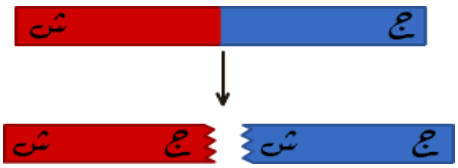
الفصل الخامس / المجال المغناطيسي

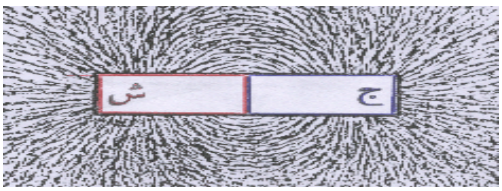
المجال المغناطيسي : المنطقة المحيطة بالمغناطيس والتي تظهر فيها آثار القوة المغناطيسية ، ويتبادل فيها التجاذب أو التنافر مع المغانط الأخرى .

خصائص المغناطيس :



١) له قطبان شمالي وجنوبي عند تعليقه تعليقاً حراً فإنه يتجه شمالاً وجنوباً .
٢) تتركز قوة الجذب المغناطيسي في قطبيه وتقل في المناطق الأخرى .
٣) الأقطاب المختلفة في النوع تتجاذب والمتشابهة في النوع تتنافر .
٤) إذا قطع المغناطيس من أي منطقة فيه فإنه يتكون له قطبان ولا يمكن أن يكون له قطب منفرد عملياً .

خطوط المجال المغناطيسي :



يمكن تخطيط المجال المغناطيسي عملياً باستخدام برادة حديد . بحيث ترش فوق قطعة ورقية خفيفة موضوعة فوق مغناطيس أو أكثر حيث تترتب جزيئات برادة الحديد في خطوط مستقيمة وأخرى منحنية متكاثفة حول الأقطاب ومتباعدة بعيداً عنهما تسمى بخطوط المجال أو القوى المغناطيسية .

سؤال : ما المقصود بخط المجال المغناطيسي ؟
جواب : خط وهمي يمثل المسار الذي يسلكه قطب شمالي مفرد (مفترض) عند وضعه حراً في أي نقطة داخل المجال المغناطيسي .

خصائص خطوط المجال المغناطيسي :

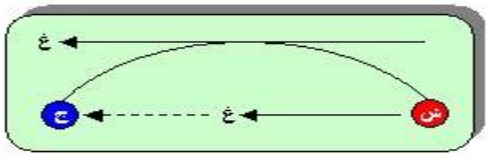
١) خطوط وهمية . تبدو خارجة من القطب الشمالي وداخلة في القطب الجنوبي خارج المغناطيس ومن القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي داخله .

٢) تتكاثف وتتزاحم خطوط المجال المغناطيسي عند الأقطاب وتقل في بقية المناطق . وذلك لأن القوة المغناطيسية تكون أكبر ما يمكن عندهما وتقل في بقية المناطق حيث تتناسب (ق مغناطيسية) طردياً مع عدد خطوط المجال التي تقطع مساحة السطح عمودياً .

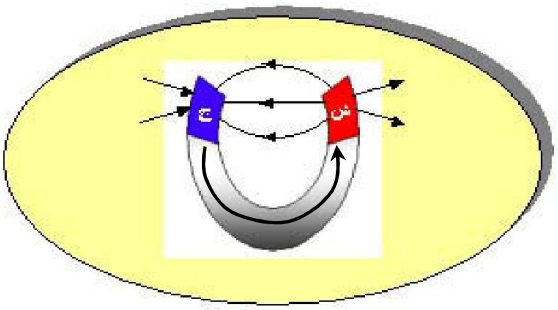
٣) خطوط مغلقة (مقفلة) . وذلك لأنه لا يمكن أن يوجد قطب منفرد عملياً حيث يتواجد القطبان معاً وبالتالي فإن خروج خط المجال المغناطيسي من القطب الشمالي سوف ينتهي داخلاً إلى القطب الجنوبي خارج المغناطيس وفي داخله من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي . على عكس المجال الكهربائي الذي يمكن أن توجد فيه الشحنة الكهربائية منفردة وبالتالي يكون خطاً مفتوحاً ينتهي نظرياً في المالانهاية .

٤) لا تتقاطع أبداً ، وذلك لأنها لو تقاطعت لأصبح للمجال المغناطيسي اكثر من اتجاه عند نقطة التقاطع وهذا يعني أن للمغناطيس أكثر من مجال عند النقطة الواحدة وهذا مرفوض .

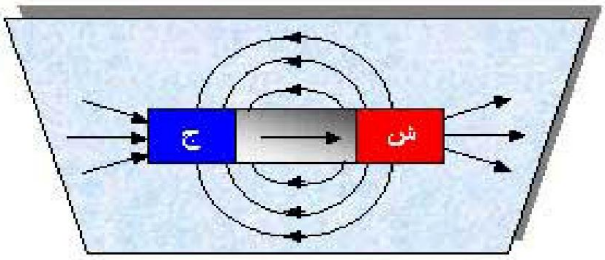
٥) إذا كان خط المجال المغناطيسي منحنياً فإن المماس عند أي نقطة فيه يمثل اتجاه المجال المغناطيسي .



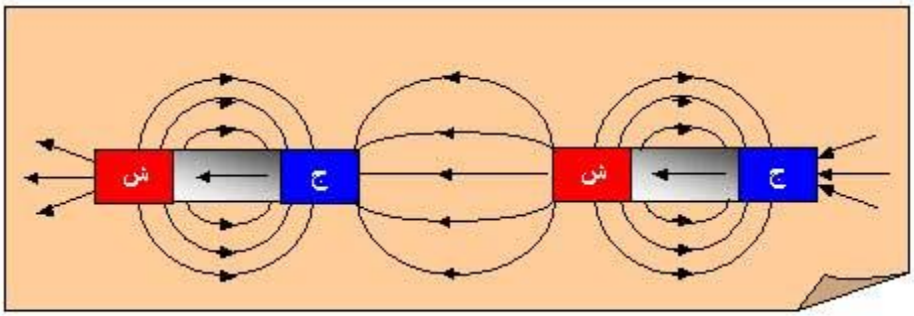
اشكال توضيحية تمثل خطوط المجال المغناطيسي :



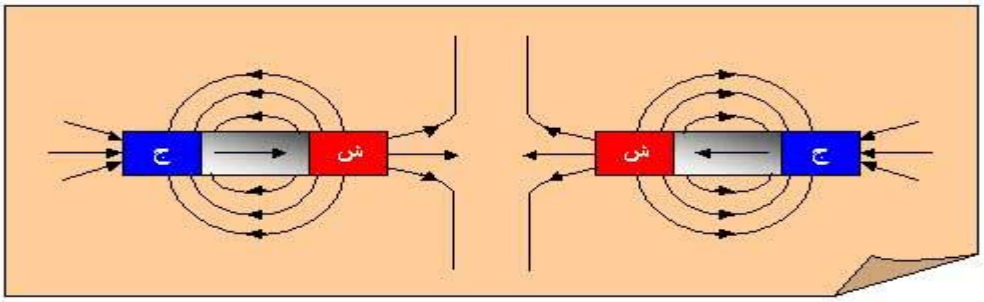
خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس على شكل حذوة فرس



((خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس مستقيم))



خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيسين مستقيمين متقابلين قطباهما المختلفان متقابلان



خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيسين مستقيمين متقابلين قطباهما المتشابهان متقابلان

سؤال : ما الفرق بين خطوط المجال المغناطيسي وخطوط المجال الكهربائي ؟
جواب : خطوط المجال المغناطيسي مقفلة وخطوط المجال الكهربائي غير مقفلة .

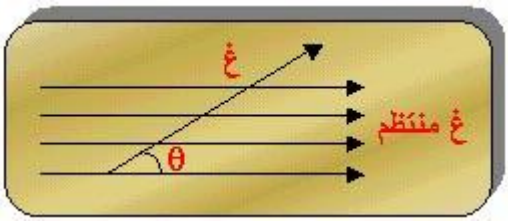
سؤال (علل) : خطوط المجال المغناطيسي مقفلة وخطوط المجال الكهربائي غير مقفلة ؟
جواب : وذلك لاستحالة وجود قطب مغناطيسي مفرد ، بخلاف الشحنات الكهربائية التي يمكن أن تتواجد منفردة .

سؤال (علل) : يستخدم المجال المغناطيسي في المسارعات النووية ؟
جواب : لتوجيه الجسيمات المشحونة .

سؤال : ما المقصود بالمجال المغناطيسي المنتظم ؟
جواب : هو المجال المغناطيسي الثابت في المقدار والاتجاه عند جميع نقاطه .

القوة المغناطيسية المؤثرة على جسم مشحون يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم

لو أن شحنة قدرها (ـر) تحركت بسرعة (ع) داخل مجال مغناطيسي (غ) وبزاوية (θ) مع المجال ، فإنها ستتأثر بقوة مغناطيسية (ق) حيث :



$$ق_{غ} = ـر \overleftarrow{ع} \times \overleftarrow{غ} \text{ جا} θ$$

يعرف المجال المغناطيسي في نقطة بأنه : مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الشحنات الموجبة لحظة مرورها بتلك النقطة بسرعة (١) م/ث عمودياً على اتجاه المجال المغناطيسي عند تلك النقطة .

يقاس المجال المغناطيسي بوحدة :

نيوتن.ث/كولوم.م = نيوتن / أمبير.م = تسلا

التسلا : المجال المغناطيسي الذي يؤثر بقوة مقدارها (١) نيوتن في شحنة مقدارها (١) كولوم تتحرك بسرعه (١) م/ث باتجاه يتعامد مع اتجاه المجال المغناطيسي .

- يستخدم أيضاً لقياس المجال المغناطيسي وحدة **غاوس** حيث (١ غاوس = ١٠$^{-٤}$ تسلا) .

لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية نستخدم قاعدة كف اليد اليمنى بوضع الإبهام مع اتجاه الحركة (ع) وبقية الأصابع مع اتجاه المجال المغناطيسي (غ) فيكون العمودي على راحة (بطن) اليد إلى الخارج هو اتجاه القوة المغناطيسية (ق$_{غ}$) .

ملاحظات :

١) إذا كانت الشحنة سالبة نقوم بعكس اتجاه القوة بعد إيجاده أو استخدم كف اليد اليسرى .
٢) إذا كان الاتجاه عمودي على الصفحة للخارج يرمز له بالرمز ⊙ أو زيني موجب (ز+).
٣) إذا كان الاتجاه عمودي على الصفحة للداخل يرمز له بالرمز ⊗ أو زيني سالب (ز-).

ملاحظات :

١) لا يؤثر المجال المغناطيسي على جسيم بقوة مغناطيسية إذا كان :
أ) غير مشحون (مثل النيوترون ، أشعة غاما ، .....)
ب) ساكن (ع = صفر) . جـ) تحرك باتجاه يوازي المجال المغناطيسي (θ = ٠ ، θ = ١٨٠°) .
٢) تكون القوة أكبر ما يمكن على الشحنة إذا كانت حركة الشحنة عمودية على المجال (θ = ٩٠°) .
٣) البروتون موجب والالكترون سالب .

