive force (m.m.f))، ويُرمز لها بالرمز F_m أو θ ، وهي تتحدد كمجموع للجهد المغناطيسية الجزئية على طول الحلقة المغلقة للدائرة المغناطيسية:

$$F_m \equiv \theta = \sum H \cdot \Delta l \equiv I$$

تسمى هذه العلاقة بقانون التيار الكلي، والذي يعبر عن أن القوة المحركة المغناطيسية خلال حلقة تساوي التيار الكلي المار عبر السطح المحيط بهذه الحلقة.

يمكن في الحالة العامة أن تكون لشدة الحقل في أجزاء مختلفة من الخط المغناطيسي قيماً مختلفة، في هذه الحالة فإن قوة المغنطة تعطى بالعلاقة:

$$F_m = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 + \dots$$

إذا كان الناقل بشكل وشيعة عدد لفاتها N لفة، تصبح العلاقة الأخيرة بالشكل:

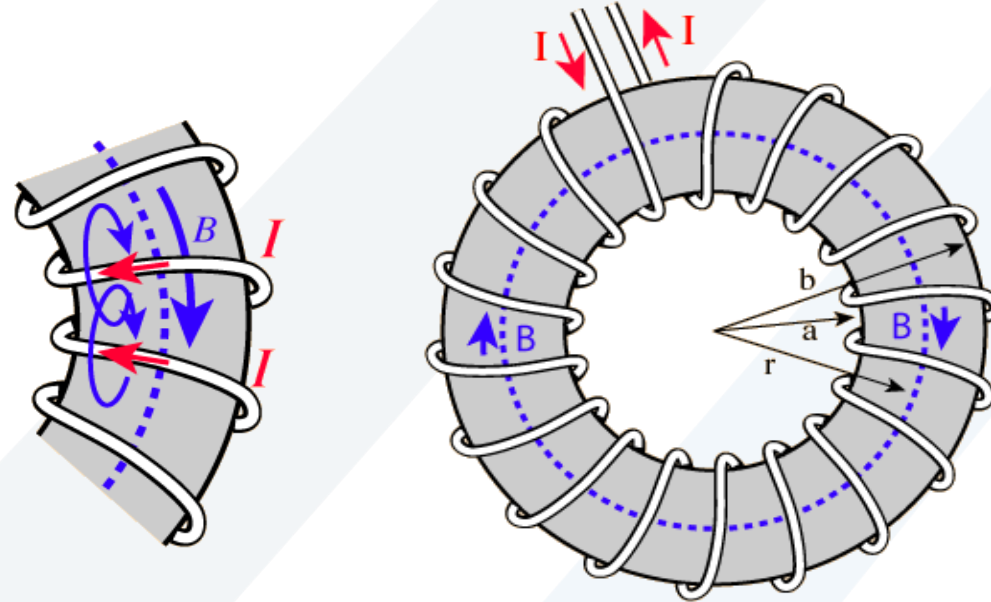
$$F_m = \sum N \cdot I$$

من هذه العلاقة نجد أن وحدة القوة الدافعة المغناطيسية، هي:

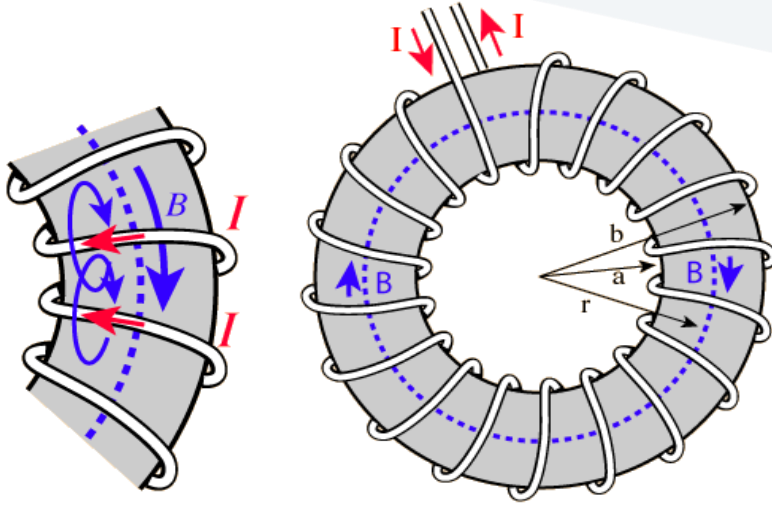
$$[F_m] = [I] \cdot [N] = [A \cdot \text{Tortion}] \text{ [الأمبيرلفة]}$$

الحقل المغناطيسي لوشية حلقيه يسري فيها تيار: Magnetic Field Inside a Toroidal Coil

نفرض أن عدد لفات الوشية N ، ونلاحظ أن للوشية الحلقيه نصف قطر داخلي a ونصف قطر خارجي b . تتم عادةً الدراسة من أجل نصف القطر الوسطي r المبين بالشكل. فالشكل الهندسي للوشية يجعل خطوط الحقل المغناطيسي دائرية الشكل، فمن أجل مسار خارج الوشية يكون الحقل معدوماً، وإذا كان نصف قطر المسار أصغر من نصف القطر الداخلي لها فسيكون الحقل معدوماً أيضاً.



