محتويات الوحدة

الموضوع	الصفحة
مقدمة	٢٠١
تمهيد	٢٠١
أهداف الوحدة	٢٠٢
١,٥ المجال المغناطيسي	٢٠٣
١,١,٥ خواص المجال المغناطيسي	٢٠٥
٢,١,٥ القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيارا كهربيا	٢٠٩
٣,١,٥ عزم الدوران المؤثر في عروة تحمل تيارا كهربيا	٢١٤
٤,١,٥ حركة جسيم مشحون تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم	٢١٩
٢,٥ مصادر المجال المغناطيسي	٢٢٢
١,٢,٥ قانون بيوت – سافرت	٢٢٣
٢,٢,٥ القوة المتبادلة بين موصلين متوازيين يمر فيهما تيار كهربي	٢٣١
٣,٢,٥ قانون أمبير	٢٣٥
١,٣,٢,٥ المجال الناشئ عن سلك مستقيم طويل يحمل تياراً	٢٣٥
٢,٣,٢,٥ المجال المغناطيسي لسلك لولبي	٢٣٩
٤,٢,٥ المجال المغناطيسي لسلك حلقي	٢٤١
٥,٢,٥ التدفق المغناطيسي	٢٤٤
٦,٢,٥ التدفق المغناطيسي لسطح مغلق	٢٤٥
الخلاصة	٢٤٨
لمحة مسبقة عن الوحدة الدراسية التالية	٢٤٩
إجابات التدريبات	٢٥٠
مسرد المصطلحات	٢٥٢
المراجع	٢٥٣

مقدمة

تمهيد

عزيزي الدارس،

مرحباً بك إلى الوحدة الخامسة من مقرر الفيزياء في الكهربية والمغناطيسية وهي بعنوان المجال المغناطيسي ومصادره و تتألف من قسمين رئيسيين، يزودك القسم الأول بتعريف المجال المغناطيسي والخواص الخاصة بالمغناطيسية. ومن ثم تنتقل إلى دراسة القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تياراً كهربياً، ونتعمق في حساب القوة التي تؤثر علي سلك يحمل تياراً كهربياً، ومن ثم إيجاد القوانين الخاصة بذلك. بعد ذلك سوف نتناول عزم الدوران المؤثر في حلقة تحمل تياراً كهربياً، وأيضا حركة جسيم مشحون تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم.

أما القسم الثاني فهو بعنوان مصادر المجال المغناطيسي، و يتضمن دراسة قانون بيوت – سافرت الذي يساعدنا علي فهم ومعرفة و إيجاد المجال المغناطيسي الناجم عن سلك مستقيم رفيع يمر به تيار I وذلك عند النقطة p . بعد ذلك نتعرف على القوة المتبادلة بين موصلين متوازيين يمر فيهما تياراً كهربياً مع تعريف القوة الناتجة من المجال المغناطيسي، والذي يساعدك على حساب المجال المغنطيسي حول أي مسار مغلق، ومن ثم ننتقل لمعرفة المجال المغناطيسي الناشئ عن سلك مستقيم طويل يحمل تياراً، و أيضا المجال المغناطيسي لسلك لولبي مع تخطيط خطوط القوي المغناطيسية ، و أخيراً ننتقل إلي التدفق المغناطيسي وأيضا التدفق المغناطيسي لسطح مغلق.

عزيزي الدارس،،

لقد ذيلنا هذه الوحدة بسرد شامل للمصطلحات العلمية التي وردت في النص الرئيسي، وقد حرصنا في هذه الوحدة على معرفة العلاقات الرياضية، مع تقديم أمثلة متنوعة، و أنشطة وأسئلة تقويم ذاتي، وتدريبات كفيلة بتلبية احتياجاتك التعليمية والتي تقدمها لمرشدك الميداني.

عزيزي الدارس،،

أهلاً بك مرة أخري إلي هذه الوحدة، ونرجو أن تستمتع بدراستها، وأن تستفيد منها، وأن تشاركنا في نقدها وتقييمها.

أهداف الوحدة



عزيزي الدارس،،

بعد فراغك من دراسة هذه الوحدة يتوقع منك أن تكون قادراً علي أن

١. تفهم أهمية المجال المغناطيسي.
٢. تذكر خواص المجال المغناطيسي.
٣. تتعرف على القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيارا كهربياً.
٤. توضح عزم الدوران المؤثر في عروة تحمل تيارا كهربيا.
٥. تفسر حركة جسيم مشحون تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم .
٦. تفهم أهمية دراسة مصادر المجال المغناطيسي.
٧. تقارن بين أوجه الشبه بين قانون بيوت – سافرت في المغناطيسية وقانون كولوم في الكهروستاتيكية.
٨. تعرف كيفية إيجاد القوة المتبادلة بين موصلين متوازيين يمر فيهما تيار كهربي.
٩. تشرح قانون أمبير وتطبيقاته.
١٠ تستطيع إجراء تجارب لتوضيح المجال المغناطيسي لسلك لولبي.
١١ تتحصل على التدفق المغناطيسي ، مع إيجاد التدفق المغناطيسي لسطح مغلق.
١٢ تحل مسائل وتمارين عن المواضيع المذكورة أعلاه.

١,٥ المجال المغناطيسي Magnetic Field

عزيزي الدارس ،،

لقد عرفت ظاهرة المغناطيسية من قبل اليونانيين في القرن الثامن قبل الميلاد حيث اكتشفوا ان بعض الحجارة (Fe_3O_4 Magnetite) تجذب قطع الحديد. وهذه الحجاره هى التى تشكل المغناطيس الطبيعي (الدائم التمغنط). لكل مغنا طيس وبغض النظر عن شكله قطبان يسمى أحداهما بالقطب الشمالي والأخر بالقطب الجنوبي . واذا قرب قطب الجنوبي من قطب جنوبي آخر فانهما يتنافران، وكذلك القطبان الشماليان، فى حين يتجاذب القطب الشمالي مع القطب الجنوبى، اى ان "الاقطاب المتشابهه تتنافر والمختلفه تتجاذب " .

ومن ناحية كميه فان القوة المتبادلة بين قطبين مغناطيسيين تتبع قانون التربيع العكسى اى أن

> قوة التنافر (التجاذب) بين قطبين متشابهين (مختلفين) تتناسب تناسبا عكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بينهما

تماما كما هو الحال في القوه الكهروستانيكية المتبادلة بين شحنتين كهربيتين نقطيتين، الا ان هناك فرقاً اساسياً بين **ما هي الأقطاب** المغناطيسية، والشحنات الكهربية. فالشحنات الكهربية يمكن فصلها، موجبة واخري سالبة، في حين لا تستطيع فصل القطب الشمالي فصلا تاما عن القطب الجنوبي.

عزيزي الدارس ،،

إذا اتيت بمغناطيس وقطعته الي جزئين، فانك ستجد ان كل قطعة منه قد تحولت الي مغناطيس بقطبين. وإذا استمرت عملية التقطيع الي اجزاء صغيرة جداً، فانك تتحصل علي مغناطيس بقطبين مهما صغر حجم المغناطيس.

في البداية، ساد الاعتقاد لدي الفيزيائين، أن لا صلة تربط بين الكهربية والمغناطيسية، إلا أن أول اكتشاف للعلاقة التي تربط الكهربية بالمغناطيسية قد تم في عام (١٨١٩)، عندما قام العالم الدنماركي هانز اورستد Hans Oersted (١٧٧٧-١٨٥١) بتقديم توضيح خلال محاضرة له ألقاها علي جمع من الحضور، حيث أثبت ان مرور التيار الكهربي في سلك تقع بالقرب منه ابرة مغناطيسية، يعمل علي انحراف الابرة . وبعد ذلك بمدة قصيرة انجز العالم الفرنسي اندريه امبير Andre Ampere (١٧٧٥- ١٨٣٦) تفاصيل القوانين المتعلقة بالقوة المتبادلة بين موصلين، يحمل كل منها تيارا كهربيا ثابتا. كما اوضح ان حلقات التيار الكهربي ، و التي تقارب أبعادها أحجام الجزيئات الموجودة داخل المادة، هى المسؤول عن حدوث ظاهرة المغناطيسيه .

فى العشرينيات من القرن التاسع عشر، بين العالمان ميخائيل فارادى Michael Faraday) (1791- 1867) في انجلترا، وجوزيف هنري Joseph Henry (١٧٩١-١٨٦٧) في الولايات المتحدة ، كل على حده ، انه يمكن توليد تيار كهربي في دائرة مغلقة وذلك:

- إما بتحريك مغناطيس بالقرب من هذه الدائرة.
- أو بتغير التيار فى دائرة كهربية مجاورة للدائرة التى ينشا فيها التيار الكهربائى، وهذا يسمى بالتيار التاثيرى.

هذه المشاهدات جميعها تؤكد ان المجال المغناطيسى يؤدى الى تولد مجال كهربي. وبعد ذلك بسنوات، اشتق جيمس ماكسويل James Maxwell) (١٨٣١-١٨٧٩) معادلاته المشهورة باسمه، والتى برهن من خلالها، ان المجال الكهربي المتغير يؤدى الى توليد مجال مغناطيسى. ولا يقل دور معادلات ماكسويل فى موضوع الكهرباء والمغناطيسية عن دور قوانين نيوتن فى صياغة علم الميكانيكا . ومع ان اورستد لم ينجح تماما فى ان يحدث انحرفا واضحا فى ابرة البوصلة، الا ان تجربته الشهيره هذه، قد ارست حجر الاساس للصلة التى تربط الكهرباء بالمغناطيسية.

١.١,٥ تعريف وخواص المجال المغناطيسى

Definition and Properties of the Magnetic Field

عزيزي الدارس ،،

إذا وضعنا ابرة بوصلة فى نقطة ما على سطح الارض، فانها تشير الى اتجاه معين، ولايتغير هذا الاتجاه مهما حاولنا اعادة التجربة. ويدلنا هذا على ان للمجال المغناطيسى خاصية اتجاهيه (vectorial character) . وللكشف عن وجود مجال مغناطيسى فى مكان ما ، نضع شحنة اختبار (test charge) فى حالة سكون، فإذا تاثرت بقوة ما، فهذا دليل على وجود مجال كهربي. أما إذا تحركت الشحنة، وظهرت قوة اخرى (بالاضافة الى القوة الكهربية) تؤثر فيها، وتؤدى الى انحرافها اثناء تحركها، فهذا دليل على وجود مجال مغناطيس فى الحيز المحيط بالشحنة.

لقد أجرى العلماء تجارب عديدة تتعلق بالقوة المؤثرة على شحنة كهربية متحركة، ضمن مجال مغناطيسى، نلخصها فى مايلى من المشاهدات

اولاً: يتناسب مقدارالقوة تناسبا طرديا مع الشحنة الكهربية q

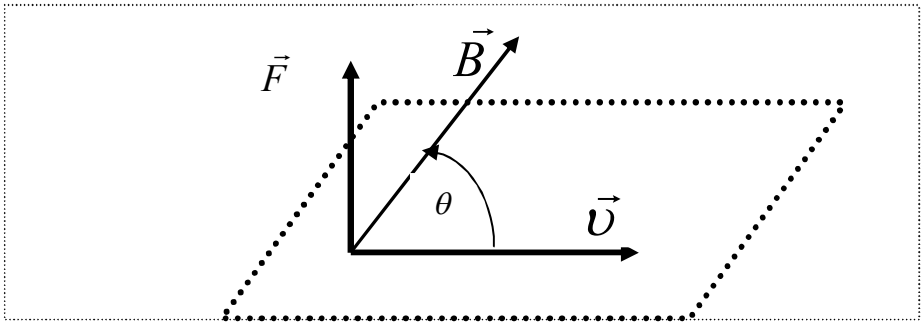
ثانياً: يتناسب مقدار القوة تناسبا طرديا مع مقدار سرعة الشحنة $\bar{\upsilon}$ ، ويكون اتجاه القوة عموديا على السرعة .

ثالثاً: يتناسب مقدار القوة تناسبا طرديا مع مقدار شدة المجال المغناطيسي (B) ويكون اتجاهها عموديا على اتجاهه .

بما أن القوة تكون متعامدة على كل من اتجاهى السرعة والمجال المغناطيسى ، فنستطيع اذن التعبير عنها باستعمال الضرب التقاطعى (الاتجاهى). اى ان القوة $\vec{F}_m$ المؤثرة في الشحنة q تتحرك بسرعة $\bar{v}$ ضمن مجال مغناطيسي $\vec{B}$ يمكن كتابتها على النحو التالى (الشكل (٥ -١)).

$$\vec{F} = q\,\vec{\upsilon} \times \vec{B} \qquad (1\text{-}5)$$

وتعتبر العلاقة (٥-١) بمثابة تعريف للمجال المغناطيسى عند نقطة ما فى الفضاء .