سؤال : ما هي العوامل التي تعتمد عليها القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي .

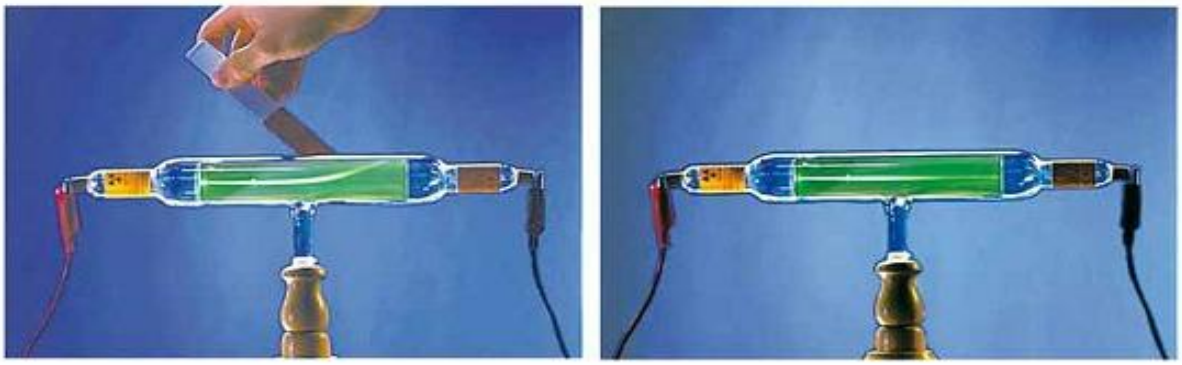
جواب :

١) مقدار الشحنة الكهربائية . (طردية)
٢) سرعة الشحنة . (طردية)
٣) مقدار المجال المغناطيسي . (طردية)
٤) الزاوية المحصورة بين اتجاه الحركة (ع) واتجاه المجال المغناطيسي (غ) . (طردية)

سؤال : ماذا نعني بقولنا أن المجال المغناطيسي (٥) تسلا ؟

جواب : أي أن المجال المغناطيسي يؤثر بقوة مقدارها (٥) نيوتن في شحنة مقدارها (١) كولوم تتحرك بسرعه (١) م/ث باتجاه يتعامد مع اتجاه المجال المغناطيسي .

* يوضح الشكل انحراف الإلكترونات عن مسارها في انبوب أشعة المهبط عند تعرضها لمجال مغناطيسي مما يدل على انها تعرضت لقوة مغناطيسية أدت إلى انحرافها .



مثال (١) : بروتون شحنته ($١,٦ \times ١٠^{-١٩}$) كولوم يتحرك باتجاه محور السينات الموجب ، بسرعة قدرها (١٠) م/ث دخل مجالاً مغناطيسياً منتظماً قدره (٠,٢) تسلا باتجاه محور الصادات الموجب جد مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون .

الحل :

ق$_{غ}$ = ـــ$_{ر}$ ع غ جاθ

= $١,٦ \times ١٠^{-١٩} \times ١٠ \times ٠,٢ \times$ جا٩٠

= $٣,٢ \times ١٠^{-١٩}$ نيوتن

⊙ ، عمودي على الصفحة للخارج

مثال (٢) : شحنة كهربائية قدرها ($-١,٢ \times ١٠^{-٨}$) كولوم تتحرك بسرعة قدرها (٥×١٠^{٢}) م/ث باتجاه محور الصادات الموجب ، فإذا دخلت الشحنة منطقة مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٨) تسلا باتجاه عمودي على الصفحة للداخل ، جد مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنة .

الحل :

ق$_{غ}$ = ـــ$_{ر}$ ع غ جاθ

= $١,٢ \times ١٠^{-٨} \times ٥ \times ١٠^{٢} \times ٠,٨ \times$ جا٩٠

= $٤,٨ \times ١٠^{-٦}$ نيوتن ، نحو س+

مثال (٣) : بروتون شحنته (١,٦×١٠^-١٩) كولوم يتحرك باتجاه محور السينات الموجب ، بسرعة قدرها (٢×١٠^٧) م/ث ، وتأثر بقوة مغناطيسية مقدارها (١٦×١٠^-١٢) نيوتن باتجاه محور الصادات الموجب جد مقدار واتجاه المجال المغناطيسي .

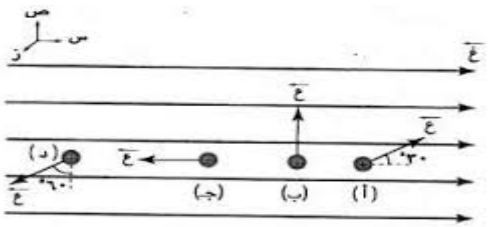
الحل :

$$غ = \frac{ق_غ}{ش ع جا\theta} = \frac{١٦ \times ١٠^{-١٢}}{١,٦ \times ١٠^{-١٩} \times ٢ \times ١٠^{٧}}$$

غ = ٥ تسلا ، عمودي على الصفحة للداخل ⊗

مثال (٤) : جسيم شحنته (٨,٤) ميكروكولوم يتحرك بسرعة (١٠٠) م/ث في مجال مغناطيسي منتظم (٠,٣) تسلا باتجاه محور السينات الموجب . احسب مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة في الحالات (أ،ب،جـ،د) .

الحل :



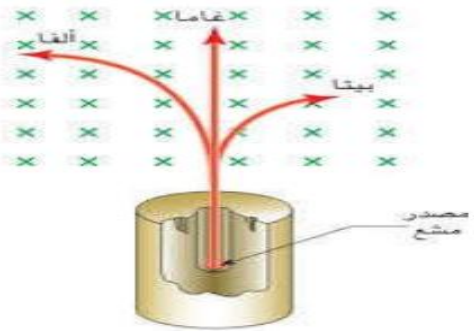
ق_أ = ش ع غ جاθ
= ٨,٤×١٠^-٦ × ١٠٠ × ٠,٣ × جا٣٠
= ١٢٦×١٠^-٦ نيوتن ، نحو ⊗

ق_ب = ش ع غ جاθ
= ٨,٤×١٠^-٦ × ١٠٠ × ٠,٣ × جا٩٠
= ٢٥٢×١٠^-٦ نيوتن ، نحو ⊗

ق_جـ = ش ع غ جا١٨٠ = صفر

ق_د = ش ع غ جاθ
= ٨,٤×١٠^-٦ × ١٠٠ × ٠,٣ × جا١٥٠
= ١٢٦×١٠^-٦ نيوتن نحو الخارج

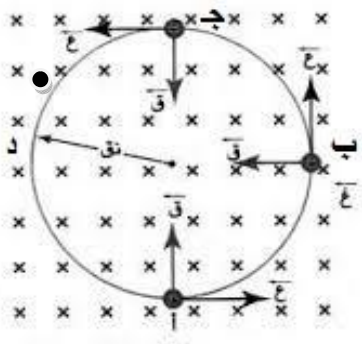
مثال (٥) : يمثل الشكل المجاور الاتجاه الذي تسلكه الجسيمات النووية (الفا ، بيتا ، غاما) في مجال مغناطيسي منتظم ، حدد شحنة كل منها ، مع التعليل .



الحل :

ألفا موجبة الشحنة لأنها انحرفت مع كف اليد اليمنى
بيتا سالبة الشحنة لأنها انحرفت مع كف اليد اليسرى
غاما غير مشحونة لأنها لم تنحرف عن مسارها

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم



عندما يؤثر مجال مغناطيسي منتظم اتجاهه بعيداً عن الناظر في شحنة تتحرك بسرعة (ع) نحو اليمين فإنه :

١) عند النقطة (أ) يكون اتجاه القوة المغناطيسية نحو (ص+) فتنحرف الشحنة للأعلى .

٢) عند النقطة (ب) تصبح القوة نحو (س-) فتنحرف الشحنة نحو اليسار .

٣) عند النقطة (جـ) تصبح القوة نحو (ص-) فتنحرف الشحنة نحو الأسفل .

٤) عند النقطة (د) تصبح القوة نحو (س+) فتنحرف الشحنة نحو اليمين .

مما يؤدي إلى تحرك الشحنة في مسار دائري (أ ب جـ د أ) مما سبق نلاحظ أن :

١) اتجاه القوة المغناطيسية نحو المركز دائماً لذلك تسمى قوة مركزية .

٢) يبقى مقدارالقوة المغناطيسية ثابت لا يتغير .

٣) تكون القوة المغناطيسية متعامدة مع اتجاه المسار لذلك تبقى سرعة الشحنة ثابتة ولا تبذل شغلاً على الشحنة .

* حركة الجسيم في مسار دائري لا تتم إلا بتأثير قوة مركزية وهي هنا القوة المغناطيسية حيث :

$$ق_{\text{المركزية}} = ق_{\text{المغناطيسية}}$$

$$\frac{ك\ ع^{٢}}{نق} = ــ_{ش}\ ع\ غ\ جا٩٠$$

سؤال (علل) : لا تبذل القوة المغناطيسية شغلاً ؟

جواب : لأن القوة تؤثر دائماً باتجاه عمودي على حركة الشحنة ($\theta = ٩٠$) .

حيث : ش = ق ف جتاθ أي ش = ق ف جتا٩٠ = صفر وبما أن Δطـ = ش فإن Δطـ= صفر .

سؤال (علل) : مسار الشحنة الكهربائية المتحركة في مجال مغناطيسي بسرعة ثابتة يأخذ شكلاً دائرياً ؟

جواب : لأن الشحنة تتعرض لقوة مغناطيسية مركزية ثابتة المقدار عمودية على اتجاه الحركة فتكتسب الشحنة تسارعاً مركزياً ثابت في المقدار وعمودي دائماً على السرعة مما يؤدي إلى تغيير مستمر في اتجاه السرعة دون تغيير في مقدارها مما يعني أن الشحنة ستسلك مساراً دائرياً .

سؤال : قارن بين القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية المؤثرة في جسيم مشحون .

	القوة الكهربائية	القوة المغناطيسية
١	ق = مـ ـــ$_{ك}$	ق = ـــ$_{ك}$ ع غ جاθ
٢	تؤثر باتجاه يوازي خطوط المجال الكهربائي	تؤثر باتجاه عمودي على خطوط المجال المغناطيسي
٣	يمكنها أن تحرك الشحنات الساكنة	لا يمكنها أن تحرك الشحنات الساكنة
٤	يمكنها أن تغير من مقدار سرعة الجسيم المشحون وبالتالي تغير من الطاقة الحركية	لا يمكنها أن تغير من مقدار سرعة الجسيم المشحون وبالتالي لا تغير من الطاقة الحركية
٥	تبذل شغلاً	لا تبذل شغلاً

سؤال : اشتق العلاقة التي تعطي نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه جسيم مشحون يتأثر بقوة مغناطيسية .