حسب قانون التيار الكلي (قانون أمبير) فإن القوة الدافعة المغناطيسية في هذه الحالة تساوي:



$$F_m = H \cdot l = H \cdot 2\pi \cdot r = N \cdot I$$

$$\Rightarrow H = \frac{N \cdot I}{l}$$

أما التحريض المغناطيسي فيساوي:

$$B = \mu_a \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$

إذا اعتبرنا أن المقطع العرضي للوشية الحلقية هو S ، فإن الفيض المغناطيسي الذي يجتاز هذا المقطع يساوي:

$$\Phi = B \cdot S = \mu_a \cdot \frac{N \cdot I \cdot S}{l} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I \cdot S}{l}$$

وشيعة اسطوانية ذات قلب مغناطيسي $\mu_r=1$ ، عدد لفاتها $N=2000$ [T]، طول الوشيعة $l=30$ [cm] بقطر $d=5$ [cm]. المطلوب حساب الفيض المغناطيسي للوشيعة إذا مر فيها تيار قيمته $I=5$ [A].

الحل:

$$\Phi = B \cdot S = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I \cdot S}{l} = \mu_0 \cdot \mu \cdot \frac{N \cdot I \cdot (\pi \cdot r^2)}{l}$$
$$\Phi = 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times \frac{2000 \times 5 \times (3.14 \times (0.025)^2)}{0.3} = 8.2 \times 10^{-5} [\text{Wb}]$$

قانون فاراداي:

يتولّد التيار الكهربائي المتحرّض في حلقة مغلقة ما إذا تغيّر الفيض المغناطيسي الذي يجتاز سطح هذه الحلقة، ويدوم هذا التيار طالما بقي تغيّر الفيض المغناطيسي هذا.

استناداً لما سبق يُعرّف قانون التحريض المغناطيسي بالعلاقتين الآتيتين:

1- علاقة فاراداي: القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة، والتي تتولّد في حلقة كهربائية تساوي عدد الخطوط المغناطيسية N التي تجتاز سطح هذه الحلقة خلال واحدة الزمن، أي:

$$e = - \frac{dN}{dt}$$

تؤخذ الإشارة السالبة للتطابق مع قانون أومبدأ لينز.

2- علاقة ماكسويل: القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة، والتي تتولّد في حلقة كهربائية تساوي نسبة الفيض المغناطيسي Φ الذي يجتاز السطح الذي تحدده الحلقة خلال واحدة الزمن، أي:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

إذا كانت الوشيعة مكونة من N لفّة، فإن الفيض المغناطيسي الكلي للوشيعة يساوي جداء الفيض الذي يجتاز إحدى لفات الوشيعة بعدد اللفات، وذلك إذا كان الفيض يجتازها جميعها. في هذه الحالة تكون القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة في الوشيعة تساوي:

$$e = -N \cdot \frac{d\emptyset}{dt}$$

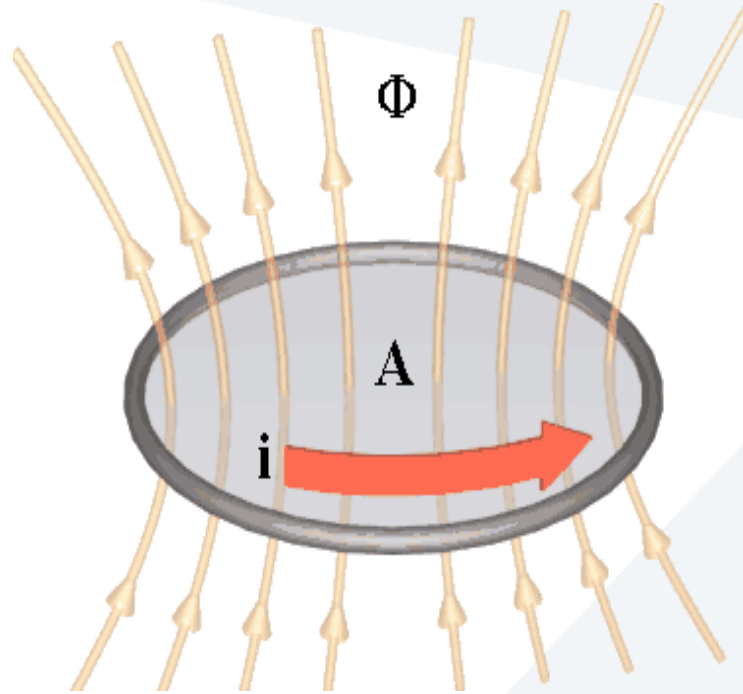
$$\psi = \sum_{K=1}^n \emptyset_K \Rightarrow e = - \sum_{K=1}^n \frac{d\emptyset_K}{dt} = - \frac{d\psi}{dt}$$