الشكل (٥-١)

مركبات المجال المغناطيسي

عزيزي الدارس،،

الآن ويمكننا أن نمثل المجال المغناطيسى بخطوط وهميه، وهى ذات الطريقة المتبعة فى رسم خطوط المجال الهربائى، بحيث تكون كثافتها متناسبة مع مقدار المجال المغناطيسى، ويكون المماس لها عند نقطة ما، مؤشر على اتجاه المجال عند تلك النقطة. فهذه الخطوط، كخطوط المجال الكهربى، لا تتقاطع ابداً، وكل خط منها عبارة عن مسار مغلق. والصفة الاخيرة هذه، ينفرد بها المجال المغنطيسى عن المجال الكهربي.

هنالك بعض الفرق بين القوة الكهربية والقوة المغناطسية، وهى

اولاً: تكون القوة الكهربية فى اتجاه المجال الكهربائى، إذا كانت الشحنة المتاثرة موجبة،او في الاتجاه المعاكس إذا كانت الشحنة سالبة، فى حين تكون القوة المغناطيسية متعامدة على اتجاه شدة المجال المغناطيسي $\vec{B}$

ثانياً: تؤثر القوة الكهربية فى الشحنة بغض النظر عن وضعها ، سواء كانت متحركة ام ثابتة، فى حين لا تؤثر القوة المغناطيسة الا على شحنة كهربية متحركة .

ثالثاً: تبذل القوة الكهربية شغلا يعمل على نقل q من موقع الى اخر، وذلك حسب العلاقة (٥-٢)

$$W_a = q \int \vec{E} . d\vec{\ell}$$

حيث $\vec{E}$ المجال الكهربي.

إلا أن القوة المغناطيسية $\vec{F}_m$ ، الناجمة عن مجال مغناطيسى ثابت (لايتغير مع الزمن)، لاتبذل شغلا اثناء حركة الشحنة. ويعود ذلك الى ان القوة المغناطيسية تكون عمودية على اتجاه الحركة. فالشغل الذى تقوم به $\vec{F}_m$ لنقل الشحنة q ازاحة $d\bar{\ell}$ يساوى:

$$\vec{F}_m . d\bar{\ell} = (\vec{F}_m \vec{\upsilon}) = 0$$

وذلك لان

$$\vec{\upsilon} \perp \vec{F}_m$$

مما تقدم نستنتج ما يلي

"عندما تتحرك الشحنة كهربية بسرعة $\vec{\upsilon}$ ، فيمكن للمجال المغناطيسى المسلط عليها ان يغير اتجاه سرعتها، ولكنه لا يستطيع تغيير مقدارها ". أما الوحدات المستعملة لقياس $\vec{B}$ فهي Wb/m^2 (Wb= Weber) وهي تساوي تسلا (Tesla) فى النظام الدولى للوحدات.

◄◄ مثال (١)

يتحرك بروتون بسرعة υ_0 في الاتجاه السيني الموجب، ويخضع لتاثير مجال مغناطيسى منتظم B_0 في الاتجاه الصادي الموجب (الشكل (٥-٢)) . اوجد القوة المؤثرة على البروتون .

الحل

باستعمال المعادلة (٥-١)

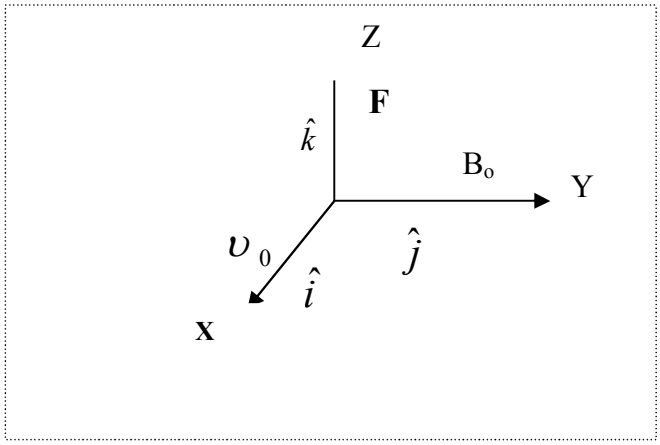
$$\vec{F} = q\,\vec{\upsilon} \times \vec{B}$$

$$\overrightarrow{F} = q\,\upsilon_0 B_0 (\hat{i} \times \hat{j})$$

نجد أن القوة

$$= q\,\upsilon_0 B_0 (\hat{k})$$

أي أن مقدار القوة (qv_0B_o) وتتخذ من $\hat{k}$ اتجاهاً لها.



تدريب (١)

١. ما الفرق والتماثل بين خطوط المجال الكهربي وخطوط المجال المغناطيسي ؟

٢. ما الفرق بين القوة الكهربية والقوة المغناطيسية المؤثرة علي الشحنة؟

٣. يتحرك إلكترون بسرعة $\upsilon_0 = 10^5 m/s$ في الاتجاه السيني الموجب، ويخضع لتأثير مجال مغناطيسي منتظم $B_0 = 1Tesla$ في الاتجاه الصادي الموجب. أوجد القوة المؤثرة على الإلكترون واتجاهها ،إذا علم أن شحنة الإلكترون هي $1.6\times10^{-19}C$.

نشاط



احضر سلك مرر به تيار كهربي ثم ضع بالقرب من السلك إبرة مغناطيسية، ثم سجل ما تشاهد . ثم غير اتجاه التيار ، وقارن بين الحالتين.

أسئلة تقويم ذاتى



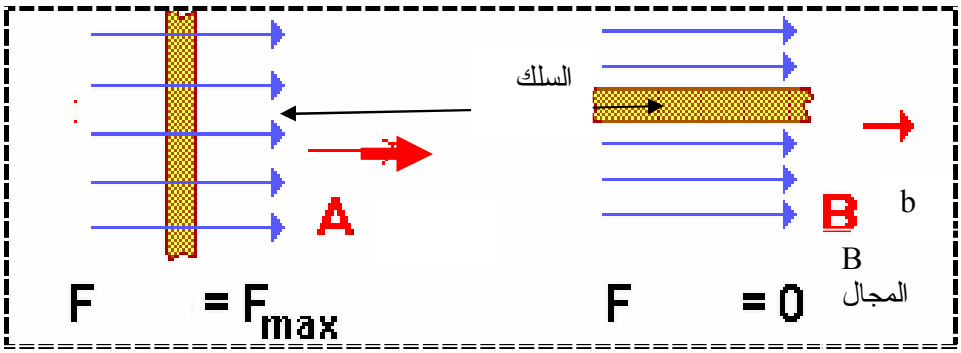
١. عرف قانون التربيع العكسى .
٢. ما هو التيار التاثيرى؟
٣. من هو مكتشف العلاقة التي تربط الكهربية بالمغناطيسية ؟
٤. ماذا تعرف عن معادلات جيمس ماكسويل ؟
٥. باستخدام تجربة وضح ان للمجال المغناطيسى خاصية اتجاهيه.
٦. اذكر العوامل التي تتوقف عليها القوة المؤثرة على شحنة كهربية متحركة ضمن مجال مغناطيسى.
٧. اذكر خواص المجال المغناطيسى.

٢,١,٥ القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تياراً كهربياً

Magnetic force acting on a current –carrying conductor

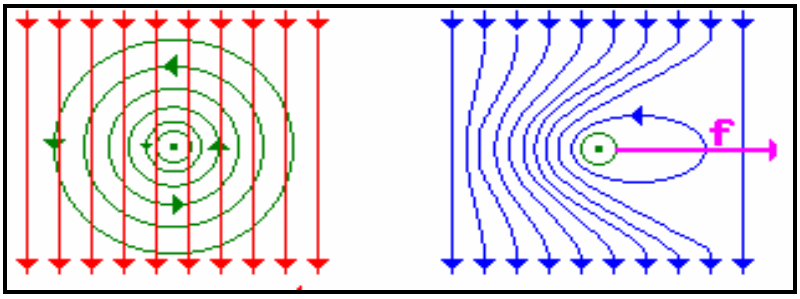
عزيزي الدارس ،،

عرفنا انه عندما تتحرك شحنة كهربية ضمن مجال مغنطيسى، فانها تتاثر بقوة، وحيث ان التيار الكهربي عبارة عن سيل من هذه الشحنات المحصورة ضمن الموصل، فلا نستغرب اذن ان بتأثر الموصل، الذي يحمل تيارا كهربيا ثابتا، بقوة عند وضعه ضمن مجال مغناطيسى. وتكون هذه القوة عبارة عن محصلة القوة المؤثرة علي كل شحنة على حده.



السلك موازي للمجال المغناطيسي **السلك عمودي علي مجال المغناطيسي**

الشكل (٥-٢)(أ)



المجالان بعد جمعهما **المجالان قبل جمعهما**

الشكل (٥-٢)(ب)

عزيزي الدارس ،،

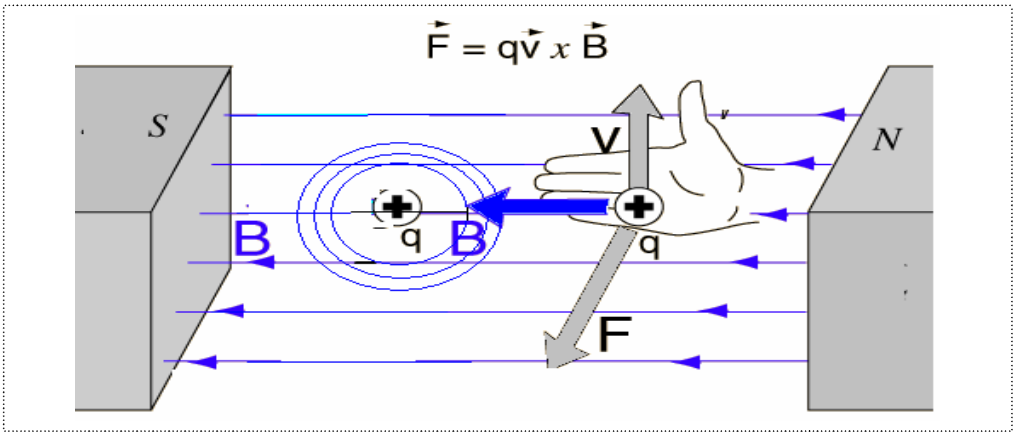
قبل اجراء حساب لهذه القوة التى تؤثر على سلك يحمل تياراً، دعنا نحاول عمل التجربة التالية:

ليكن لدينا سلك مستقيم وموضوع بين قطبى مغناطيسى، بحيث يكون المجال المغناطيسي كما هو موضح في الشكل أعلاها بحيث يكون اتجاه التيار إلي الخارج وعموديا على المجال المغناطيس(ونرمز له بالرمز(.)) كما يظهر في الشكل السابق.

الشكل أعلاها ،،يوضح سلك يحمل تياراً كهربياً وعموديا علي المجال المغناطيسي ونلاحظ ان اتجاه المجال الكهربي المتولد حول السلك يكون في عكس

اتجاه المجال المغناطيسي الدائم ونلاحظ الجانب الأيسر من الشكل أعلاها، المجالين قبل جمعهما أما الجانب الأيمن بعد الجمع للمجالين مما يوضح حركة السلك فـــي الاتجـــاه المشار إليه بالرسم حيث تقل خطوط المجال في اتجاه القوة .

قبل مرور تيار كهربي في السلك، نلاحظ ان السلك يبقى فى وضع عمودى دون ان يتحرك، أما إذا سرى تيار فى السلك من أسفل إلى اعلى، فنلاحظ من الشكل الثاني أعلاه وجود مجالين ، ويحدث تفاعل بين المجالين وينتج من ذلك قوة تحرك السلك في اتجاه معين كما هو موضح في الشكل ويمكن تحديد اتجاه حركة السلك باستخدام قاعدة اليد اليمني



الشكل (٥ – ٣)

تكون لدينا من المشاهدات الانفة الذكر عزيزي الدارس ،، أن تصور ما هيه القوة المؤثرة فى سلك يحمل تيارا وعن علاقتها مع كل من اتجاه سريان التيار واتجاه المجال المغناطيسى. وسندرس فيما يلي القوة التى يتأثر بها سلك يحمل تيارا كهربيا عندما يكون تحت تاثير مجال مغناطيسي، وذلك من الناحية الكمية.

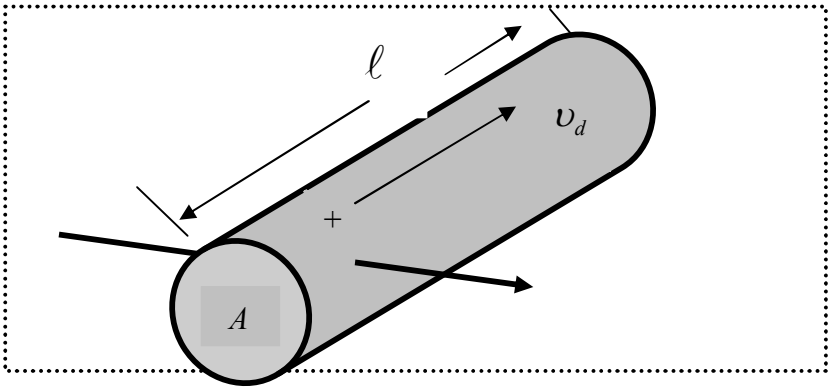
يمثل الشكل (٥-٤) مقطعا من سلك يحمل تيارا كهربيا. ويتألف التيار من سيل من الشحنات تتحرك كل منها بسرعة v_d، وتخضع لتأثير مجال مغناطيسي منتظم شدته $\vec{B}$.