جواب :

تذكر : التسارع المركزي
$ت_{مركزي} = \frac{ع^{٢}}{نق}$

$ق_{المغناطيسية} = ق_{المركزية}$

$ـــ_{ك}$ ع غ جاθ $= \frac{ك\ ع^{٢}}{نق}$ ⟵ $نق = \frac{ك\ ع}{ـــ_{ك}\ غ\ جاθ}$

وبما أن الحركة عمودية على المجال المغناطيسي فإن

$$نق = \frac{ك\ ع}{ـــ_{ك}\ غ}$$

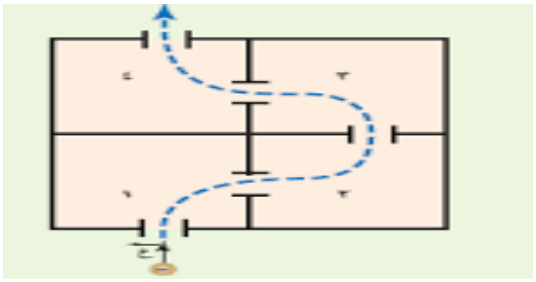
سؤال : ما العوامل التي يعتمد عليها نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه الجسيم بعد دخوله المجال المغناطيسي .

جواب : ١) كتلة الجسيم . (طردية) ٢) سرعة الجسيم . (طردية)
٣) شحنة الجسيم . (عكسية) ٤) شدة المجال المغناطيسي . (عكسية)

سؤال : ما العوامل التي يعتمد عليها اتجاه دوران جسيم مشحون مقذوف عمودياً في مجال مغناطيسي منتظم .

جواب : ١) نوع الشحنة . ٢) اتجاه حركة الشحنة . ٣) اتجاه المجال المغناطيسي .

مثال (١) : يبين الشكل منظر علوي لأربع غرف ، إذا اطلقت شحنة سالبة إلى الغرفة الأولى ، ثم وضع مجال مغناطيسي منتظم في كل غرفة بحيث وصلت الشحنة إلى الغرفة الرابعة ، جد :



١) اتجاه المجال المغناطيسي في كل غرفة .
٢) هل تختلف سرعة الشحنة عند وصولها الغرفة الرابعة عن سرعتها عند الدخول إلى الغرفة الأولى ؟ فسر اجابتك .

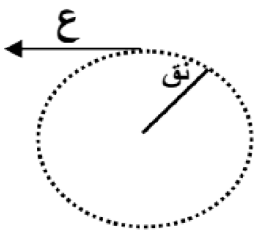
الحل :

١) غرفة ١ المجال نحو ⊗ ، غرفة ٢ المجال نحو ⊙

غرفة ٣ المجال نحو ⊙ ، غرفة ٤ المجال نحو ⊗

٢) لا ، لأن الشحنة تتعرض لقوة مغناطيسية مركزية ثابتة المقدار عمودية على اتجاه الحركة فتكتسب الشحنة تسارعاً مركزياً ثابت في المقدار وعمودي على السرعة مما يؤدي إلى تغير مستمر في اتجاه السرعة دون تغيير في مقدارها .

مثال (٢) : يمثل الشكل مسار دقيقة مادية كتلتها (٨×١٠^{-٢٨}) كغ ، وشحنتها (٢×١٠^{-١٨}) كولوم ، دخلت مجالاً مغناطيسياً منتظماً بسرعة مقدارها (٣×١٠^{٦}) م/ث ، بشكل عمودي على المجال ، احسب مقدار واتجاه المجال المغناطيسي . (علماً أن نق=٢٠ سم)



الحل :

$$نق = \frac{ك\ ع}{غ\ ف}$$

$$غ = \frac{ك\ ع}{نق\ ف} = \frac{٨ \times ١٠^{-٢٨} \times ٣ \times ١٠^{٦}}{٢ \times ١٠^{-١٨} \times ٢٠ \times ١٠^{-٢}} = ٦ \times ١٠^{-٣}$$ تسلا ، ⊗

مثال (٣) : دخلت ثلاث جسيمات متماثلة الشحنة والكتلة وتتحرك بسرعات متفاوتة إلى مجال مغناطيسي كما في الشكل رتب سرعتها تصاعدياً ، ثم بين نوع شحنة كل منها .

الحل :

نصف القطر يتناسب طردياً مع سرعة الجسيم فتكون

ع٢ ، ع٣ ، ع١

شحنة (١) سالبة ، شحنة (٢) موجبة ، شحنة (٣) سالبة

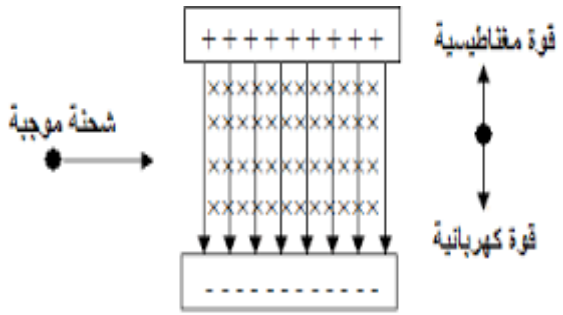
مثال (٤) : دخل جسيم مشحون كتلته (٢×١٠^{-١٠}) كغ وشحنته (٤) ميكروكولوم ، مجالاً مغناطيسياً منتظماً مقداره (٠,٢) تسلا بسرعة مقدارها ($١٠^{٣}$) م/ث ، باتجاه عمودي على المجال المغناطيسي احسب :

١) مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في الجسيم .
٢) التسارع المركزي الذي اكتسبه الجسيم .
٣) نصف قطر مسار الجسيم .
٤) مقدار السرعة بعد مرور (٣) ثواني داخل المجال .

الحل :

قوة لورنتز

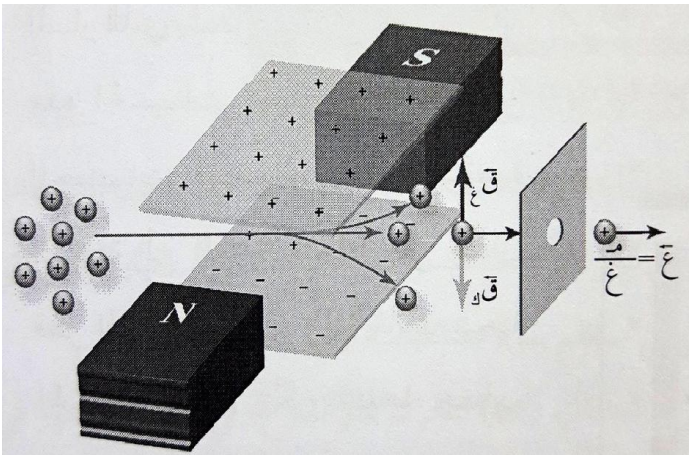
* عند حركة شحنة في مجالين متعامدين كهربائي ومغناطيسي فإنها ستتأثر بقوتين معاً أحداهما كهربائية والأخرى مغناطيسية ، وتسمى القوة المحصلة للقوتين الكهربائية والمغناطيسية بقوة لورنتز حيث :



ق المحصلة = ق الكهربائية + ق المغناطيسية

$$ق_{المحصلة} = م_ \times ـــ_{ر} + ـــ_{ر} ع غ جا \theta$$

* تستخدم قوة لورنتز في الأجهزة البحثية مثل جهاز منتقي السرعة وجهاز مطياف الكتلة :



أولاً : جهاز منتقي السرعة :

هو جهاز يستخدم للحصول على حزمة من الجسيمات المشحونة المتحركة بسرعة ثابتة وفي خط مستقيم عند دخول هذه الجسيمات مجالين متعامدين (كهربائي ومغناطيسي) بحيث تكون قوة لورنتز على هذه الجسيمات صفراً وعليه تكون :

$$ق_{ك} = ق_{غ}$$

$$م_ \times ـــ_{ر} = ـــ_{ر} ع غ جا \theta$$

$$ع = \frac{م_}{غ}$$

* من العلاقة السابقة نلاحظ :

١) أن الجسيمات التي تكون سرعتها تساوي النسبة ($\frac{م_}{غ}$) تكمل حركتها دون أن تنحرف .

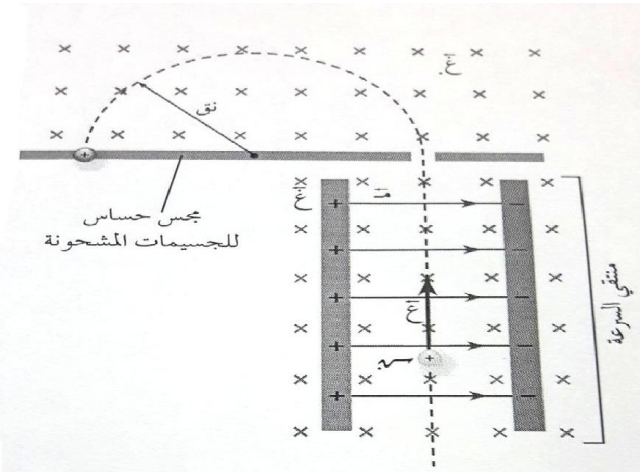
٢) أن الجسيمات التي تكون سرعتها أكبر أو أصغر من النسبة ($\frac{م_}{غ}$) تنحرف عن مسارها .

ثانياً : مطياف الكتلة :

هو جهاز يستخدم :

١) فصل الآيونات المشحونة عن بعضها بحسب نسبة شحنة كل منها إلى كتلتها .

٢) دراسة بعض مكونات المركبات الكيميائية .

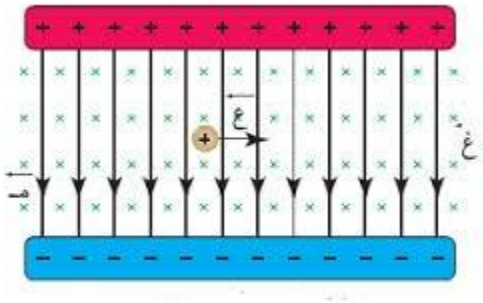


مبدأ عمله :

يستخدم فيه جهازاً منتقياً للسرعة في البداية لانتقاء الجسيمات المشحونة التي لها السرعة نفسها ، وبعد خروجها من منطقة المجال الكهربائي (مـ) والمجال المغناطيسي (غ) تدخل منطقة أخرى فيها مجال مغناطيسي فقط آخر (غ.) ، يجبر الجسيمات المشحونة على الحركة في مسار دائري يتناسب نصف قطره طردياً مع كتلة هذه الجسيمات .

وفي نهاية المسار الذي يشكل نصف دائرة ، تصطدم هذه الجسيمات بمجس خاص حساس للجسيمات المشحونة ، حيث تحدد نسبة الشحنة إلى الكتلة اعتماداً على نصف قطر المسار الدائري ، وإذا كانت شحنة الجسيم معلومة يمكن عندها حساب كتلته .