إذا كان الفيض المغناطيسي المتولّد مختلفاً في كل لفّة من لفات الوشيعة، فإن الفيض الكلي في هذه الحالة يساوي مجموع الفيوض المتولّدة في جميع اللفات، أي:

يسمّى ψ بالفيض المغناطيسي الكلي (التدفق المغناطيسي)، ويُعطى بالنسبة لوشيعة يمر فيها الفيض ϕ نفسه بالعلاقة:

$$\psi = N \cdot \emptyset$$

التحريض الذاتي Self Inductance:



عند مرور تيار في وشيعة، فإن فيضاً مغناطيسياً Φ سيجتاز كل حلقة أو لفّة من لفاتها، والذي يسمّى فيض التحريض الذاتي

نسمي مجموع الفيوض الذاتية لجميع اللفات في الوشيعة بالتدفق المغناطيسي الذاتي ونرمز له بالرمز Ψ

وفقاً لذلك نعرّف النسبة بين التدفق المغناطيسي الذاتي وتيار الوشيعة بالتحريض الذاتي (المحارضة الذاتية)، وذلك عند ثبات قيمة النفوذية المغناطيسية للوسط (عند عدم تغيير الوسط)، فإذا كان الوسط هو الخلاء فإن:

$$L = \frac{\Psi}{I}$$

$$L = N \cdot \frac{d\Phi}{di} = \frac{d\Psi}{di}$$

وبشكل عام تعطى علاقة التحريض الذاتي بالشكل:

$$[L] = \frac{[\Psi]}{[I]} = \frac{Wb}{A} = \frac{V \cdot s}{A} = \Omega \cdot s = [H] \text{ Henry}$$

وبالتالي نستنتج واحدة قياس L كما يأتي:

التحريض المتبادل Mutual Inductance :

يُعرّف التحريض المتبادل على أنه ظاهرة تحريض قوة محرّكة كهربائية في دائرة معينة (وشيجة) عند تغيّر التيار في دائرة أخرى (وشيجة أخرى).

$$M_{12} = N_2 \cdot \frac{d\Phi_{12}}{di_1}$$

$$M_{21} = N_1 \cdot \frac{d\Phi_{21}}{di_2}$$

$$M_{12} = M_{21} = M$$

$$e_1 = -M \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$e_2 = -M \cdot \frac{di_1}{dt}$$

تكون قيمة M موجبة إذا كان توافق اتجاه الفيضين الأول والثاني، وسالبة في الحالة المعاكسة.

تسمى النسبة ما بين الفيض المتشابك ϕ_{12} إلى الفيض الأساسي الذي هو جزء منه ϕ_1 للوشية الأولى عند مرورتيار i_1 فيها، أو النسبة ما بين الفيض المتشابك ϕ_{21} إلى الفيض الأساسي الذي هو جزء منه ϕ_2 للوشية الثانية عند مرورتيار i_2 فيها بعامل التشابك، ونرمز له بالرمز k وقيمه أصغر أو تساوي الواحد لأن:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

يتعلق عامل التشابك k بتوضع الوشائع فيما بينها، فكلما كانت الوشائع قريبة من بعضها كلما كان عامل التشابك أكبر وبالعكس كلما تباعدت الوشائع كلما قلَّ k حتى الصفر.

تخزين طاقة الحقل المغناطيسي في الوشيعه:

$$W = \frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot I_1^2 + \frac{1}{2} \cdot L_2 \cdot I_2^2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot I_1^2 + \frac{1}{2} \cdot L_2 \cdot I_2^2 \pm M \cdot I_1 \cdot I_2$$



جامعة
المنارة
MANARA UNIVERSITY