لقد عرفنا سابقا ان القوة المؤثرة فى الشحنة الواحدة q تساوي

$$\vec{F} = q\vec{\upsilon} \times \vec{B}$$

ويمكن كتابة عدد الشحنات الموجودة فى مقطع السلك على هيئة ($nA\ \ell$)، حيث ℓ طول السلك و A مساحة المقطع و n عدد الشحنات لكل وحدة حجم، وبذلك تكون القوة على مجموع الشحنات الموجودة داخل السلك مساوية لـــ

$$\vec{F} = q(\vec{\upsilon}_d \times \vec{B})(nA\ \vec{\ell})$$



الشكل (٥-٤)

وبما أن التيار يعطى بالعلاقة

$$I = nqAv_d$$

وباستعمال العلاقتين أعلاها، نحصل على

$$\boxed{\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B}} \qquad (٥-٢)$$

ويحدد اتجاه $\vec{\ell}$ باتجاه حركة التيار فى السلك.

عزيزي الدارس،

صحيح ان الاشتقاق السابق قد تم فى اطار حالة خاصة، تمثلت فى افتراض أن السلك مستقيم الشكل، وان المجال منتظم، إلا أننا نستطيع تعميمة، بحيث يشمل سلكا عشوائي الشكل يخضع لتاثير مجال مغناطيسي غير منتظم $\vec{B}$.

واعتمادا على المعلومات السابقة، فان القوة المؤثرة فى وحدة الطول من سلك $d\vec{\ell}$ يحمل تيارا شدته I، وموضوع في مجال $\vec{B}$، تعطى بالعلاقة التالية

$$\boxed{d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B}} \qquad (٣-٥)$$

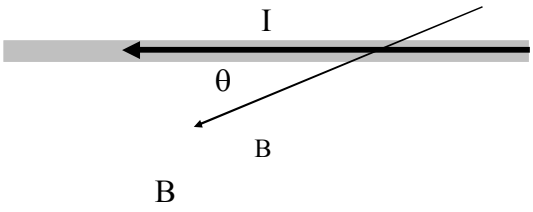
ولإيجاد القوة الكلية التى يعانى منها السلك نستخدم التكامل

$$\boxed{\vec{F} = I \int_a^b d\vec{\ell} \times \vec{B}} \qquad (٤-٥)$$

حيث تمثل a و b نهايتى السلك .

تدريب (٢)

سلك مستقيم يمر فيه تيار شدته ٨A موضوع ضمن مجال مغناطيسي منتظم مقداره $3 \times 10^{-3} T$ والزاوية المحصورة بينهما $\theta = 45^0$ ، أوجد القوة المؤثرة على كل وحدة طول من سلك.كما موضح بالشكل

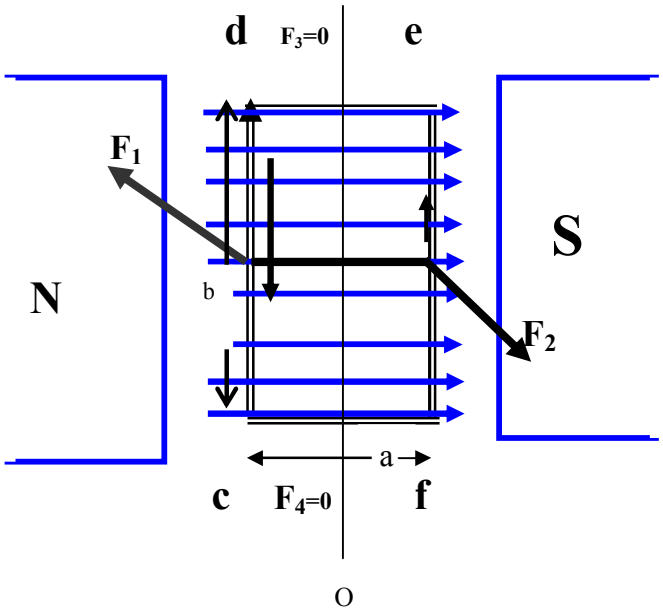


أسئلة تقويم ذاتي

ناقش القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيارا كهربيا مستعينا بالرسم وضح القوة التي تؤثر على سلك يحمل تياراً موجود في مجال مغناطيسي

٣,١,٥ عزم الدوران المؤثر في حلقة تحمل تيارا كهربيا

Torque on a current –current Loop



التيار في الملف في اتجاه
عقارب الساعة

الشكل(٥– ٥)

الحلقة في الوضع الأفقي –موازية لخطوط المجال المغناطيسي

عزيزي الدارس ،،

ليكن لدينا ملف مستطيل الشكل cdef طوله b وعرضه a مكون من لفه واحدة (الشكل(٥– ٥))، يمر فيه تيار كهربي، وموضوع ضمن مجال مغناطيسي منتظم بين قطبي مغنطيس، حيث اتجاه المجال المغناطيسي $\vec{B}$ من N إلى S. فإذا كان التيار I يمر في الملف من d إلى c إلى f إلى e ثم إلى d ، فإن التيار في هذا الوضع الأفقي للملف المستطيل– في الضلع cd وفي الضلع fe يكون عمودياً على $\vec{B}$ ، بينما في الضلع de والضلع cf يكون موازياً للمجال المغناطيسي $\vec{B}$ مما يعني أن القوتين $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$ المؤثرتين على هذين الضلعين تساويان الصفر . في نفس الوقت نجد أن هناك قوة $\vec{F}_1$ عمودية على الضلع cd ويكون اتجاهها إلى أعلى كما موضح

بالشكل، وكذلك تكون هناك قوة $\vec{F}_2$ عمودية على الضلع fe واتجاهها إلى أسفل. القوتان $\vec{F}_1 , \vec{F}_2$ عموديتان على $\vec{B}$. هاتان القوتان تعملان على إدارة الملف المستطيل حول المحور oo' (انظر الشكل). تأثير هاتين القوتين بهذا الشكل (متساويتان مقدارا ومتعاكستان اتجاها حول محور) يعني وجود عزم ازدواج (Torque) τ لأن كل ضلع من ضلعي الملف يتأثر بقوة حسب المعادلة $\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$.

عزم الازدواج = القوة × ذراع القوة (المسافة بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران)

∴ يكون عزم الازدواج حول هذا المحور (oo') مساويا لـــ:

$$\tau = F_1(\frac{a}{2}) \cos\ \theta + F_2(\frac{a}{2}) \cos\ \theta$$

حيث a عرض المستطيل، وθ هي الزاوية المحصورة بين $\vec{B}$ و مستوى سطح المستطيل

وبما آن

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2$$

إذن يصبح عزم الازدواج

$$\tau = F_1 a \cos\ \theta$$

وحيث أن الجانبين (cd و fe) متعامدان على $\vec{B}$ فإذن

$$F_1 = IbB$$

وبالتعويض نجد ان

$$\tau = IabB \cos\ \theta$$

لكن a b هي مساحة لفة المستطيل A وبتعريف الثنائي القطب المغناطيسي للفة الواحدة كالآتي

$$\boxed{\vec{\mu} = I\vec{A}} \qquad (٥-٥)$$

يصبح العزم

$$\tau_m = \mu B \cos \theta \qquad (٥-٦)$$

وبشكل عام، يتناسب عزم الثنائي القطب تناسبا طرديا مع عدد اللفات ، فإذا كان عدد لفات الملف يساوى N، فيصبح ثنائي القطب المغناطيسي

$$\vec{\mu} = NI\,\vec{A} \qquad (٥-٧)$$

حيث $\vec{A}$ متجه المساحة (مقداره $a \times b$) ويكون اتجاهه عموديا على مستوى الحلقة .

أما معامل ثنائي القطب المغناطيسي $\vec{\mu}$ يقاس بوحدة $A.m^2$ ويتم تحديد اتجاهه بموجب قاعدة اليد اليمنى كما عرفتا سابقا في مقرر في مقرر الفيزياء العامة (٢).

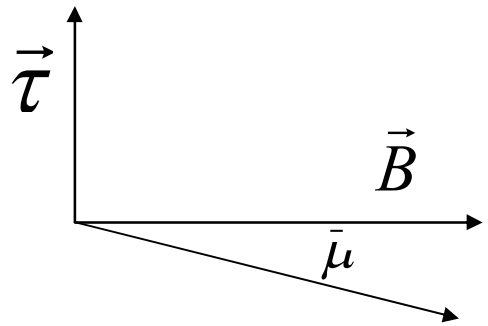
وتنص قاعدة اليد اليمنى علي وضع اليد بحيث يكون الابهام باتجاه التيار المار فى الحلقة فيشير أصابع اليد إلى اتجاه ثنائي القطب المغناطيسي $\vec{\mu}$.

عزيزي الدارس ،،

وباستعمال المتجهات يمكن صياغة عزم الازدواج المغناطيسي $\vec{\tau}_m$ المؤثر على عزم ثنائي القطب المغناطيسي $\vec{\mu}$ ، موضوع ضمن مجال مغناطيسي $\vec{B}$ ، بالضرب التقاطعي كالاتي

$$\vec{\tau}_m = \vec{\mu} \times \vec{B} \qquad (٥-٨)$$

ويحاول عزم الازدواج هذا ان يجعل $\vec{\mu}$ تدور نحو $\vec{B}$.



وبالمقارنة مع عزم الازدواج الكهربي $\vec{\tau}_E$ ، المؤثر على عزم ثنائي القطبي كهربي $\vec{P}$، موضوع ضمن محال كهربا $\vec{E}$ نلاحظ التماثل بين الحالتين ، اى أن

$$\boxed{\vec{\tau}_e = \vec{P} \times \vec{E}} \qquad (٩-٢)$$

وتجدر الإشارة هنا بان العلاقه (٥-٨) صحيحة بغض النظر عن شكل الحلقة سواء كانت على هيئة مستطيل او حلقه دائريه او اى مضلع اخر.

◄◄ مثال (٣)

أوجد مقدار القوه المؤثرة على سلك مغلق يحمل تيارا كهربيا وموضوع ضمن مجال مغناطيسي منتظم .

الحل

باستعمال العلاقة (٥-٤)

$$\vec{F} = I \int_a^b d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

وبما أن المجال المغناطيسي منتظم ،اذن يمكن كتابة المعادلة كالاتى

$$\vec{F} = I \oint d\vec{\ell} \times \vec{B}$$

وبما انه يتم اجراء التكامل على مسار مغلق

$$\oint d\vec{\ell} = 0$$

$$\vec{F} = 0$$

نستنتج أن

"القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مغلق يحمل تيارا كهربيا ثابتا موضوع في مجال مغناطيسي منتظم تكون دائما مساوية للصفر".

◄◄ مثال (٤)

ملف دائري عدد لفاته ١٠٠ ونصف قطره $0.025m$ يمر فيه تيار $0.1A$وموضوع ضمن مجال مغناطيسي خارجي مقداره $1.5T$ فما مقدار الشغل الذي يجب أن يبذل لإدارة الملف من وضع يكون فيه العزم المغناطيسي موازيا للمجال المغناطيسي إلى وضع يصبح فيه العزم لمغناطيسي معاكسا لاتجاه المجال .

الحل

يعرف الشغل بالعلاقة التالية

$$W = \int_0^{\pi} \tau_m \, d\theta$$

وباستخدام العلاقة (٥-٦) نعوض قيمة

$$W = \int_0^{-\pi} \mu B \sin\theta \, d\theta$$

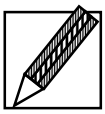
وبتعويض المعادلة (٥-٧) في المعادلة الأخيرة نحصل على

$$W = \int_0^{\pi} NIA \sin\theta d\theta = NIAB \int_0^{\pi} \sin\theta d\theta = 2NIAB$$

وباستعمال الأرقام الواردة نجد أن

$$W = (2)(100)(0.1)(\pi)(0.025)^2(1.5) = 0.0589J$$

تدريب (٣)



القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مغلــق يحمــل تيــارا كهربيــا ثابتــا موضوع في مجال مغناطيسي منتظم تكون دائما مــساوية للــصفر؛ نــاقش هذه العبارة.