مثال (١) : اعتماداً على الشكل المجاور جد :



١) اتجاه القوى المؤثره في الشحنة . ٢) كيفية حساب القوة المحصلة .
٣) كيف سيكون مسار الشحنة لو كانت القوتان متساويتان في المقدار .
٤) جد السرعة التي تتحرك بها الشحنة لو كانت القوتان متساويتان .

الحل :

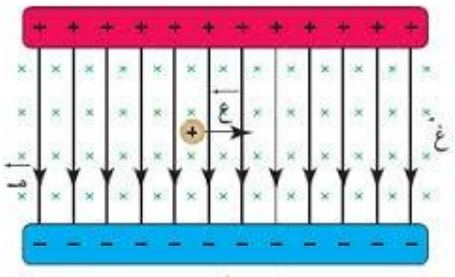
١) قك نحو ص- ، قغ نحو ص+

٢) قالمحصلة = قك+ قغ = مـ × ـــ٧ + ـــ٧ ع غ جاθ

٣) ستبقى الشحنة بنفس المسار نحو س+ .

٤) قك = قغ ⟸ مـ × ـــ٧ = ـــ٧ ع غ جاθ ⟸ ع = مـ / غ

مثال (٢) : اعتماداً على الشكل وإذا علمت أن مقدار الشحنة تساوي (٢) ميكروكولوم والسرعة تساوي (٤٠٠) م/ث والمجال الكهربائي يساوي (١٠٠) نيوتن/كولوم والمجال المغناطيسي ، يساوي (٠,١) تسلا جد :
١) مقدار القوة الكهربائية واتجاهها . ٢) مقدار القوة المغناطيسية واتجاهها .
٣) القوة المحصله (قوة لورنتز) .

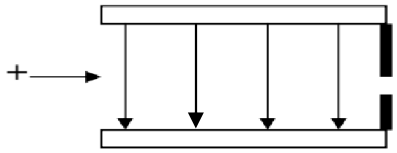


الحل :

١) قك = مـ × ـــ٧ = ١٠٠ ×٢×١٠^-٦ = ٢×١٠^-٤ نيوتن ، نحو ص-

٢) قغ = ـــ٧ ع غ جاθ = ٢×١٠^-٦ ×٤٠٠ ×٠,١ × جا٩٠ = ٠,٨×١٠^-٤ نيوتن نحو ص+

٣) قح = قك - قغ = ٢×١٠^-٤ - ٠,٨×١٠^-٤ = ١,٢×١٠^-٤ نيوتن ، نحو ص-

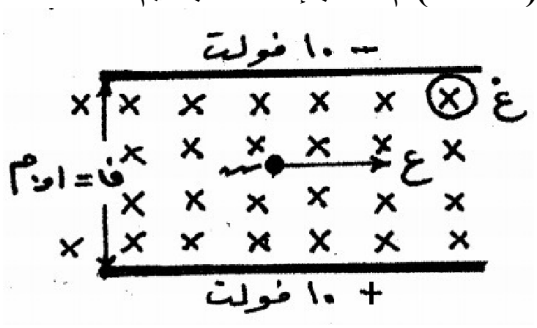


مثال (٣) : يوضح الرسم بداية دخول آيون بسرعة (٢×١٠^{٥}) م/ث عمودياً على مجال كهربائي قدره (٤×١٠^{٣}) فولت/م ، احسب شدة المجال المغناطيسي لكي يخرج الآيون بنفس سرعته .

الحل :

$$ع = \frac{مـ}{غ} \quad \text{ومنها} \quad غ = \frac{مـ}{ع} = \frac{٤ \times ١٠^{٣}}{٢ \times ١٠^{٥}} = ٢ \times ١٠^{-٢} \text{ تسلا}$$

مثال (٤) : صفيحتان مشحونتان ومغمورتان في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٢) تسلا ، تحرك جسيم مهمل الكتلة مشحون بشحنة موجبة مقدارها (٢×١٠^{-٦}) كولوم ، بسرعة (١×١٠^{٤}) م/ث . بالإستعانة بالقيم والاتجاهات المثبتة على الشكل احسب :



١) القوة المغناطيسية المؤثرة في الجسيم مقداراً واتجاهاً .
٢) القوة الكهربائية المؤثرة في الجسيم مقداراً واتجاهاً .
٣) القوة المحصلة المؤثرة في الجسيم أثناء حركته ، وماذا تسمى هذه القوة ؟

الحل :

١) $ق_{غ} = ـــ_{ر} ع غ جا\theta = ٢ \times ١٠^{-٦} \times ١٠^{٤} \times ٠,٢ \times$ جا٩٠ $= ٠,٤ \times ١٠^{-٢}$ نيوتن نحو ص+

$$مـ = \frac{جـ}{ف} = \frac{١٠ - - ١٠}{٠,١} = ٢٠٠ \text{ C|N}$$

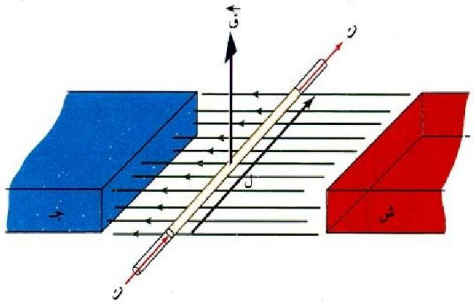
٢) $ق_{ك} = مـ \times ـــ_{ر} = ٢٠٠ \times ٢ \times ١٠^{-٦} = ٠,٠٤ \times ١٠^{-٢}$ نيوتن ، نحو ص+

٣) $ق_{ح} = ق_{غ} + ق_{ك} = ٠,٤ \times ١٠^{-٢} + ٠,٠٤ \times ١٠^{-٢} = ٠,٤٤ \times ١٠^{-٢}$ نيوتن ، نحو ص+

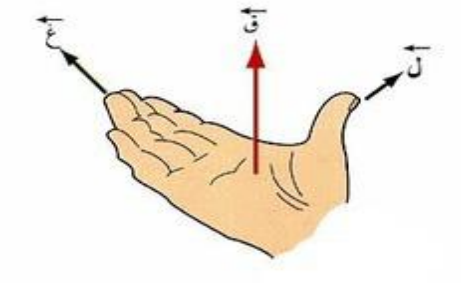
تسمى قوة لورنتز

القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيّار

إذا سرى تيار كهربائي (ت) في موصل طوله (ل) موضوع في مجال مغناطيسي منتظم (غ) وبزاوية (θ) مع المجال فإن السلك سيتأثر بقوة مغناطيسية (ق) حيث :



$$ق_{غ} = ت \, ل \, غ \, جا\theta$$



لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية نستخدم قاعدة كف اليد اليمنى بوضع الإبهام مع اتجاه طول الموصل (ل) وبقية الأصابع مع اتجاه المجال المغناطيسي (غ) فيكون العمودي على راحة (بطن) اليد إلى الخارج هو اتجاه القوة المغناطيسية (ق$_{غ}$) .

سؤال : ما العوامل التي تعتمد عليها القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيار .

جواب :

١) شدة التيار الكهربائي . طردية
٢) شدة المجال المغناطيسي . طردية
٣) طول السلك . طردية
٤) الزاوية المحصورة بين اتجاه السلك (ت) والمجال (غ) . طردية

سؤال : اذكر تطبيقات عملية على القوة المغناطيسية المؤثرة في موصل يحمل تيار .

جواب : ١) مكبرات الصوت .
٢) الغلفانومتيتر : المستخدم للكشف عن التيارات الصغيرة .
٣) المحرك الكهربائي : المستخدم في المراوح والسيارات الهجينة .

سؤال : فسر منشأ القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيار ؟

جواب : من المعلوم أن التيار هو شحنات كهربائية متحركة وبما أن المجال المغناطيسي يؤثر بقوة في أي شحنة متحركة فيه فإن المجال المغناطيسي سيؤثر في السلك بقوة تساوي محصلة القوى المؤثرة في هذه الشحنات .

مثال (١) : سلك مستقيم طوله (٢) م يحمل تيار مقداره (٥) أمبير باتجاه محور السينات السالب مغمور في مجال مغناطيسي منتظم شدته (٣×١٠^{-٥}) تسلا باتجاه محور الصادات السالب جد مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك .

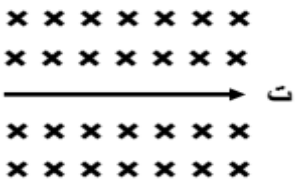
الحل :

ق$_{غ}$ = ت ل غ جاθ

= ٥ × ٢ × ٣×١٠^{-٥} × جا٩٠ = ٣٠×١٠^{-٥} نيوتن ، ⊙

مثال (٢) : سلك مستقيم طوله (٣) م يحمل تيارا كهربائيا مقداره (٥) أمبير مغمور كلياً في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٤) تسلا كما في الشكل، احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك مقداراً واتجاهاً .

الحل :

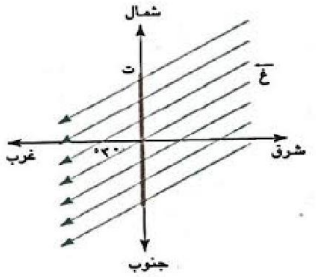


ق$_{غ}$ = ت ل غ جاθ

= ٥ × ٣ × ٠,٤ × جا٩٠ = ٦ نيوتن ، ص+

مثال (٣) : سلك طوله (٢٠) سم يسري به تيار كهربائي قدره (٤) أمبير باتجاه الشمال ، أثر فيه مجال مغناطيسي قدره (٦) تسلا باتجاه جنوب الغرب (٣٠°) كما في الشكل جد مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك .

الحل :



ق$_{غ}$ = ت ل غ جاθ

= ٤ × ٠,٢ × ٦ × جا١٢٠ = ٤,١٧٦ نيوتن ، ⊙

مثال (٤) : وضع سلك يمر به تيار شدته (١٠) أمبير فى مجال مغناطيسى بزاوية قدرها (٤٥°) مع اتجاه المجال المغناطيسي فتأثر بقوة قدرها (٤٩) نيوتن فإذا كان طول السلك (١٤) سم ، احسب المجال المغناطيسي .

الحل :

المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي

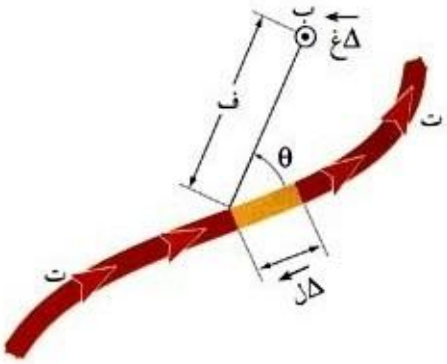
قام العالم اورستد بدراسة المجالات المغناطيسية الناشئة من التيار الكهربائي حيث وضع سلكاً مستقيماً يمر فيه تيار كهربائي ثابت فوق إبرة مغناطيسية (بوصلة) فوجد عملياً أن الإبرة تنحرف عن موضعها الطبيعي ، وعند انقطاع التيار فإن الإبرة تعود إلى وضعها الطبيعي مما يدل على أن التيار الكهربائي قد ولد حول السلك مجالاً مغناطيسياً .

الشحنة الساكنة تولد مجالاً كهربائياً فقط والشحنة المتحركة تولد مجالاً كهربائياً وأخر مغناطيسياً بسبب حركتها .

قانون بيو- سافار

تمكن العالمان بيو وسافار من التوصل إلى علاقة رياضية ، في ضوء تجارب عملية ، تُعطي مقدار المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي ثابت في موصل ، عند نقطة تبعد عن الموصل مسافة (ف) ، وقد وجد بيو وسافار أن قدراً من المجال المغناطيسي (Δغ) في النقطة ، الناشئ عن عنصر طوله (Δل) ، من موصل يمر فيه تيار كهربائي ثابت (ت) يحسب من المعادلة الآتية :

$$\Delta غ = \frac{\mu.}{\pi ٤} \; ت \; \Delta ل \; \frac{جا\theta}{ف^{٢}}$$



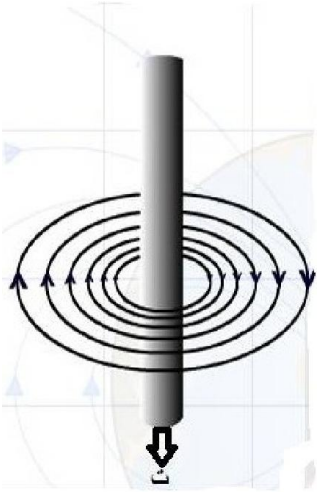
$\Delta \overleftarrow{غ}$: شدة المجال المغناطيسي بوحدة تسلا .
ت : التيار بوحدة أمبير .
$\Delta \overleftarrow{ل}$: طول الجزء المتناهي في الصغر (والمأخوذ من السلك) بوحدة متر .
$\overleftarrow{ف}$: المسافة بين جزء السلك والنقطة المفروضة والمراد حساب المجال عندها .
θ : الزاوية بين اتجاه (Δل) واتجاه الخط المستقيم ف .
μ. : ثابت النفاذية المغناطيسية للفراغ = $\pi ٤ \times ١٠^{-٧}$ ويبر/أمبير.م
$\frac{\mu.}{\pi ٤}$: ثابت التناسب ويساوي ١×١٠^{-٧} بالتحديد .

* تبين المعادلة السابقة ما يلي :

١) يتناسب المجال المغناطيسي ($\Delta \overleftarrow{غ}$) المتولد عند النقطة طردياً مع التيار الكهربائي (ت) و مع (جاθ) .
٢) يتناسب المجال المغناطيسي ($\Delta \overleftarrow{غ}$) المتولد عكسياً مع مربع الإزاحة ($\Delta \overleftarrow{ف}$) أو بعد النقطة عن جزء السلك .
٣) اتجاه المجال المغناطيسي ($\Delta \overleftarrow{غ}$) الناشيء عن التيار (ت) يكون عمودياً على ($\Delta \overleftarrow{ل}$) وعلى اتجاه خط البعد بين النقطة (ب) وجزء السلك ($\Delta \overleftarrow{ف}$) .
٤) يتناسب المجال المغناطيسي طردياً مع نوع مادة الوسط الموجود فيه الموصل .

المجال المغناطيسي الناشيء عن تيار في موصل مستقيم طويل

* تكون خطوط المجال المغناطيسي عبارة عن دوائر متحدة المركز ويقع مركزها عند نقطة على محور الموصل ويكون مستواها عمودياً على الموصل .
* يعطى المجال المغناطيسي الناشيء عن مرور تيار في سلك لا نهائي الطول بالعلاقة :



$$غ = \frac{\mu_{.} \, ت}{2\pi ف}$$

وبما أن $\mu_{.} = 4\pi \times ١٠^{-٧}$ ويبر/أمبير.م

تصبح العلاقة :

$$غ = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت}{ف}$$

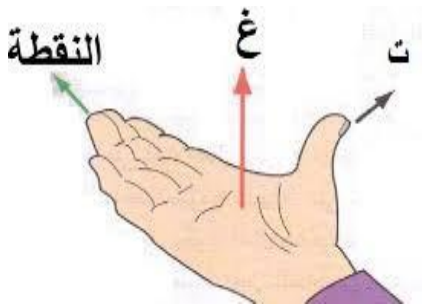
* يعتمد المجال المغناطيسي في نقطة حول سلك مستقيم على :

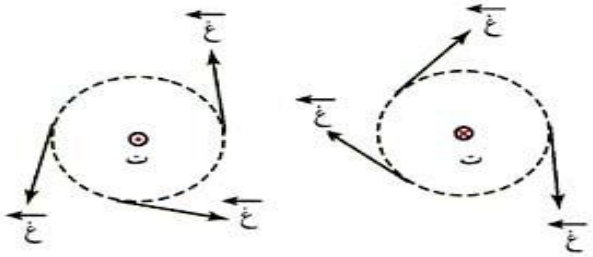
١) مقدار التيار الكهربائي . (طردي) ٢) النفاذية المغناطيسية للوسط المحيط بالسلك . (طردي)

٣) بعد النقطة عن محور السلك . (عكسي)

* لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي نستخدم <u>قاعدة قبضة اليد اليمنى</u> بوضع الإبهام مع اتجاه التيّار فتشير حركة الأصابع إلى اتجاه المجال المغناطيسي عند أي نقطة .

* أو نضع الإبهام مع اتجاه التيار وبقية الأصابع نحو النقطة فيكون اتجاه المجال المغناطيسي عند النقطة باتجاه العمودي على راحة اليد نحو الخارج .



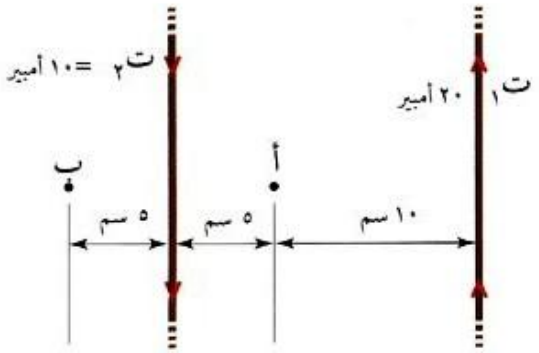


مثال (١) : سلك مستقيم طوله (٣) م ، يمر فيه تيار شدته (٢) أمبير ، احسب شدة المجال المغناطيسي الذي يحدثه التيار الكهربائي عند نقطة تبعد (٠,٥) سم عن السلك .

الحل :

$$غ = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت}{ف} = \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ٢}{٠,٥ \times ١٠^{-٢}} = ٨ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا}$$

مثال (٢) : يبين الشكل ، سلكين طويلين متوازيين رفيعين في مستوى الورقة ، ويمر بهما تياران متعاكسان بالإستعانة بالقيم الموجودة على الشكل ، حدد مقدار المجال المغناطيسي واتجاهه ، الناتج عن التيارين عند كل من النقطتين (أ) و (ب) .



الحل :

النقطة أ تتأثر بمجالين مغناطيسيين من ت١ و ت٢

$$غ_{١} = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت}{ف} = \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ٢٠}{١٠ \times ١٠^{-٢}} = ٤ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للخارج}$$

$$غ_{٢} = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت}{ف} = \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ١٠}{٥ \times ١٠^{-٢}} = ٤ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للخارج}$$

$$غ_{أ} = غ_{١} + غ_{٢} = ٤ \times ١٠^{-٥} + ٤ \times ١٠^{-٥} = ٨ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للخارج}$$

النقطة ب تتأثر بمجالين مغناطيسيين من ت١ و ت٢

$$غ_{١} = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت}{ف} = \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ٢٠}{٢٠ \times ١٠^{-٢}} = ٢ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للخارج}$$

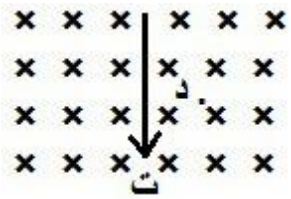
$$غ_{٢} = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت}{ف} = \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ١٠}{٥ \times ١٠^{-٢}} = ٤ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للداخل}$$

$$غ_{ب} = غ_{٢} - غ_{١} = ٤ \times ١٠^{-٥} - ٢ \times ١٠^{-٥} = ٢ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للداخل}$$

مثال (٣) : سلك مستقيم لانهائي الطول يحمل تيار مقداره (٥) أمبير مغمور كلياً في مجال مغناطيسي منتظم شدته (٣×١٠^{-٥}) تسلا عمودي على الصفحة نحو الداخل كما في الشكل المجاور احسب :

١) القوة المغناطيسية المؤثرة في قطعة من السلك طولها (١) م مقداراً واتجاهاً .

٢) المجال المغناطيسي في النقطة (د) التي تبعد (٠,١) م عن محور السلك مقداراً واتجاهاً .



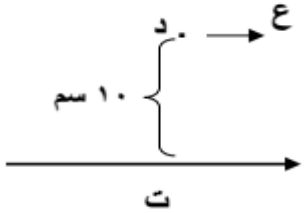
الحل :

١) $ق_{غ} = ت \, ل \, غ \, جا\theta = ٥ \times ١ \times ٣ \times ١٠^{-٥} \times جا٩٠ = ١٥ \times ١٠^{-٥}$ نيوتن ، نحو س+

٢) $غ_{سلك} = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت}{ف} = \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ٥}{٠,١} = ١ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، للخارج

$غ_{د} = غ_{خارجي} - غ_{سلك} = ٣ \times ١٠^{-٥} - ١ \times ١٠^{-٥} = ٢ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، ⊗

مثال (٤) : في الشكل المجاور سلك مستقيم لا نهائي يحمل تياراً شدته (٥) أمبير تتحرك شحنة مقدارها (٢×١٠^{-٦}) كولوم بسرعة (٣×١٠^{٥}) م/ث باتجاه موازي للسلك وتبعد مسافة (١٠) سم كما هو مبين . احسب مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنة في النقطة (د) .



الحل :

$غ_د = ٢ \times ١٠^{-٧}$ $\frac{ت}{ف}$ $= \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ٥}{١٠ \times ١٠^{-٢}} = ١ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، للخارج

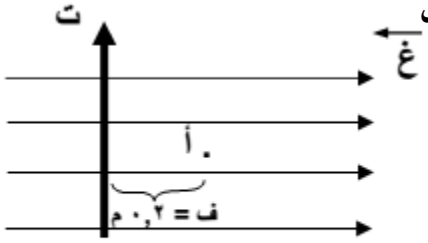
$ق_غ = ـــ_{ر} ع غ جاθ = ٢ \times ١٠^{-٦} \times ٣ \times ١٠^{٥} \times ١ \times ١٠^{-٥} \times$ جا٩٠ $= ٦ \times ١٠^{-٦}$ نيوتن ص-

مثال (٥) : في الشكل سلك مستقيم طوله (١) م يحمل تيار كهربائي قدره (١٠) أمبير ، غمر كلياً في مجال مغناطيسي خارجي منتظم قدره (٢×١٠^{-٥}) تسلا ، بالإعتماد على الشكل احسب :

١) القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك . ٢) المجال المغناطيسي عند النقطة (أ) .