أسئلة تقويم ذاتي



ناقش عزم الدوران المؤثر في حلقة تحمل تيارا كهربيا ، ثم وضح كيف تحدد اتجاهه؟ ثم وضح لماذا يحدث للملف عندما يكون في الوضع الراسي

٤,١,٥ حركة جسيم مشحون تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم

عزيزي الدارس ،،

نستطيع تقسيم المجال المغناطيسي إلى نوعين: مجال منتظم ومجال غير منتظم

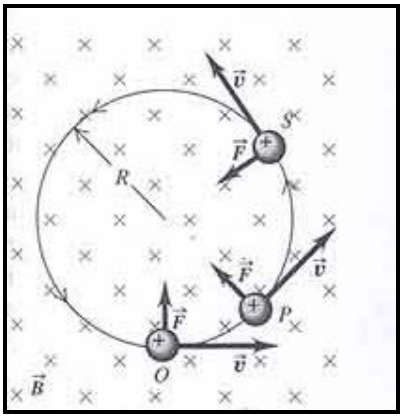
- المجال المنتظم هو المجال الذي يكون ثابتا مقدارا واتجاها ويعبر عنه بخطوط متوازية ذات إبعاد متساوية.
- أما المجال المغنطيسي غير المنتظم فإنه يختلف من نقطة إلى أخرى مقداراً واتجاهاً أو كليهما معاً

ويرمز للمجال المغنطيسي الداخل في سطح الورقة بالرمز (x)، كما يرمز للمجال المغنطيسي الخارج عمودياً على سطح الورقة بالرمز (•).

عزيزي الدارس ،،

القوة المغناطيسية لا تبذل شغلا يؤدى إلى تغيير في الطاقة الحركية للجسم المشحون .فإذا سار جسيم مشحون بسرعة عمودية على مجال مغناطيسي منتظم فسيسلك الجسيم مسارا دائريا ويبقى يدور بسرعة ثابتة (الشكل (٧-٩)). وتتوفر القوة المتجهة نحو مركز الدوران من القوة المغناطيسية .

ويسمى الجهاز المصمم الشكل(٥- ٦) بحيث تدور الشحنات في حركة دائرية داخلية داخله بالسيكلترون ويستعمل لتسريع الجسيمات المشحونة كالبروتونات والالكترونات



الشكل(٥- ٦)

و بما أن $\vec{\upsilon} \perp \vec{F}$ يصبح مقدار القوة

$$\vec{F} = q\vec{\upsilon} \times \vec{B} \sin\theta$$

وبافتراض أن $\theta = 90^0$

$$\vec{F} = q\vec{\upsilon} \times \vec{B}$$

إذن

باستعمال قانون نيوتن الثاني للقوة المركزية ($F = \frac{m\upsilon^2}{r}$)تتحصل علي

$$F \ \upsilon \ B = \frac{m \ \upsilon^2}{R}$$

منها

$$\boxed{R = \frac{m \ \upsilon}{qB}} \qquad (٩-٥)$$

عزيزي الدارس ،،

نجد أن:

نصف قطر الدوران R يتناسب تناسبا طرديا مع سرعة الجسم المشحون .

وتعرف الفترة الزمنية اللازمة لعمل دورة واحدة بالزمن الدوري T على أنها حاصل قسمة المسافة التي يقطعها الجسيم المشحون خلال دورة واحدة على سرعة الجسيم υ أي :

$$T = \frac{2\ \pi\ R}{\upsilon}$$

ومنها تتحصل أيضا علي أن $$T = \frac{2\ \pi\ m}{qB}$$

أما السرعة الزاوية (التردد الزاوي) تعطي بالعلاقة التالية

$$\omega = \frac{2\ \pi}{T}$$

وبالتعويض تتحصل علي

$$\omega = \frac{qB}{m}$$

وتسمى السرعة الزاوية (التردد الزاوي ω) في هذه الحالة بتردد السيكلوترون . ويلاحظ هنا أن التردد لا يعتمد على سرعة الدوران . و والجسيمات السريعة تتخذ مسارات دائرية ذات أنصاف أقطار كبيرة، أما الجسيمات البطيئة تتخذ مسارات ذات أنصاف أقطار صغيرة ولكنها كلها تدور بنفس التردد.

◄◄ مثال (٥)

يتحرك بروتون في مسار دائري نصف قطره $10cm$ ضمن مجال مغناطيسي $0.32T$ يتجه عموديا على سرعة البروتون . جد سرعة البروتون.

الحل

بما أن نصف قطر يعطي بالعلاقة التالية

$$R = \frac{m \upsilon}{qB}$$

$$\upsilon = \frac{qBR}{m}$$

$$\upsilon = \frac{(1.60 \times 10^{-19})(0.32)(0.10 \times 10^{-2})}{1.67 \times 10^{-17}}$$

$$\upsilon = 3.05 \times 10^{6} m / s$$

٢,٥ مصادر المجال المغناطيسي

SOURCES OF MAGNETIC FIELD

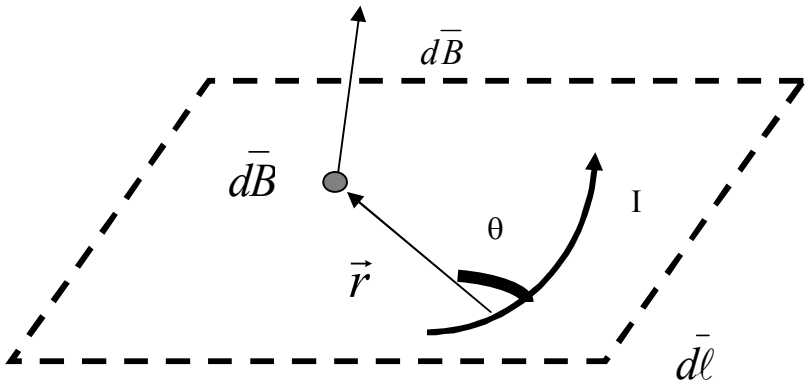
عزيزي الدارس ،،

ذكرنا في مقدمة الوحدة السابقة أن اورستد اكتشف العلاقة التي تربط بين الكهرباء والمغناطيسية من خلال تجربته الشـــهيرة المتمثلة في انحراف ابرة بوصلة عند وضـــعها بالقرب من موصل يحمل تيارا كهربيا. وبعد ذلك بســـــنوات ،اجرى العالمان **جين بيوت** (Jean biot) (١٨٦٢-١٧٧٤) **وفيليكس سافارت** (Felix Savart) (1841-1791)، سلسلة من التجارب تتلخص في **أن الموصل الذي يحمل تيارا ثابتا، يؤثر بقوة على المغناطيس الموجود بجواره،** كما اضافا بعداً كميا الى ما قام به اورستد. ومن خلال نتائجهما العملية، توصلا إلي ايجاد علاقة تعطي المجال المغناطيسي عند نقطة في الفضاء، بدلالة التيار الكهربي الذي يسببه.

١,٢,٥ قانون بيوت – سافارت Biot-Savart Law

عزيزي الدارس ،،

ليكن لدينا موصل يحمل تيارا كهربيا I كما في الشكل (٥-٧)، ولإيجاد المجال المغنطيس $d\vec{B}$ عند النقطة P الناجم عن عنصر الطول $d\bar{\ell}$ ، ينبغي ملاحظة الخواص التالية:



الشكل(٥-٧)

- يكون المجال المغناطيس $d\bar{B}$ عموديا على كل من عنصر الطول $d\bar{\ell}$ (وهو باتجاه سريان التيار) ومتجة الوحدة $\hat{r}$ (يتجة من عنصر الطول الى النقطة P).
- يتناسب مقدار $d\bar{B}$ عكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بين $d\bar{\ell}$ والنقطة المسافة r
- تناسب مقدار $d\bar{B}$ طرديا مع شدة التيار I وطول العنصر $d\bar{\ell}$
- يتناسب مقدار $d\bar{B}$ طرديا مع جيب الزاوية oالحصورة بين $d\bar{\ell}$ و $\hat{r}$

عزيزي الدارس،،

الان يمكننا دمج الخواص السابقة في العلاقة

$$\boxed{dB = \frac{\mu_0 Id \quad \vec{\ell} \times \hat{r}}{4\pi r^2}} \qquad (٥-١٠)$$

ويسمى μ_0 نفاذية الفراغ (permeability of free space) ومقدارها في النظام الدولي للوحدات:

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} Wb / A.m$$

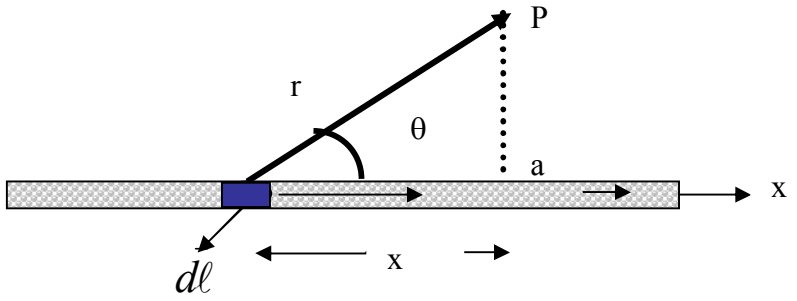
ولإيجاد المجال المغناطيسي عند النقطة p الناشئ عن وصول قيد الدراسة نستعمل التكامل ،اى ان :

$$\boxed{\overline{B} = \frac{\pi_0 I}{4\pi} \frac{\int d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}} \qquad (٥-١١)$$

وهناك أوجه شبه بين قانون بيوت – سافرت في المغناطيس من جهة، وقانون كولوم في الكهروستاتيكية (الكهرباء السكونية) من جهة اخرى ، وهو ان عنصر التيار $Id\bar{\ell}$ يعمل على توليد مجال مغناطيسي، في حين ان الشحنة النقطية تؤدى الى توليد مجال الكهربي. أضف إلى ماتقدم، أن كلا المجالين، يتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين المسبب للمجال اى المصدر (Source) ، والنقطة التى يراد ايجاد المجال عندها (Observation point).

◄◄ مثال (٦)

أوجد المجال المغناطيسي عند النقطة p الناجم عن سلك مستقيم رفيع يمر فيه تيار I كما في الشكل (٥-٨).



الشكل (٥-٨)

الحل

نفرض أن لدينا عنصراً طوله $d\bar{\ell}$ على بعد r من النقطة p . وباستعمال قاعدة اليد اليمنى، اى اذا جعلنا الابهام يشير الى اتجاه التيار، فنهايات الاصابع تتجة عموديا خارج سطح الورق عند النقطة p ،وهذا هو اتجاه المجال المغنطيسي عند p كما بالشكل. وبالتعويض في المعادلة (٥-٩) وباستعمال

$$\left| d\ell \right| = dx$$

نجد أن

$$dB = \frac{\mu I}{4\pi} . \frac{dx \sin \theta}{r^2}$$

وتحتوى هذه العلاقة على ثلاثة متغيرات هي x و r و θ ، ولحصرها في متغير واحد نقوم بالاتي

$$r = a \csc \theta$$

$$x = -a \cot \theta$$

ومنها

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

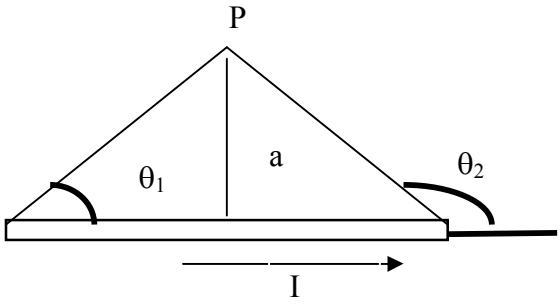
إذن

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \sin \theta \, d\theta$$

عزيزي الدارس ،،

الآن و باجراء التكامل مع اخذ نهايتي الزاوية θ بعين الاعتبار (انظر الشكل (٥-٩)) نجد المجال المغناطيسي

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}[\cos\theta_1 - \cos\theta_2] \qquad (١٢-٥)$$



الشكل (٥-٩)

◄◄ مثال (٧)

جد المجال المغناطيسي عند النقطة p الواقعة على بعد a من سلك رفيع لانهائى الطول يمر فيه تيارا شدته I.

الحل:

نعوض نهايتي الزاوية θ في المعادلة (٥-١٢)

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi a}[\cos\theta_1 - \cos\theta_2]$$

$$\theta_2 = \pi, \theta_1 = 0$$

فنحصل على

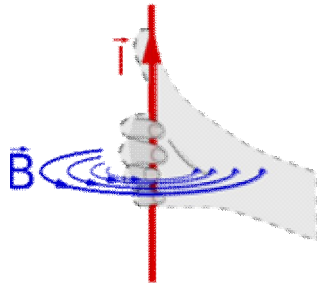
$$\cos\theta_1 = 1 : \cos\theta_2 = -1$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \qquad (١٢-٥)$$

عزيزي الدارس، الآن يلاحظ من هذه النتيجة أن

شدة المجال عند كل النقاط التي تبعد مسافة a حول السلك متساوية، وهذه النقاط تشكل دائره مركزها السلك.

وهكذا يوضح المثال خاصية في غاية الاهمية وهي ان خطوط المجال المغناطيسي تكون على شكل حلقات مغلقة مركزها السلك الذي يحمل التيار الكهربي على نقيض خطوط المجال الكهربي التي تبدأ من الشحنة الموجبة وتنتهي بالشحنة السالبة .