٣) القوة المغناطيسية المؤثرة على الكترون يمر بالنقطة (أ) بسرعة (٣×١٠^{٥}) م/ث في الحالتين :

أ) باتجاه المجال الخارجي . ب) مبتعداً عن الناظر .



الحل :

١) $ق_غ = ت$ ل غ جاθ $= ١٠ \times ١ \times ٢ \times ١٠^{-٥} \times$ جا٩٠

$= ٢٠ \times ١٠^{-٥}$ نيوتن ، نحو ⊗

٢) $غ_{سلك} = ٢ \times ١٠^{-٧}$ $\frac{ت}{ف}$ $= \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ١٠}{٠,٢} = ١ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، ⊗

$غ_أ = \sqrt{غ^{٢}_{سلك} + غ^{٢}_{خارجي}} = \sqrt{١ + ٤} \times ١٠^{-٥} = \sqrt{٥} \times ١٠^{-٥}$ تسلا

θ = ظا$^{-١}$ ($\frac{غ_{سلك}}{غ_{خارجي}}$) = ظا$^{-١}$ ($\frac{١}{٢}$) ≈ ٢٦,٥٦

٣) أ) $ق_غ = ـــ_{ر} ع غ_{سلك}$ جاθ

$= ١,٦ \times ١٠^{-١٩} \times ٣ \times ١٠^{٥} \times ١٠^{-٥} \times$ جا٩٠

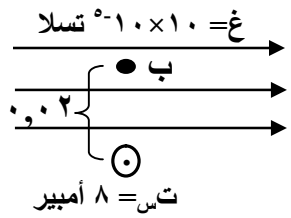
$= ٤,٨ \times ١٠^{-١٩}$ نيوتن ص-

ب) $ق_غ = ـــ_{ر} ع غ_{خارجي}$ جاθ

$= ١,٦ \times ١٠^{-١٩} \times ٣ \times ١٠^{٥} \times ٢ \times ١٠^{-٥} \times$ جا٩٠

$= ٩,٦ \times ١٠^{-١٩}$ نيوتن ص+

مثال (٦) : (س) سلك طويل مستقيم لا نهائي ، يحمل تياراً كهربائياً مقداره (٨) أمبير باتجاه خارج من الصفحة ومغمور كلياً في مجال مغناطيسي خارجي مقداره (١٠×١٠^{-٥}) تسلا كما في الشكل المجاور بالإستعانة بالقيم المثبتة عليه احسب :



١) القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الأطوال (١ م) من السلك (س) .

٢) محصلة المجال المغناطيسي عند النقطة (ب) .

٣) وزن جسيم شحنته (٤×١٠^{-٩}) كولوم لحظة مروره من النقطة (ب) محافظاً على اتجاه حركته بسرعة ($١٠^{٧}$) م/ث وباتجاه عمودي على الصفحة للأعلى .

الحل :

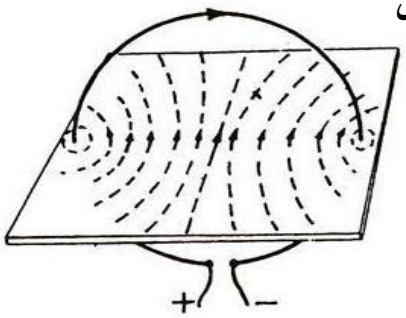
١) $ق_غ = ت$ ل غ جاθ $= ٨ \times ١ \times ١٠ \times ١٠^{-٥} \times$ جا٩٠ $= ٨٠ \times ١٠^{-٥}$ نيوتن .

٢) $غ_{سلك} = ٢ \times ١٠^{-٧}$ $\frac{ت}{ف}$ $= \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ٨}{٠,٠٢} = ٨ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، نحو س-

$غ_ب = غ_{خارجي} - غ_{سلك} = ١٠ \times ١٠^{-٥} - ٨ \times ١٠^{-٥} = ٢ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، نحو س+

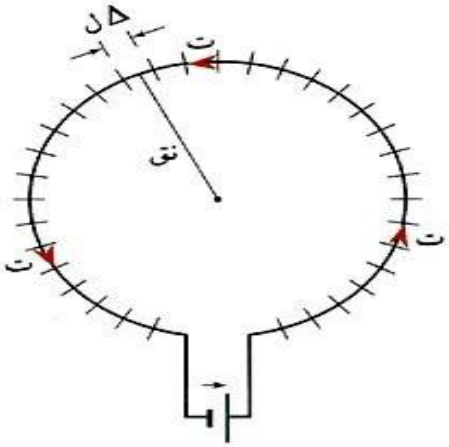
٣) الوزن = $ق_غ = ـــ_{ر} ع غ_ب$ جاθ $= ٤ \times ١٠^{-٩} \times ١٠^{٧} \times ٢ \times ١٠^{-٥} \times$ جا٩٠ $= ٨ \times ١٠^{-٧}$ نيوتن ⊗

المجال المغناطيسي لملف دائري



المجال المغناطيسي لملف دائري يمر فيه تيار كهربائي مستمر ، ويلاحظ من الشكل أن المجال المغناطيسي ليس منتظماً داخل الملف ، بدليل انحناء خطوط المجال داخله ، أما بالقرب من مركز الملف فتكاد الخطوط أن تكون متوازية ومتعامدة مع مستوى الملف .

نستخدم قانون بيو – سافار حيث نقسم الملف إلى أجزاء صغيرة ، طول كل منها (Δل) ، كما في الشكل ، ثم نحسب (Δغ) في مركز الملف الناشئ عن كل جزء من هذه الأجزاء ، فيكون مجموعها مساوياً للمجال المغناطيسي في مركز الملف ، نجد أن :

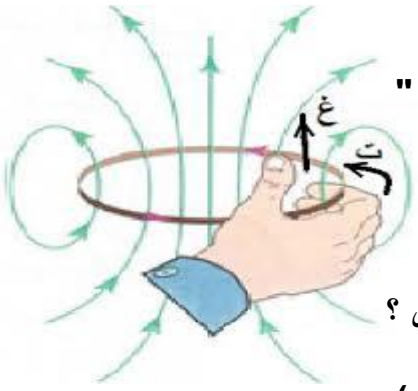


$$\Delta غ = \frac{\mu_{.}}{4\pi} \frac{\sum ت \Delta ل \, جا ٩٠}{نق^{٢}}$$

$$\sum \Delta ل = ٢\pi \, نق \, ن$$

$$\Delta غ = \frac{\mu_{.}}{4\pi} \times \frac{ت}{نق^{٢}} \times ٢\pi \, نق \, ن$$

$$\Delta غ = \frac{ن \, \mu_{.} \, ت}{٢ \, نق}$$



* لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي عند مركز الملف نستخدم " قاعدة قبضة اليد اليمنى " حيث نجعل أصابع اليد اليمنى تشير إلى اتجاه التيار فيشير الإبهام إلى اتجاه المجال المغناطيسي لاحظ الشكل المجاور .

سؤال : ما العوامل التي تعتمد عليها شدة المجال المغناطيسي عند مركز الملف الدائري ؟

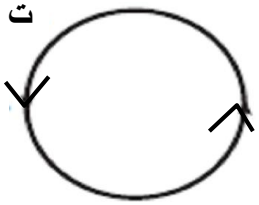
جواب :

١) مقدار التيار المار في الملف . (طردي)
٢) عدد لفات الملف (ن) . (طردي)
٣) نصف قطر الملف (نق) . (عكسي)
٤) النفاذية المغناطيسية للوسط المحيط بالسلك . (طردي)

سؤال (علل) : يكون المجال المغناطيسي داخل الملف الدائري أكبر من خارجه ؟

جواب : لأن أجزاء الملف تولد مجالاً مغناطيسياً في الداخل بالاتجاه نفسه فيتعاظم المجال ، أما في الخارج فإن كل جزأين متقابلين يولدان مجالين متعاكسين فتتناقص شدته . والنقاط أيضا في الداخل قريبة بعكس النقاط في الخارج التي تكون بعيدة .

مثال (١) : حدد اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عند مركز الملف اذا مر التيار بالاتجاه المبين بالشكل .
وهل يختلف اتجاه المجال عند عكس اتجاه التيار في الملف ؟



الحل :

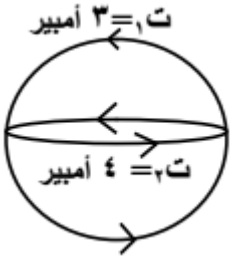
مثال (٢) : ملف دائري عدد لفاته (١٠٠) لفة ، وقطره (١٠) سم ، احسب المجال المغناطيسي في مركزه ، عندما يسري فيه تيار كهربائي مقداره (٢,٥) أمبير .

الحل :

$$غ = \frac{ن\ \mu.\ ت}{٢\ نق} = \frac{١٠٠ \times ٤\pi \times ١٠^{-٧} \times ٢,٥}{٢ \times ٥ \times ١٠^{-٢}}$$

$$غ = ٣١٤ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا}$$

مثال (٣) : يبين الشكل المجاور سلكين دائريين متحدين في المركز السلك الأول في مستوى الصفحة ونصف قطره يساوي نصف قطر السلك الثاني ويساوي (π) سم ، فإذا كان مستويا الملفين متعامدين فاحسب مقدار المجال المغناطيسي في مركز الملفين واتجاهه ، إذا كانت قيم التيارات كما هي مبينه بالشكل .



الحل :

$$غ = \frac{ن\ \mu.\ ت}{٢\ نق}$$

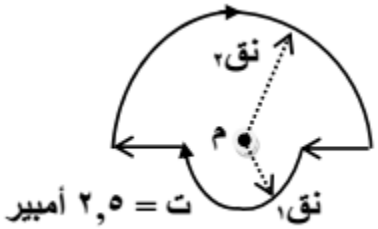
$$غ_{١} = \frac{١ \times ٤\pi \times ١٠^{-٧} \times ٣}{٢ \times \pi \times ١٠^{-٢}} = ٦ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للخارج}$$

$$غ_{٢} = \frac{١ \times ٤\pi \times ١٠^{-٧} \times ٤}{٢ \times \pi \times ١٠^{-٢}} = ٨ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، ص+}$$

$$غ_{ا} = \sqrt{غ_{١}^{٢} + غ_{٢}^{٢}} = \sqrt{٣٦ + ٦٤ \times ١٠^{-٥}} = ١٠ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا}$$

$$\theta = ظا^{-١}\left(\frac{غ_{١}}{غ_{٢}}\right) = ظا^{-١}\left(\frac{٦}{٨}\right) \approx ٣٦,٩$$

مثال (٤) : اعتماداً على الشكل المجاور إذا علمت أن (نق$_{١}$= $\pi \times ١٠^{-٢}$ م ، نق$_{٢}$= $٢\pi \times ١٠^{-٢}$ م) احسب المجال المغناطيسي في النقطة (م) .