الشكل (٥-٩)

شكل خطوط المجال المغناطيسي حول سلك يحمل تيار كهربي

◄◄ مثال (٩)

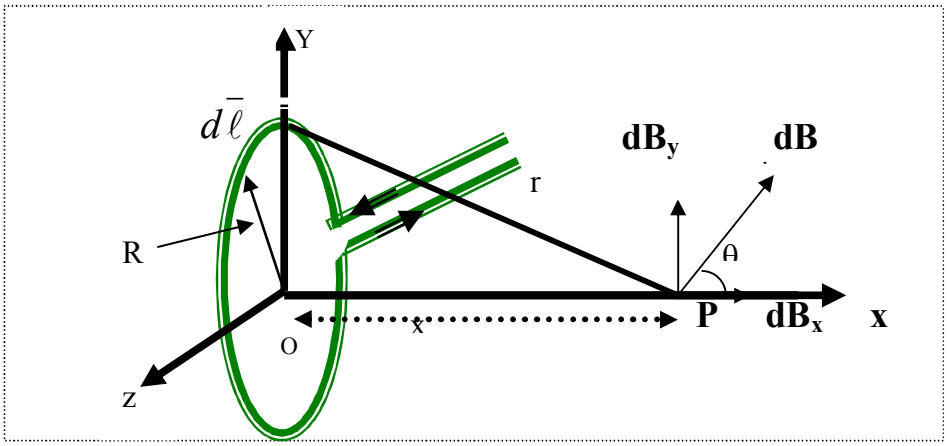
جد المجال المغناطيسي الناجم عن حلقة نصف قطرها R تحمل تيارا شدته I ، وذلك عند النقطة P الواقعة على محورها وعلى بعد x من مركزها. انظر الشكل.

الحل

عزيزي الدارس ،،

نلاحظ هنا إن أي عنصر إزاحة $d\bar{\ell}$ يكون متعامدا على $\bar{r}$ إضافة إلى أن كل عنصر من عناصر الحلقة يبعد نفس المسافة r عن النقطة P ، إذن قيمته $d\bar{B}$ الناشئة عن عنصر واحد $d\ell$ تعطى حسب قانون بيوت سافرت بالعلاقة

$$dB = \frac{\mu_0 I d\ell}{4\pi(x^2 + R^2)} \qquad (٥-١٥)$$



فيكون اتجاه $d\bar{B}$ عموديا على المستوى المكون من $d\bar{\ell};\hat{r}$ ، ويمكن تحليل المتجة الى مركبتين الاولى باتجاه x ، والثانية عمودية على محور الحلقة (باتجاه y). ويلاحظ هنا ان المركبة العمودية تتلاشى اذا اخذت كل عناصر الحلقة بعين الاعتبار، اى انه يوجد للمجال $\overline{B}$ مركبة واحدة على امتداد المحور هي

$$B_x = \int dB \cos\theta = \frac{\mu I}{4\pi} \oint \frac{\cos\theta\, d\ell}{(x^2 + R^2)}$$

وبما أن الكميات $x\ ;\ \theta$ ثابتة لكل عناصر الحلقة اذن يبقى المتغير الوحيد ℓ وبناء عليه نجد ان

$$B_x = \frac{\mu_0 IR}{4\pi\,(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \oint d\ell$$

$$\boxed{B_x = \frac{\mu_0 IR^2}{2\,(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}} \qquad (١٦-٥)$$

حيث

$$\oint d\ell = 2\pi R$$

◄◄ مثال (١٠)

جد المجال المغناطيسي عند مركز الحلقة في المثال السابق .

الحل

بالتعويض عن x = ٠ فى العلاقة السابقة

$$B_x = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}$$

نجد أن

$$B_x = \frac{\mu_0 I R^2}{2(0 + R^2)^{\frac{3}{2}}}$$

نجد أن $$B_x = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

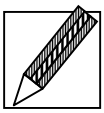
عزيزي الدارس، ،

نلاحظ أن هذه النتيجة تتفق مع النتيجة السابقة المعادلة (٥-١٣) ، أي

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$$

وذلك عندما N=١.

تدريب (4)



جد المجال المغناطيسي عند مركز سلك علي شكل حلقة نصف قطره 8cm يحمل تيارا مقداره 4mA .

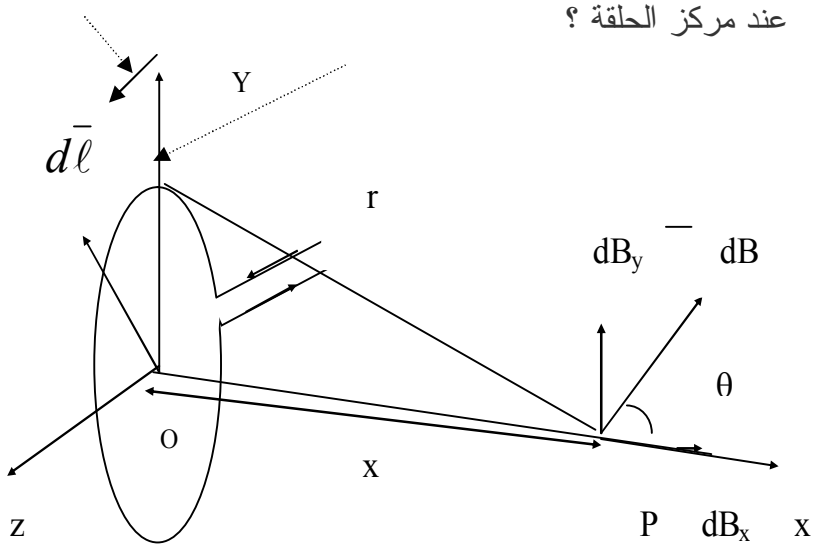
أسئلة تقويم ذاتي

١. أكمل :

هناك أوجه شبه بين قانون بيوت – سافرت في ..... من جهة وقانون ..... في الكهروستاتيكية (الكهرباء السكونية) من جهة أخرى ، ثم نقاش العبارة بعد الاكمال

٢. ناقش المجال الناشئ عن سلك مستقيم طويل يحمل تياراً مع الاستعانة بالرسم

٣.جد المجال المغناطيسي الناجم عن حلقة نصف قطرها 3cm تحمل تيارا شدته I=3mA وذالك عند النقطة P الواقعة على محورها وعلى بعد x =1cm من مركزها انظر الشكل كم يكون المجال المغناطيسي عند مركز الحلقة ؟



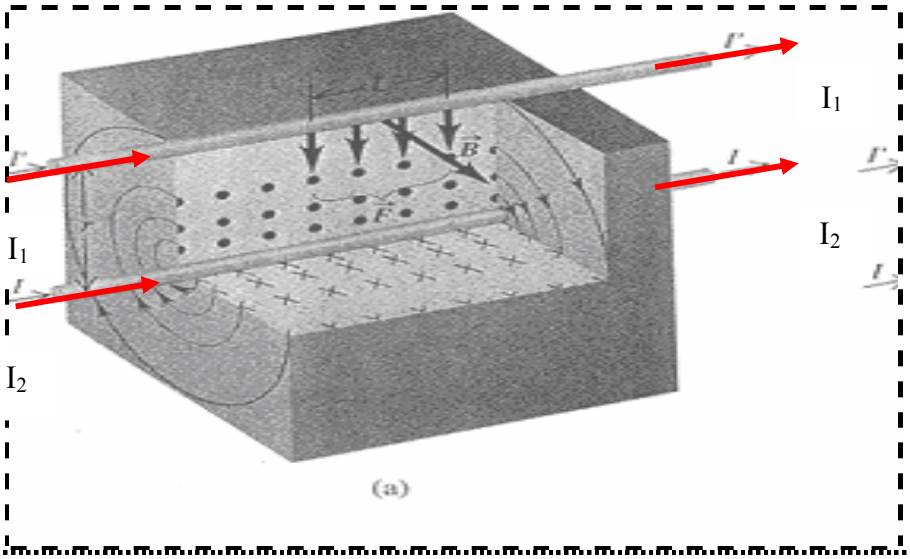
٢,٢,٥ القوة المتبادلة بين موصلين متوازيين يمر فيهما تيار كهربي

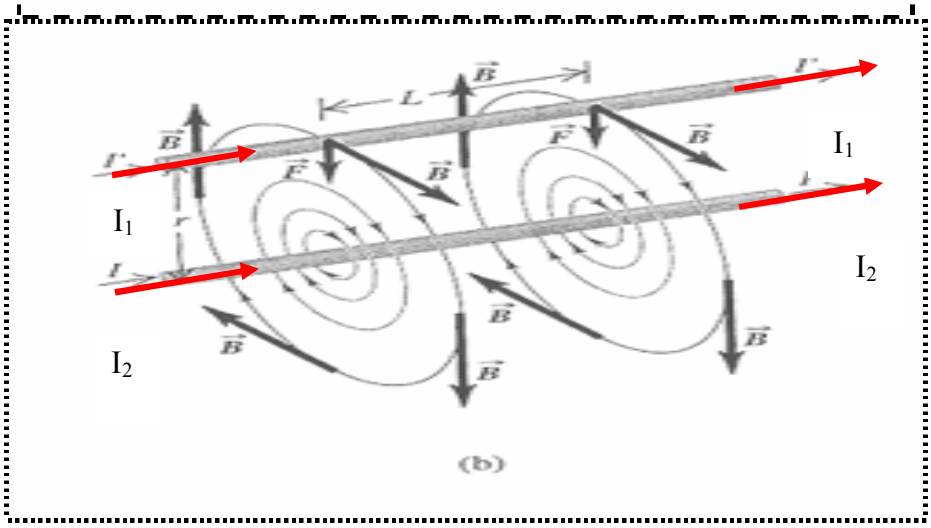
Magnetic Force between Two Parallel Current-currying Conductors

عزيزي الدارس ،،

لدارسة القوة المتبادلة بين موصلين متوازيين يمر فيهما تيارا كهربياً،

نفرض ان لدينا سلكان متوازيان طويلان ، يحمل السلك الاول تيارا شدتة I_1 ، و يحمل السلك الثانى تيارا شدته I_2 ، ولأن كل واحد من السلكين يولد مجالا مغناطيسيا فى الحيز المحيط به، فاننا نتوقع نشوء قوة متبادلة بينهما .





ولإيجاد القوة المغناطيسية بينهما ، دعنا نبدا بالسلك الاول . ينشأ عن تيار I_1 مجال مغناطيسي حوله ومقداره (حسب المعادلة (٥-١٢))

$$B_1 = \frac{\mu_0 N I_1}{2\pi r} \qquad (١٧-٥)$$

حيث r هي البعد عن السلك .

وبما ان السلك الثاني يقع على بعد a من السلك الاول، نجد أن المجـــال المغناطيـــسي $\bar{B}_1$ يعطى بالعلاقة

$$B_1 = \frac{\mu_0 N I_1}{2\pi a}(\hat{j})$$

عزيزي الدارس ،،

يكون للمجال المغناطيسي نفس المقدار والاتجاه عند كافة النقاط الواقعة على السلك الثانى . وسبق أن عرفنا أنه إذا وضع سلك يمرفيه تيار I_2 ، ويخطع لتاثير مجال مغناطيسي $\vec{B}_1$ عند كافة النقاط الواقعة على السلك، فانه يتاثر بقوة مغناطيسة تعطى بالعلاقة التالية

$$\vec{F} = I_2 \ell \vec{B}_1$$

$$\vec{F} = I_2 \ell B_1 (-\hat{k})$$

وبالتعويض عن قيمة $\vec{B}_1$ من العلاقة (٨-٩)، نجد ان

$$\frac{\vec{F}}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}(-\hat{k})$$

ومقدار القوة لكل وحدة طول من السلك يساوى

$$\frac{\hat{F}}{\ell} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{a} \qquad (١٨-٥)$$

وبهذا، عزيزي الدارس ، يتضح ان القوة التى يؤثر بها السلك الاول على السلك الثانى تكون فى الاتجاه z السالب (-k) , أى انها قوة تجاذب بين السلكين اللذين يحملان

تيارين متوازين . ولو اعدنا الاشتقاق باخذ تيارين متعاكسين فى الاتجاه، لحصلنا على قوة تنافر بينهما . وبهدف المقارنة نذكر هنا بالقوة المتبادلة بين الشحنات الكهربية. فالشحنات المتشابهة تتنافر والمختلفة تتجاذب.

تعريف الأمبير

عزيزي الدارس ،،

تجدر الاشارة هنا الى انه يمكننا تعريف وحدة شدة التيار (الأمبير) اعتمادا على العلاقة السابقة (٥-١٨) .

الأمبير هو شدة التيار الذي إذا مر في سلكين رفيعين متوازيين طويلين وموضوعين في الهواء (الفراغ) والمسافة بينهما مترا واحدا لنشات بينهما قوة مقدارها $2\times10^{-7}N/m$ من طوليهما .

◄◄ مثال (١١)

سلكان طويلان متوازيان تفصلهما $0.1m$ ويمر فيها تياران في نفس الاتجاه .فإذا علمت أن مقدار التيار الأول $I_1=5A$ والثاني $I_2=8A$ فما مقدار القوة لكل وحدة طول التي يؤثر بها كل من السلكيين في الأخر ؟

الحل

باستعمال المعادلة

$$\frac{\overline{F}}{\ell}=\frac{\mu_0}{2\pi}.\frac{I_1I_2}{a}$$

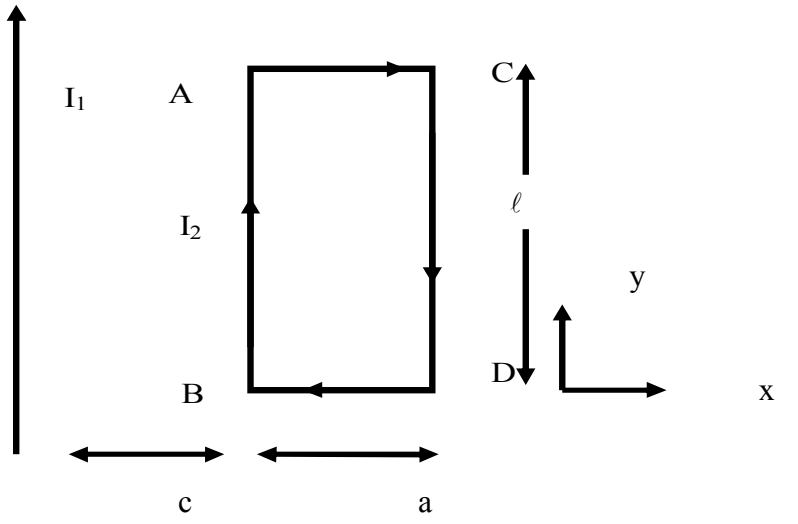
$$\frac{\overline{F}}{\ell}=\frac{4\pi\times10^{-7}Wb/(A.m)(5A)(5A)}{2\pi(0.1m)}=80\ \mu N/m$$

تدريب (٥)

عزيزي الدارس ،، في الشكل التالي لدينا الكميات التالية

$$I_1 = 5A; I_2 = 5A; c = 0.1m; a = 0.15m; \ell = 0.45m$$

جد مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة على سلك مستطيل $ACDB$ والناجمة عن المجال المغناطيسي الذي يسببه السلك المستقيم الذي يحمل تيارا شدته I_1



أسئلة تقويم ذاتي

١.ناقش القوة المتبادلة بين موصلين متوازيين يمر فيهما تيار كهربي

٢.عرف وحدة شدة التيار (الأمبير)

٣. سلكان طويلان متوازيان تفصلهما $200\ cm$ ويمر فيهما تياران في نفس الاتجاه .فإذا علمت أن مقدار التيار الأول $I_1 = 40\ A$ والثاني $I_2 = 4\ A$ فما مقدار القوة لكل وحدة طول التي يؤثر بها كل من السلكيين في الأخر ؟

٣,٢,٥ قانون أمبير Ampere's Law

عزيزي الدارس،،

يلعب قانون أمبير في إيجاد المجال المغنطيسي لتيار كهربي دور قانون غـــاوس في إيجاد المجال الكهربي لتوزيع من الشحنات . والفكرة الأساسية لقانون أمبير تتضمن تكامليا حول مسار مقفل ايحيط بالتيار وينص القانون علي أن

تكامل الكمية $\vec{B}.d\ell$ حول أي مسار مغلق (مقفل) يساوي $\mu_0 I_{pen}$

حيث ان $d\ell$ عنصر طول من المسار و $\vec{B}$ المجال عند تلك النقطة مـــن المـــسار و I_{pen} عبارة عن التيار الذي يخترق(Penetrate)السطح المحاط بالمسار المغلـــق المقترح ، إي أن

$$\oint \vec{B}.d\ell = \mu_0 I_{pen} \qquad (٥-١٩)$$

ولفهم القانون ، نتناول الحالة التالية

١,٣,٢,٥ المجال الناشئ عن سلك مستقيم طويل يحمل تياراً

عزيزي الدارس ،،

لقد دلت التجارب العلمية علي أن المجال المغناطيسي الناشئ عن سلك يمر بـــه تيار يأخذ شكل دوائر متحدة المركز تحيط بالسلك ويقع مركزها عليـــه.ولتحديـــد اتجـــاه المجال نستخدم قاعدة اليد اليمني والإبهام

ومع أن قانون أمبير يعتبر صحيحا بغض النظر عن شكل المسار المغلق المقتـــرح ،إلا انه يمكننا اختيار احدي الحلقات الدائرية لخطوط المجال المغنطيسي المحيطـــة بالـــسلك واعتبارها كمسار لإجـــراء عمليـــة التكامـــل . وفـــي هـــذه الحالـــة تكـــون الزاويـــة

θ المحصورة بين $d\vec{\ell}$ و $\vec{B}$ عند كافة نقاط المسار مساويا للصفر . وبتطبيق قـــانون أمبير نحصل علي

$$\oint \vec{B}.d\ell = \oint Bd\ \ell \cos\ 0 = Bd\ \ell \qquad (٢٠-٥)$$

وبما أن $\vec{B}$ ثابت مقدارا عند كافة نقاط المسار المغلق لان له نفس البعد a عن الـــسلك (الموصل) إذن

$$B\oint d\ell = B(2\pi a) = \mu_0 I$$

وبإعادة الترتيب نجد أن المجال المغناطيسي علي بعد من الموصل يعطي بالعلاقة

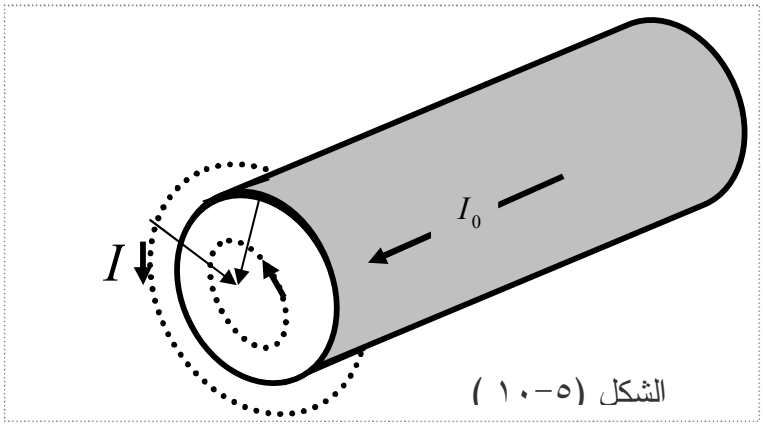
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\ \pi\ a}$$

ويذكر هنا أننا قد حصلنا علي ذات العلاقة باستعمال قانون بيوت _سافارت في المثال (١) المعادلة (١٢).

◄◄ مثال (١٢)

سلك مستقيم وطويل نصف قطره R ،يمر فيه تيار I_0 موزع علي مساحة مقطع السلك بانتظام . جد المجال المغناطيسي علي بعد r مـــن مركـــز الـــسلك فـــي الحيزين $r \geq R$ ، $r \leq R$.

الحل



الشكل (٥-١٠)

أولا: في الحيز $r \geq R$

عزيزي الدارس،،

لنأخذ مسارا دائريا(المسار 1) يتخذ من محور السلك مركزا لـه.نلاحظ من التماثل أن المجال المغناطيسي ثابت مقداراً في جميع المواضع الواقعة على المسار الذي اخترناه لان لها نفس البعد . وبما أن التيار الكلى الذي يخترق هذا المسار المغلق هو I_0فباستعمال قانون أمبير (المعادلة (٥ -١٩) نحصل على الاتى

$$\oint \vec{B}\, d\,\vec{\ell} = B \oint d\,\ell = B\,(2\,\pi r) = \mu_0 I_0$$

$$B = \frac{\mu_0 I_0}{2\,\pi r}, r \geq R \qquad (21\text{-}5)$$

عزيزي الدارس ،،

وهذه النتيجة هي ذاتها التي حصلنا عليها في حالة السلك طويل رفيع يحمل تيارا ، كما لو كان التيار مركزا في محور السلك . ويتبين أن المجال المغناطيسي يتناسب عكسيا مع البعد عن السلك ، ويعود الفضل في التشابه بين هاتين الحالتين إلى التماثل في توزيع التيار المار في السلك .

ثانياً : في الحيز $r \leq R$

ليكن المسار المغلق (المسار٢) في هذه الحالة عبارة عن دائرة مركزها محور السلك ونصف قطرها r اخذين التماثل والانتظام في توزيع التيار بالاعتبار ، وباستعمال قانون أمبير نحصل على

$$\oint \vec{B}.d\,\ell = B\,(2\pi r) = \mu_0 I_{pen} = \mu_0 \{\frac{\mu r^{\,2}}{\pi R^{\,2}}\} I_0$$

حيث يمثل I_{pen} التيار الكلى الذي يخترق المسار المقفل ويساوى

$$I_{pen} = \frac{\pi\, r^{\,2}}{\pi\, R^{\,2}} I_0$$

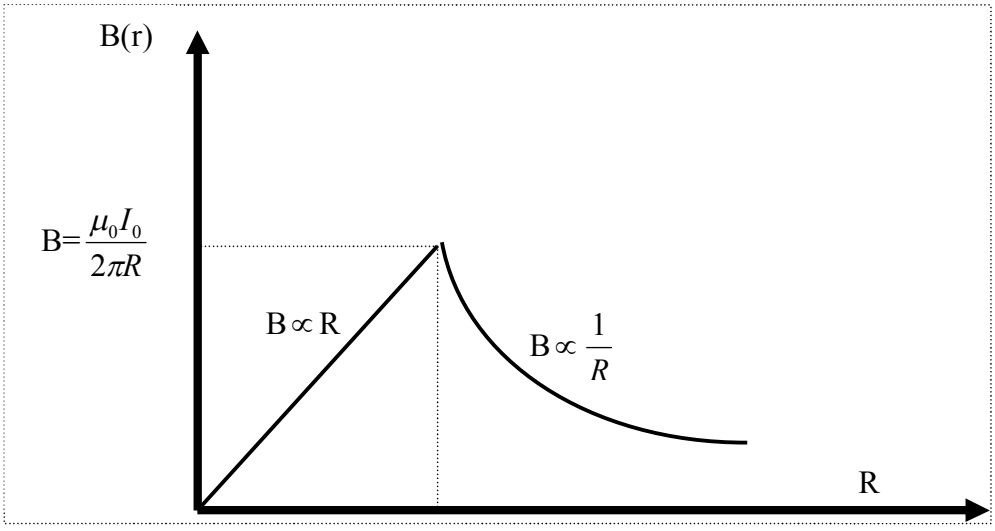
أي بنسبة مساحة مقطع السلك المحصور داخل أمبير إلى المساحة الإجمالية لمقطع السلك وعلية نجد أن

$$B = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi R}, r \geq R \qquad (٢٢-٥)$$

وهذه العلاقة خطية بين المجال والبعد عن محور السلك .

ولكن عزيزي الدارس عند سطح السلك حيث $r = R$ نجد أن المعادلتين السابقة تؤديان إلى نفس النتيجة .

$$B = \{\frac{\mu_0 I_0}{2\pi R}\}, r = R$$



المجال المغناطيسي بدلالة البعد عن محور السلك

أسئلة تقويم ذاتي

١.فسر التشابه بين قانون أمبير وقانون غاوس.

٢. ناقش المجال الناشئ عن سلك مستقيم طويل يحمل تياراً مع الاستعانة بالرسم.