الحل :

$$غ = \frac{ن\ \mu.\ ت}{٢\ نق}$$

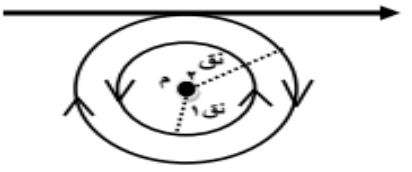
$$غ_{١} = \frac{١ \times ٤\pi \times ١٠^{-٧} \times ٢,٥}{٢ \times \pi \times ١٠^{-٢}} = ٢,٥ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للداخل}$$

$$غ_{٢} = \frac{١ \times ٤\pi \times ١٠^{-٧} \times ٢,٥}{٢ \times ٢\pi \times ١٠^{-٢}} = ١,٢٥ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للداخل}$$

$$غ_{م} = غ_{١} + غ_{٢} = ٢,٥ \times ١٠^{-٥} + ١,٢٥ \times ١٠^{-٥} = ٣,٧٥ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا ، للداخل}$$

مثال (٥) : في الشكل المجاور إذا علمت أن التيار مقداره (ت) ومتساوي في كل من السلك والملفين وأن المجال المغناطيسي في النقطة م يساوي صفر أثبت العلاقة التالية :

$$\frac{\text{نق}_1}{\text{نق}_2} = \frac{\pi}{1+\pi}$$



الحل :

النقطة م تتعرض لثلاث مجالات من السلك نحو الداخل ومن الملف الكبير نحو الداخل ومن الملف الصغير نحو الخارج (●) وبما ان المجال في النقطة م يساوي صفر يمكن كتابة المعادلة التالية :

غ للملف الصغير = غ للسلك + غ للملف الكبير

$$\frac{\mu_. \times ت}{2\text{نق}_1} = \frac{\mu_. \times ت}{2\pi\ \text{نق}_2^2} + \frac{\mu_. \times ت}{2\ \text{نق}_2}$$

$$\frac{1}{\text{نق}_1} = \frac{1}{\pi\ \text{نق}_2} + \frac{1}{\text{نق}_2}$$ وبتوحيد المقامات

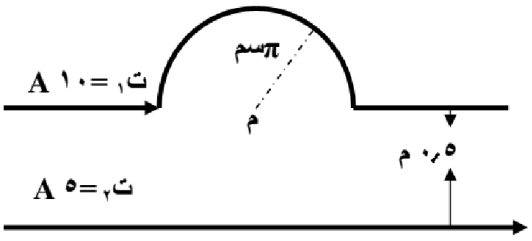
$$\frac{1}{\text{نق}_1} = \frac{\pi + 1}{\pi\ \text{نق}_2}$$ وبضرب طرفي المعادلة في نق٢ نجد

$$\frac{\text{نق}_2}{\text{نق}_1} = \frac{\pi+1}{\pi}$$ وبقلب المعادلة نجد

$$\frac{\text{نق}_1}{\text{نق}_2} = \frac{\pi}{1+\pi}$$ وهو المطلوب

مثال (٦) : سلكان لا نهائيان يقعان في مستوى الورقة ، كما هو مبين في الشكل ، اعتماداً على الشكل والمعلومات المثبتة عليه . احسب المجال المغناطيسي الناشئ عن التيارين مقداراً واتجاهاً عند النقطة (م) .

الحل :



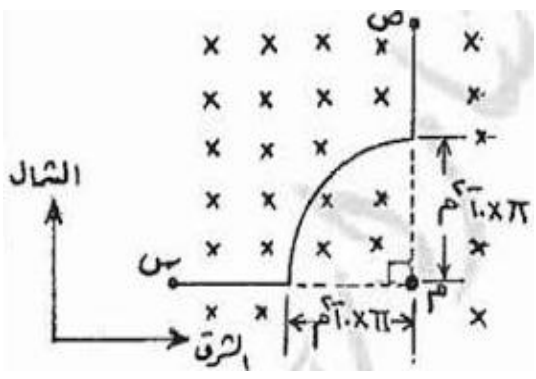
$$\text{غ}_{\text{ملف}} = \frac{\text{ن}\ \mu_. \ ت}{2\ \text{نق}} = \frac{1 \times 10^{-7} \times \pi 4 \times 0,5 \times 10}{2 \times \pi \times 10^{-2}} = 10 \times 10 \times 10^{-5}$$ تسلا ، للداخل

$$\text{غ}_{\text{سلك}} = 2 \times 10^{-7} \frac{ت}{\text{ف}} = \frac{5 \times 2 \times 10^{-7}}{0,5} = 0,2 \times 10 \times 10^{-5}$$ تسلا ، للخارج

$$\text{غ}_م = \text{غ}_{\text{ملف}} - \text{غ}_{\text{سلك}} = 10 \times 10 \times 10^{-5} - 0,2 \times 10 \times 10^{-5} = 9,8 \times 10 \times 10^{-5}$$ تسلا ، للداخل

مثال (٧) : يمثل الشكل سلكاً (س ص) ، يحمل تياراً كهربائياً (ت) ومغمور في مجال مغناطيسي (6×10^{-5}) تسلا تتحرك شحنة كهربائية نقطية (2×10^{-6}) كولوم نحو الشرق ، بسرعة (4×10^{5}) م/ث ، احسب مقدار واتجاه التيار (ت) الذي يجعل تلك الشحنة عند مرورها بالنقطة (م) تتأثر بقوة (40×10^{-6}) نيوتن نحو الجنوب .

الحل :



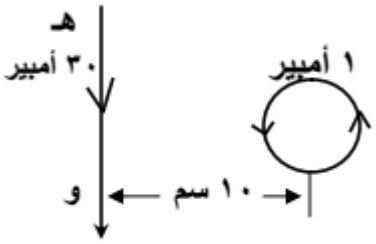
$$\text{غ}_ح = \frac{\text{ق}}{\text{ش ع جا}\theta} = \frac{40 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{5}} = 5 \times 10^{-5}$$ تسلا ، للخارج

$$\text{غ}_ح = \text{غ}_{\text{ملف}} - \text{غ}_{\text{خارجي}}$$ ومنها $\text{غ}_{\text{ملف}} = \text{غ}_ح + \text{غ}_{\text{خارجي}} = 5 \times 10^{-5} + 6 \times 10^{-5}$

$$\text{غ}_{\text{ملف}} = 11 \times 10^{-5}$$ تسلا ، للخارج

$$\text{غ} = \frac{\text{ن}\ \mu_. \ ت}{2\ \text{نق}} \Leftarrow 11 \times 10^{-5} = \frac{1 \times 10^{-7} \times \pi 4 \times 0,25 \times ت}{2 \times \pi \times 10^{-2}}$$ ومنها ت = ٢٢ أمبير . من ص إلى س

مثال (٨) : (هـ و) سلك لا نهائي الطول يحمل تياراً كهربائياً شدته (٣٠) أمبير ، يقع على يمينه (وفي مستوى الصفحة) ملف دائري يتكون من (٤) لفات متوسط نصف قطره (π) سم ويحمل تياراً شدته (١) أمبير ، يبعُد مركزه (١٠) سم عن محور السلك كما في الشكل المجاور . احسب المجال المغناطيسي عند مركز الملف .



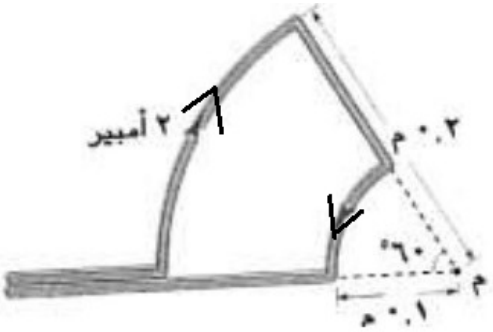
الحل :

$غ_{ملف} = \frac{ن\ \mu_{.}\ ت}{٢\ نق} = \frac{٤ \times \pi \times ١٠^{-٧} \times ١}{٢ \times \pi \times ١٠^{-٢}} = ٨ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، للخارج

$غ_{سلك} = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت}{ف} = \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ٣٠}{١٠ \times ١٠^{-٢}} = ٦ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، للخارج

$غ_{ح} = غ_{ملف} + غ_{سلك} = ٨ \times ١٠^{-٥} + ٦ \times ١٠^{-٥} = ١٤ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، للخارج

مثال (٩) : من الشكل جد محصلة المجال المغناطيسي عند النقطة (م) .



الحل :

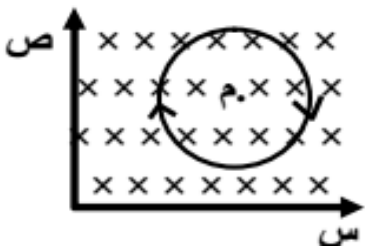
$ن = \frac{٦٠}{٣٦٠} = \frac{١}{٦}$

$غ_{صغير} = \frac{ن\ \mu_{.}\ ت}{٢\ نق} = \frac{١}{٦} \times \frac{٤ \times \pi \times ١٠^{-٧} \times ٢}{٠,١ \times ٢} = \frac{\pi ٢}{٣} \times ١٠^{-٦}$ تسلا ، للخارج

$غ_{كبير} = \frac{١}{٦} \times \frac{٤ \times \pi \times ١٠^{-٧} \times ٢}{٠,٢ \times ٢} = \frac{\pi}{٣} \times ١٠^{-٦}$ تسلا ، $\otimes$

$غ_{م} = غ_{صغير} - غ_{كبير} = \frac{\pi}{٣} \times ١٠^{-٦}$ تسلا ، للخارج

مثال (١٠) : ملف دائري عدد لفاته (٧) لفات ، ونصف قطره (٤×١٠^{-٢}) م يمر فيه تيار كهربائي مقداره (٢) أمبير مغمور في مجال مغناطيسي خارجي مقداره (١×١٠^{-٥}) تسلا كما في الشكل :



١) احسب مقدار واتجاه المجال المغناطيسي المحصل في مركز الملف (م) .
٢) ما اسم القاعدة التي استخدمتها لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي .
٣) احسب مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المجال المحصل على شحنة مقدارها (-١×١٠^{-٣}) كولوم تتحرك باتجاه يوازي محور السينات الموجب بسرعة (١×١٠^{٣}) م/ث .

الحل :

١) $غ_{ملف} = \frac{ن\ \mu_{.}\ ت}{٢\ نق} = \frac{٧ \times \pi \times ١٠^{-٧} \times ٢}{٢ \times ٤ \times ١٠^{-٢}} = ٢٢ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، $\otimes$

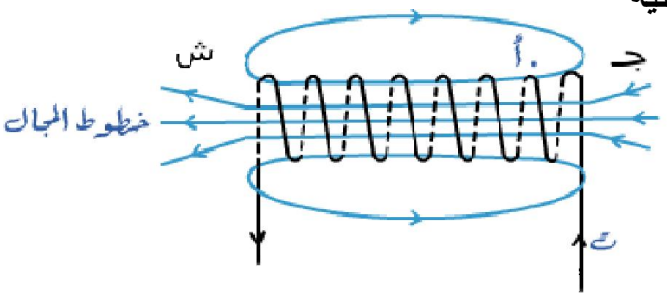
$غ_{م} = غ_{خارجي} + غ_{ملف} = ١ \times ١٠^{-٥} + ٢٢ \times ١٠^{-٥} = ٢٣ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، $\otimes$

٢) قبضة اليد اليمنى .