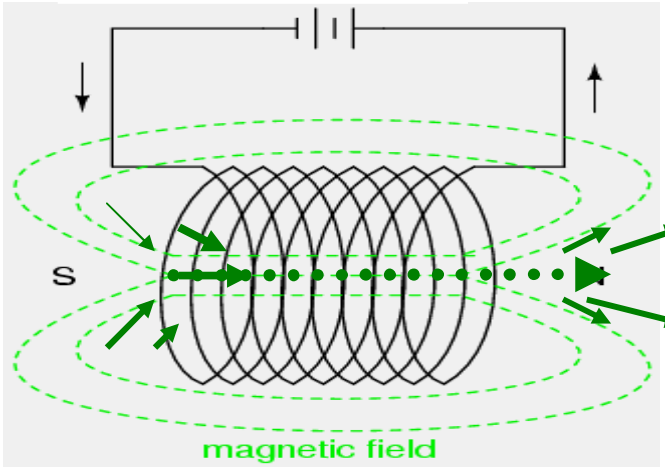
٢,٣,٢,٥ المجال المغناطيسي لسلك لولبي

عزيزي الدارس ،،

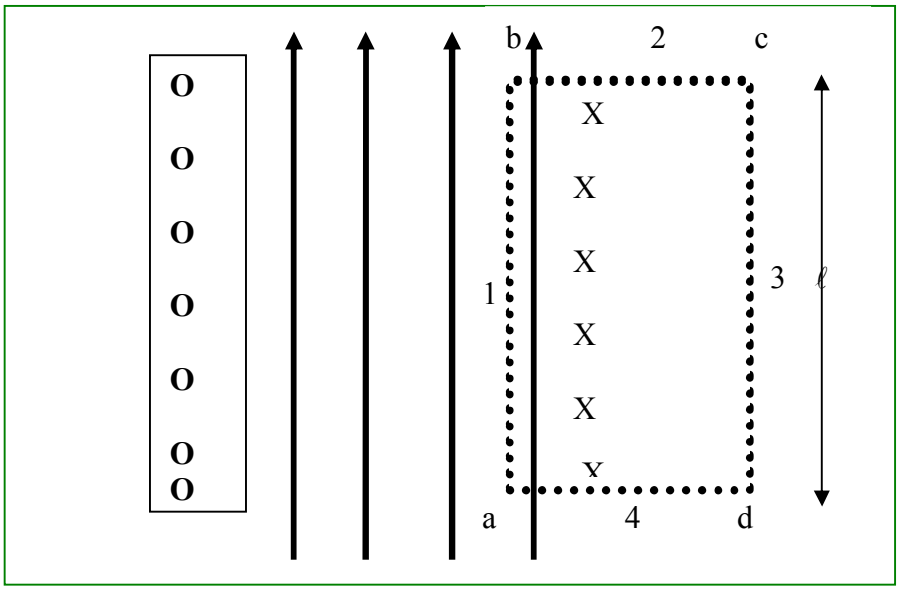
يتكون الملف اللولبي من سلك طويل (معزول) ملفوف على شكل حلزوني . ويمثل الشكل (٥-١١) خطوط المجال المغناطيسي الناشىء عن ملف لولبي متباعد اللفات .ونلاحظ الاتي

- خطوط المجال المغناطيسي في داخل الملف اللولبي متوازية تقريبا وموزعة بانتظام ، مما يدل على وجود مجال منتظم .
- أما المجال بين اللفات فيلغي بعضه بعضا
- يكون المجال خارج الملف ضعيفا وغير منتظم . وتخرج خطوط المجال من احد طرفية وتعود إلى الطرف الأخر ، أشبه بتوزيع خطوط المجال الناشئة عن مغناطيس طبيعي . وبذلك يسلك الطرف الأخر سلوك قطب مغناطيسي شمالي في حين يسلك الطرف الأخر سلوك قطب مغناطيسي جنوبي .وكما ازداد طول الملف كلما انتظم المجال داخلة أكثر . وقد نحصل على"ملف لولبي مثالي " عندما تتقارب اللفات إلى حد الالتصاق (نذكر هنا بان السلك معزول) ، ويكون طول الملف اكبر بكثير من نصف قطره وفى هذه الحالة يصبح المجال خارج الملف ضعيفا مقارنة مع المجال داخل الملف كما ينتظم المجال داخله .

ويمكننا عزيزي الدارس الآن استعمال قانون أمبير لإيجاد المجال المغناطيسي داخل ملف لولبي مثالي و لنتأمل معا ملفا لولبيا على شكل دوائر تقع في مستو عمودي على محور الملف ، فعند مرور تيار كهربي في الملف ينشا مجال مغناطيسي منتظم بداخله . خذ جزءا من ملف طوله ℓ وعدد لفاته N من المقطع الطولي للملف المبين في الشكل (٥-١١).



الشكل (٥-١١)(أ)



الشكل (٥-١١)(ب)

ولإيجاد المجال المغناطيسي في مركز الملف اللولبي فإننا وحسب قانون أمبيـــر نحتـــاج لاختيار مسار مقفل $abcd$ على هيئة مستطيل . ولتطبيق القانون على هذا المـــسار فإننا نرى أن التكامل يحتوى على أربعة أجزاء وهي

$$\oint \vec{B}.d\ell = \int_1 \vec{B}d\vec{\ell} + \int_2 \vec{B}d\vec{\ell} + \int_3 \vec{B}d\vec{\ell} + \int_4 \vec{B}d\vec{\ell} \qquad (٢٣-٥)$$

ويبدو واضحا أن التكامل على المسار (٣) يعطى صفرا لان المجال خارج الملف يمكن إهماله . أما للمسارين (٢) و(٤) فيكون عنصر الإزاحة $d\vec{\ell}$ متعامدا على $\vec{B}$ ويبقى إذن المساهم الوحيد في هذا التكامل هو المسار (١) اى أن

$$\oint \vec{B} . d\ell = \mu_0 (NI) \qquad (٢٤-٥)$$

حيث NI عبارة عن التيار الكلى الذي يعبر حلقة أمبير $abcd$ هو التيار المار في اللغة الواحدة ، و N عبارة عن عدد اللفات في الجزء من الملف الذي طوله ℓ ونحصل بذلك على العلاقة التالية

$$B = \mu_0 [\frac{N}{\ell}] I = \mu_0 nI$$

حيث $\left(n \equiv \frac{N}{\ell} \right)$ عدد اللفات لكل وحدة طول من هذا الملف

٤,٢,٥ المجال المغناطيسي لملف حلقي

يتألف الملف الحلقي من سلك معزول ملفوف حول سطح حلقي كما هو في الشكل ويتكون من عدد Nمن اللفات المتراصة نصف قطره الداخلي R_1 ونصف قطره الخارجي R_2 وسمكه $2a$

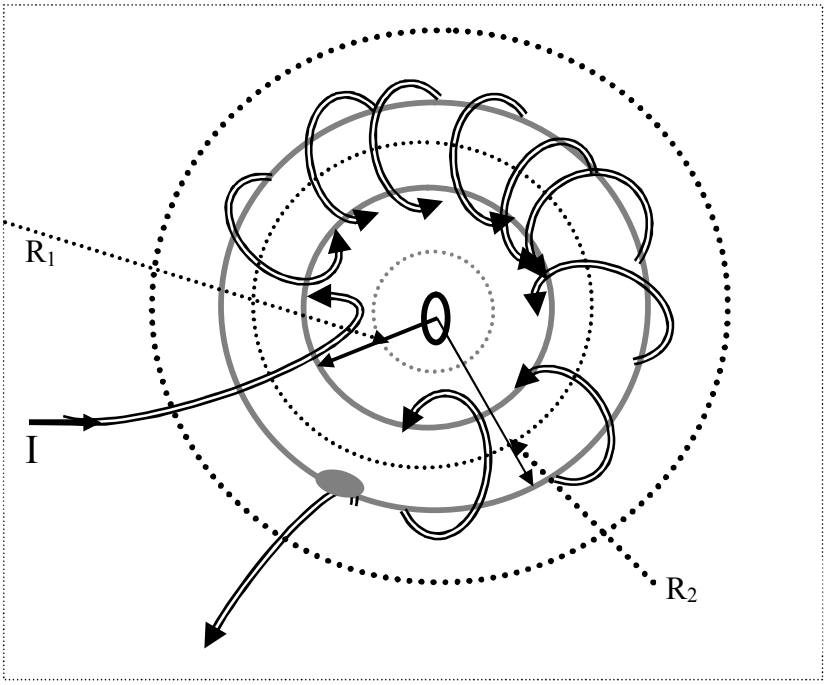
جد المجال المغناطيسي عند النقطة r في المواضع التالية

أ) $r < R_1$ داخل الملف .

ب) $r > R_2$ خارج الملف .

ج) $R_1 < r < R_2$ في قلب الملف .

د) $r < R_1$ (داخل الملف)



لشكل (٥-١٢)

لإيجاد المجال المغناطيسي داخل الملف الحلقي نختار مسارا دائريا مقفلا نصف قطره r (المسار ١) . وبتطبيق قانون أمبير لهذا المسار مع مراعاة انه لا يوجد تيار خلال المساحة التي تحدها حلقة أمبير فنجد أن

$$\oint \overline{B}.d\,\overline{\ell} = 0$$

ويكون بذلك المجال المغناطيسي داخل الملف الحلقي مساويا للصفر .

هـ) $r > R_2$ خارج الملف .

وبالمثل ، نختار المسار ٣ ونطبق قانون أمبير لنحصل على قيمة المجال المغناطيسي والتي تساوى صفرا وذلك لعدم مرور تيار داخل المساحة التي يحددها المسار المغلق ٣. ويعود السبب إلى أن التيار في كل لفه يمر خلال المساحة المحصورة داخل هذا المسار مرتين ، مرة إلى الداخل ومرة إلى الخارج .

و) $R_1 < r < R_2$ في قلب الملف .

نظرا للتماثل الناشيء عن لف السلك لفا متقاربا ، فان خطوط المجال في قلب الملف تشكل دوائر مركزها مركز الملف • ولإيجاد المجال المغناطيسي ، نختار المسار الدائري ٢ المبين في الشكل (٥-١٢) ونلاحظ أن مقدار المجال الثابت عند كافة نقاط المسار وان المماس لهذا المسار عند نقطة ما يحدد اتجاه $\vec{B}$ عند تلك النقطة .

فالطرف الأيسر من قانون أمبير المسمي ب "تجول $\bar{B}$" يعطى بالعلاقة

$$\oint \bar{B}.d\bar{\ell} = \oint B d\ell = B\oint d\ell = B(2\pi r)$$

أما الطرف الأيمن من القانون فيساوى $\mu_0 NI$ وذلك لان حلقة أمبير في هذه الحالة تحتوي على عدد N من اللفات ويمر بكل واحدة منها تيار شدته I وبذلك يكون التيار مساويا NI

إذن وبدمج الطرفين معا في معادلة واحدة نحصل على

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

ويلاحظ في المعادلة الأخيرة أن شدة المجال $\bar{B}$ تتناسب تناسبا عكسيا مع r (بعد النقطة عن المركز) .

ومعنى ذلك ، عزيزي الدارس، ان خطوط المجال غير منتظمة التوزيع عبر مقطع الملف . هذا ويمكن اعتبار المجال منتظما إذا كانت $r >> a$ إذ تتوزع خطوط المجال بانتظام عبر المقطع ويكون طول المسار المقفل $\ell = 2\pi R$ ، حيث R هو متوسط نصف قطر الملف $R = \frac{R_1 + R_2}{2}$

أسئلة تقويم ذاتي



١. اشرح المجال المغناطيسي لسلك لولبي مع الاستعانة بالرسم.

٢. وضح المجال المغناطيسي لملف حلقي نصف قطره r عندما تكون $r < R_1$ داخل الملف ، $r > R_2$ خارج الملف .

٥,٢,٥ التدفق المغناطيسي Magnetic Flux

عزيزي الدارس ،،

يمكننا رسم خطوط المجال المغناطيسي بنفس الطريقة التي اتبعناها في الرسم خطوط المجال الكهربائي مع بعض الاختلافات . ويمثل المجال المغناطيسي بخطوط وهمية تسمى خطوط المجال المغناطيسي والمماس لخط المجال عند **النقطة ما عبارة عن متجه المجال المغناطيسي** .ويمكن أن تكون الخطوط متوازية ومتباعدة عن بعضها بمسافات متساوية ويدعى المجال في هذه الحالة بالمجال المنتظم .وفى هذه الحالة يعرف التدفق المغناطيسي من خلال سطح ما بالعلاقة

$$\Phi_m = \vec{B}.\vec{A} = BA\cos\theta \qquad (٢٤-٥)$$

حيث θ هي الزاوية المحصورة بين المجال المغناطيسي ومتجه المساحة إما إذا كان المجال متغيرا فعندها نستطيع حساب التدفق المغناطيسي باستعمال عنصر مساحة $d\vec{A}$ (وهو جزء من السطح الذي يتخلله التدفق) وبأجراء التكامل نحصل على

$$\Phi_m = \int_S \vec{B}.d\vec{A} \qquad (٢٥-٥)$$

وهذه العلاقة الأخيرة تمثل التعريف **العام للتدفق المغناطيسي** عبر سطح ما S ، والذي تؤخذ منه الحالة الخاصة المبينة أعلاه في حالة المجال المنتظم . ويلاحظ هنا انه يمكن للسطح S أن يكون مغلقا أو غير مغلق . ويقاس التدفق المغناطيسي بوحدة "ويبر" (Weber) ويرمز لها بالرمز (Wb)

٦,٢,٥ التدفق المغناطيسي لسطح مغلق

عزيزي الدارس ،،

لقد تناولنا في الفصل الثاني دراسة قانون غاوس للكهرباء الساكنة والذي ينص على أن

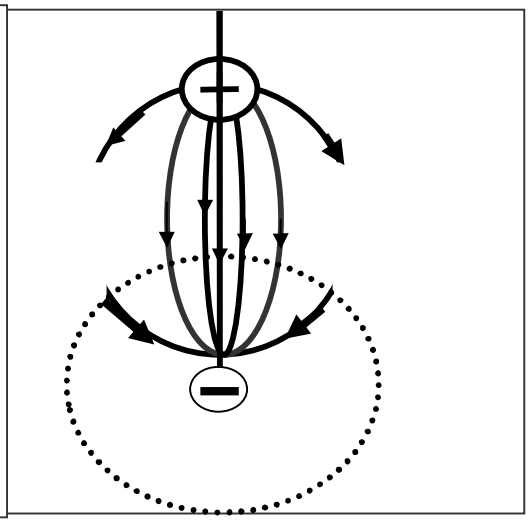
> التدفق الكهربي خلال سطح مغلق يتناسب مع مقدار الشحنة الموجودة داخل ذلك السطح

إي أن

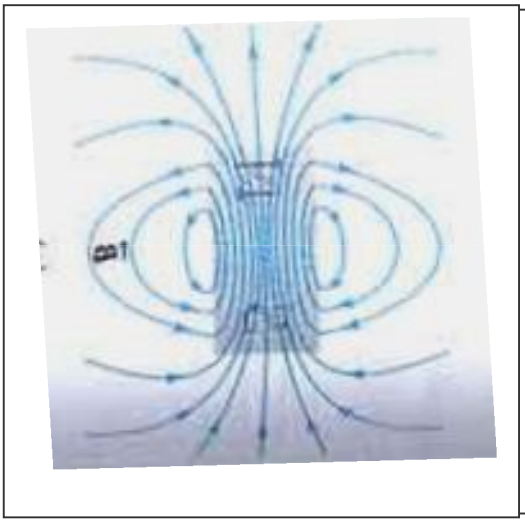
$$\oint \vec{E} \cdot \hat{n}\, dA = \frac{q_{enc}}{\varepsilon_0}$$

وتعتمد هذه الخاصية على حقيقة فحواها أن خطوط المجال الكهربي تخـــرج من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة .

ويختلف الأمر في حالة المغناطيسية ، حيث تتألف خطوط المجال المغناطيسي مـــن حلقات مستمرة مغلقة . ومثل هذه الخطوط لا يبدأ أو ينتهي عند نقطة ما . ويعود ذلـــك إلى عدم وجود شحنة مغناطيسية منفردة تشابه الشحنة الكهربائية . ولمزيد من التوضيح ، دعنا نقارن الشكلين (٥-١٢) (أ)و (٥-١٢) (ب).



(٥-١٢) (أ)



(٥-١٢)(ب)

عزيزي الدارس ،،

الشكل (٥-١٢)(أ) أعلاها يمثل تخطيطا للمجال الكهربي في حالة شحنتين مختلفتين ، والخط المنقط يمثل سطحا غاوسيا . فإذا قمنا بإيجاد عدد الخطوط الداخلية في سطح غاوس والخارجة منه لو وجدنا أن جميع الخطوط في هذه الحالة تدخل سطح غاوس ، إي أن التدفق الكهربي عبر سطح غاوس لا يساوي صفرا . ويعود السبب إلى وجود شحنة صافية داخل السطح الغاوسي .

أما في حالة المغناطيسية، فلننظر إلى الشكل (٥-١٢)(ب) الذي يمثل خطوط المجال المغناطيسية .

عزيزي الدارس ،،

الآن إذا أخذنا سطح غاوس (كروي) المبين بالخط المنقط في الشكل (٥-١٢)(أ) لو وجدنا أن عدد خطوط المجال المغناطيسي الداخلة فيه مساو لعدد الخطوط الخارجة منه . ونستنتج رياضيا أن

$$\Phi_m = \int_S \vec{B}.d\vec{A} = 0 \qquad (٢٦-٥)$$

وتفسير ذلك أن محصلة التدفق المغناطيسي خلال إي سطح مقفل تكون مساوية للصفر وهذا ما يعرف بقانون غاوس في المغناطيسية .

◀◀ مثال (١٥)

سلك علي هيئة مستطيل a عرضها b وطولها موضوعة علي بعد c من سلك طويل يحمل تيارا كهربائيا شدته I أوجد التدفق المغناطيسي الكلي عبر السلك Φ.

الحل

عرفنا من خلال دراستنا لقانون أمبير (٥-١١) أن المجال المغناطيسي علي بعد r من سلك يمر فيه تيار ..يكون مساويا لـ

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

ويتغير هذا المجال من نقطة إلى أخرى عبر السلك المستطيل حسب قيمة r ويكون اتجاهه إلى داخل صفحة الورقة وعموديا عليها.وباستعمال العلاقة (٥-٢٦) وبالتعويض عن قيمة B نحصل على التدفق المغناطيسي

$$\Phi = \int \vec{B}.d\vec{A} = \int \frac{\mu_0 I}{2\pi r} dA$$

حيث $d\vec{A}$ عبارة عن عنصر مساحة مقداره bdr ويوازى في اتجاهه المجال وبذلك يكون التدفق عبارة عن

$$\Phi = \int \frac{\mu_0 I}{2\pi r} bdr = \mu_0 Ib \int_c^{c+a} \frac{dr}{r}$$

$$\Phi = \frac{\mu_0 Ib}{2\pi r} \ln\left(\frac{a+c}{c}\right)$$

$$\Phi = \frac{\mu_0 Ib}{2\pi r} \ln\left(1 + \frac{a}{c}\right)$$

أسئلة تقويم ذاتي

١.اشرح التدفق المغناطيسي.

٢. وضح قانون غاوس للكهرباء الساكنة.

٣. وضح قانون غاوس للمغناطيسية.

الخلاصة

عزيزي الدارس ،،

نهنئك على إنهاء هذه الوحدة، وندعوك لمراجعة أهم النقاط التي وردت فيها

١. خواص المجال المغناطيسي ،
٢. القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيارا كهربيا ،
٣. عزم الدوران المؤثر في عروة تحمل تيارا كهربيا،
٤. حركة جسيم مشحون تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم،
٥. مصادر المجال المغناطيسي ،
٦. قانون بيوت – سافرت ،
٧. إيجاد المجال المغناطيس عند النقطةp الناجم عن سلك مستقيم رفيع يمر به تيار I،
٨. القوة المتبادلة بين موصلين متوازيين يمر فيهما تيار كهربي،
٩. المجال المغناطيسي الناشئ عن سلك حلقي –سلك لولبي – مع معرفة خطوط القوي ، ودارسة التدفق المغناطيسي .

عزيزي الدارس،،

نرجو في ختام هذه الوحدة أن تكون حققت الأهداف الواردة في بديتها، ونتمنى لـــك التوفيق دائماً.

لمحة مسبقة عن الوحدة الدراسية التالية

عزيزي الدارس،،

وبعد أن فرغت من دراسة هذه الوحدة العلمية و أصبح لديك الآن حصيلة كبيرة من المعلومات المفيدة فيما يتعلق بالمجال المغناطيسي ومصادره.

الآن سوف ننتقل إلي الوحدة القادمة وهي بعنوان قانون فإرادي سوف نقوم بمعرفة قانون فإرادي في الحث كما سنتناول القوة الدافعة الكهربية المستحثة حركيا، مع دارسة قانون لنز Lenz's Law و قانون لنز لحفظ لطاقة.

وأخير ننتقل بأذن الله إلي دارسة القوة الدافعة المستحثة والمجال الكهربائي و المولدات والمحركات.

نرجو أن تكون وحدة مفيدة لك وان تسهم معنا في نقدها وتقييمها.

إجابة التدريبات

تدريب (١)

١. تكون القوة الكهربية في اتجاه المجال الكهربي، إذا كانت الشحنة المتأثرة موجبة، أو في الاتجاه المعاكس إذا كانت الشحنة سالبة، في حين تكون القوة المغناطيسية متعامدة على اتجاه حركة

المجال المغناطيسي (q) ، تؤثر القوة الكهربية في الشحنة بغض النظر عن وضعها ، سواء كانت متحركة أم ثابتة، في حين لا تؤثر القوة المغناطيسية إلا على شحنة كهربية متحركة . و تبذل القوة الكهربية شغلا يعمل على نقل q من موقع إلى أخر

إلا أن القوة المغناطيسية $\overline{F}m$ ، الناجمة عن مجال مغناطيسي ثابت (لا يتغير مع الزمن)، لا تبذل شغلا أثناء حركة الشحنة. ويعود ذلك إلى أن القوة المغناطيسية تكون عمودية على اتجاه الحركة

٢.باستعمال المعادلة $\overline{F} = q\overline{\upsilon} \times \overline{B}$ ، نجد أن القوة

$$\overline{F} = q\upsilon_0 B_0(\hat{i} \times \hat{j}) = q\upsilon_0 B_0(\hat{k})$$

إي أن مقدار القوة (qv_0B_o) وتتخذ من $\hat{k}$ اتجاهاً لها، وفي حالة الإلكترون $\overline{F} = q\upsilon_0 B_0(-\hat{k})$ ، ويكون للقوة نفس المقدار ولكن اتجاها $(-\hat{k})$

٣. ارجع للمثال (١)

تدريب (٢)

القوة المؤثرة على كل وحدة طول من سلك

$$F = I\left|\overline{\ell} \times \overline{B}\right| = I\ell B\sin\theta$$

$$\frac{F}{\ell} = IB\sin\theta = 8A \times 3 \times 10^{-3}T \times \sin 45 = N/m$$

تدريب (٣)

١. ا لإجابة في المثال (٣)

$$\overline{F} = I\oint d\overline{\ell}\times\overline{B} \quad ، \quad \oint d\,\overline{\ell} = 0 \quad ، \quad \overline{F} = 0$$

نستنتج أن "القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مغلق يحمل تيارا كهربيا ثابتا موضوع في مجال مغناطيسي منتظم تكون دائما مساوية للصفر".

٢ . القوة = صفر

تدريب (4)

بتطبيق المعادلة التالية $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}\int d\theta = \frac{\mu_0 I}{2R}(\frac{\theta}{2\pi})$

نحصل على $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}(2\pi) = \frac{\mu_0 I}{2R}$

إذا كان لدينا N من اللفات فان $B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$

$$B = \frac{\mu_0 N \times 4 \times 10^{-3}}{2 \times 8 \times 10^{-2}} =$$

تدريب (٥)

كل سلكين متقابلين متوازيين اذن القوة(التجاذب) تعطي بالعلاقة

$$\frac{\overline{F}}{\ell} = \frac{\mu_0}{2\pi}\cdot\frac{I_1 I_2}{c}$$

بالمثل قوة التنافر تعطي بالعلاقة

$$\frac{\overline{F}}{\ell} = \frac{\mu_0}{2\pi}\cdot\frac{I_1 I_2}{(c+a)}$$

الفرق $\Delta\ \frac{\overline{F}}{\ell} = \frac{\mu_0}{2\pi}.I_1 I_2\,(\frac{1}{c} - \frac{1}{(c+a)})$

تكون في الاتجاه السالب

مسرد المصطلحات

عزيزي الدارس،

فيما يلي قائمة بمعاني المصطلحات الواردة في الوحدة باللغة الإنجليزية، كي نسهل عليك الرجوع إلى أي مراجع أجنبية، أو البحث عبر شبكة الإنترنت

تعريف وخواص المجال المغناطيسي Definition and Properties of the Magnetic Field	
خاصية اتجاهيه	vectorial characteristic
شحنة اختبار	test charge
تسلا	Tesla
القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيارا كهربيا Magnetic force acting on a current –carrying conductor	
عزم الدوران المؤثر في حلقة تحمل تيارا كهربيا	Torque on a current – Loop
مصادر المجال المغناطيسي	sources of a current-Loop
القوة المتبادلة بين موصلين متوازيين يمر فيهما تيار كهربائي Magnetic Force between Two Parallel Current-currying Conductors	
نفاذية الفراغ	permeability of free space
المصدر	Source
نقطة المراقبة	Observation point
قانون أمبير	Ampere's Law
المجال المغناطيسي لسلك لولبي	Magnetic Field of a solenoid
المجال المغناطيسي لملف حلقي	Magnetic Field of aToroid
التدفق المغناطيسي	Magnetic Flu
التدفق المغناطيسي لسطح مغلق	Magentic Flux for close surface

المراجع الأجنبية

1.D.C.Giancoli.3rd edition, Physics, principles with Application : prentice hall New York.1989 .

2. Fundamentals of physics'.D. Halliday and R.Resnick , 10th edition: Wiley, New York.1989

المراجع العربية

١. فرانسيس وستن سيرز راجعه الدكتور عبدا لله الرسول احمد درويش. الكهربية والمغناطيسية ترجم في قسم الفيزياء جامعة البصرة كلية التربية

٢.أ.د. محمد بن على احمد آل عيسي ، د. محمدين صالح العبد الله ، د. عبدالله راشد السماري. الفيزياء العامة في الكهرباء والمغناطيسية – الضوء – الفيزياء الحديثة . دار الخريجين للنشر والتوزيع (١٩٩٧) .