٣) $ق_{غ} = ـــ_{ر} ع\ غ\ جا\theta = ١ \times ١٠^{-٣} \times ١ \times ١٠^{٣} \times ٢٣ \times ١٠^{-٥} \times جا٩٠ = ٢٣ \times ١٠^{-٥}$ نيوتن ، ص-

المجال المغناطيسي لملف لولبي

تكون خطوط المجال المغناطيسي لملف لولبي عبارة عن خطوط منحنية مقفلة تخرج من القطب الشمالي وتدخل في القطب الجنوبي ، وتكمل دورتها داخل الملف بخطوط مستقيمة (مجال منتظم) من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي .



لحساب المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي نستخدم العلاقة :

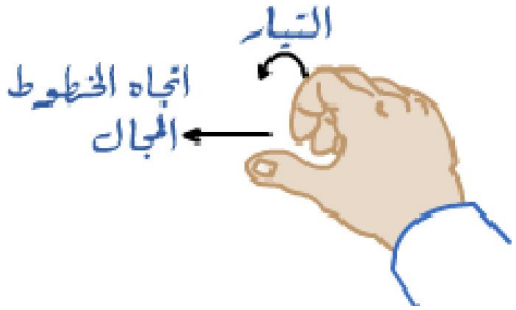
$$غ = نَ \mu_{.} ت$$

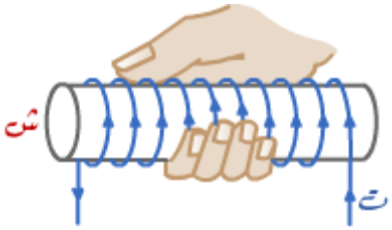
حيث نَ : عدد اللفات لوحدة الأطوال

$$نَ = \frac{ن}{ل}$$

$$غ = \frac{ن \mu_{.} ت}{ل}$$

لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي نستخدم قاعدة قبضة اليد اليمنى ، بوضع الأصابع مع اتجاه التيار ، فيشير الإبهام إلى القطب الشمالي وإلى اتجاه المجال داخل الملف .





سؤال : اذكر العوامل التي يعتمد عليها المجال المغناطيسي لملف لولبي :

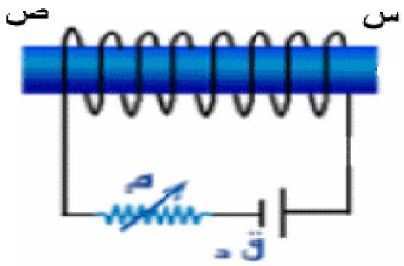
جواب :

١) التيار الكهربائي . (طردي)
٢) عدد اللفات . (طردي)
٣) طول الملف . (عكسي)
٤) النفاذية المغناطيسية للوسط المحيط بالسلك . (طردي)

سؤال (علل) : المجال المغناطيسي خارج الملف اللولبي مهملاً .

جواب : وذلك لصغر قيمته بسبب تعرضه لمجالين متعاكسين من تيار الملف .

مثال (١) : من الشكل الذي يمثل ملف لولبي جد :



١) حدد اقطاب الملف . ٢) حدد اتجاه المجال داخل الملف .
٣) كيف يمكننا زيادة المجال المغناطيسي باستخدام المقاومة المتغيرة .

الحل :

١) س قطب شمالي ، ص قطب جنوبي

٢) من ص إلى س .

٣) نقوم بتقليل المقاومة المتغيرة فيزداد التيار الكهربائي فيزداد المجال المغناطيسي .

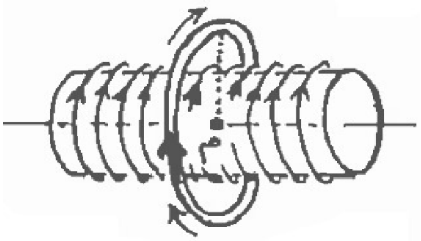
مثال (٢) : ملف لولبي عدد لفاته (١٤٠) لفة وطوله (٢٠) سم ، يسري فيه تيار شدته (١,٥) أمبير احسب شدة المجال المغناطيسي داخل الملف .

الحل :

$$غ = \frac{ن\ \mu_{.}\ ت}{ل} = \frac{١٤٠ \times \pi ٤ \times ١٠^{-٧} \times ١,٥}{٢٠ \times ١٠^{-٢}} = \pi ٤٢ \times ١٠^{-٥}$$ تسلا

مثال (٣) : ملف لولبي عدد لفاته (٢٥) لفة لكل (١) سم من طوله ، يمر فيه تياركهربائي مقداره (١) أمبير ، لف حول وسطه ملف آخر دائري مركزه (م) ينطبق على محور الملف اللولبي . فإذا كان عدد لفات الملف الدائري (٤٠) لفة ، ونصف قطره (π٢) سم ، ويمر فيه تيار كهربائي مقداره (٢) أمبير بنفس اتجاه التيار الكهربائي في الملف اللولبي ، كما في الشكل . احسب المجال المغناطيسي عند النقطة (م) .

الحل :

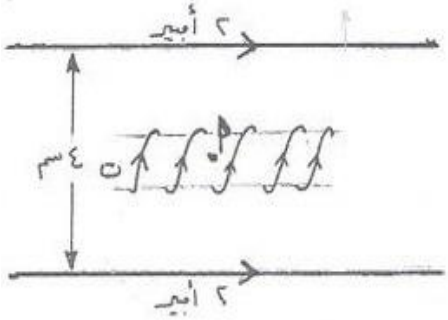


$$غ_{لولبي} = \frac{ن\ \mu_{.}\ ت}{ل} = \frac{٢٥ \times \pi ٤ \times ١٠^{-٧} \times ١}{١ \times ١٠^{-٢}} = ٣١٤ \times ١٠^{-٥}$$ تسلا ، نحو س-

$$غ_{دائري} = \frac{ن\ \mu_{.}\ ت}{٢\ نق} = \frac{٤٠ \times \pi ٤ \times ١٠^{-٧} \times ٢}{٢ \times \pi ٢ \times ١٠^{-٢}} = ٨٠ \times ١٠^{-٥}$$ تسلا ، نحو س-

$$غ_{م} = غ_{لولبي} + غ_{دائري} = ٣١٤ \times ١٠^{-٥} + ٨٠ \times ١٠^{-٥} = ٣٩٤ \times ١٠^{-٥}$$ تسلا ، نحو س-

مثال (٤) : سلكان متوازيان لانهائيان في الطول يقعان في مستوى واحد كل منهما مقدار تياره (٢) أمبير ، وضع في منتصف المسافة بينهما وبشكل مواز لهما ملف لولبي طوله ($\pi \times ١٠^{-٢}$) م ، وعدد لفاته (١٠٠) لفة كما في الشكل ، فإذا كان المجال المغناطيسي المحصل عند النقطة (أ) يساوي (١٦×١٠^{-٣}) تسلا ، احسب :



١) القوة المتبادلة بين السلكين والمؤثرة على وحدة الأطوال منهما .

٢) تيار الملف (ت) .

الحل :

١) $\frac{ق_{١٢}}{ل} = ٢ \times ١٠^{-٧}$ $\frac{ت_{١}\ ت_{٢}}{ف} = \frac{٢ \times ٢ \times ١٠^{-٧} \times ٢}{٤ \times ١٠^{-٢}} = ٢ \times ١٠^{-٥}$ نيوتن/م

٢) ستتأثر النقطة (أ) من السلكين بمجالين متساويين مقداراً متعاكسين اتجاهاً فيلغيان بعضهما وعليه يكون

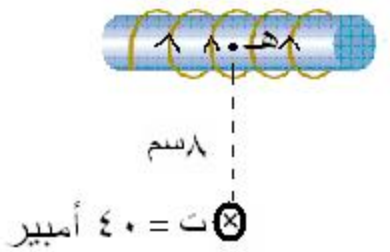
$$غ_{أ} = غ_{ملف} = \frac{ن\ \mu_{.}\ ت}{ل}$$

$$١٦ \times ١٠^{-٣} = \frac{١٠٠ \times \pi ٤ \times ١٠^{-٧} \times ت}{\pi \times ١٠^{-٢}}$$ ومنها ت = ٤ أمبير

مثال (٥) : ملف لولبي عدد لفاتة (١٥) لفه ، وطوله (2π) سم ، يمر فيه تيار كهربائي مقداره (٢) أمبير ، وضع على بعد (٨) سم من محوره سلك لا نهائي الطول داخل في الصفحة و يحمل تيار كهربائي (٤٠) أمبير ، أحسب :

١) المجال المغناطيسي في النقطه (هـ) و التي تقع على محور الملف اللولبي .

٢) القوة المغناطيسية المؤثرة في الكترون لحظة مروره بالنقطة (هـ) بسرعة (٥ × ١٠ ^٤) م/ث ، نحو الجنوب .



الحل :

١) $غ_{لولبي} = \frac{ن \mu . ت}{ل} = \frac{١٥ \times \pi ٤ \times ١٠^{-٧} \times ٢}{\pi ٢ \times ١٠^{-٢}} = ٦٠ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، نحو س-

$غ_{سلك} = \frac{ت}{ف} = \frac{٢ \times ١٠^{-٧} \times ٤٠}{٨ \times ١٠^{-٢}} = ١٠ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، نحو س+

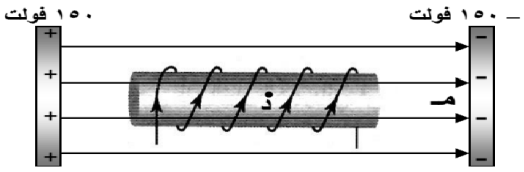
$غ_{هـ} = غ_{لولبي} - غ_{سلك} = ٦٠ \times ١٠^{-٥} - ١٠ \times ١٠^{-٥} = ٥٠ \times ١٠^{-٥}$ تسلا ، نحو س-

٢) $ق_{غ} = ـــ ر ع غ جا \theta = ١,٦ \times ١٠^{-١٩} \times ٥ \times ١٠^{٤} \times ٥٠ \times ١٠^{-٥} \times ١ = ٤٠ \times ١٠^{-١٩}$ نيوتن . للخارج

مثال (٦) : في الشكل المجاور وضع ملف لولبي طوله (2π) سم و عدد لفاته (٢٠) لفة بين لوحين فلزيين متوازيين البعد بينهما (١٠) سم ، عند مرور شحنة (-١) ميكروكولوم بالنقطة (د) بسرعة (٢×١٠^{٦}) م/ث باتجاه الشمال كان مقدار قوة لورنتز المؤثرة عليها (٥×١٠^{-٣}) نيوتن . اجب عما يلي :

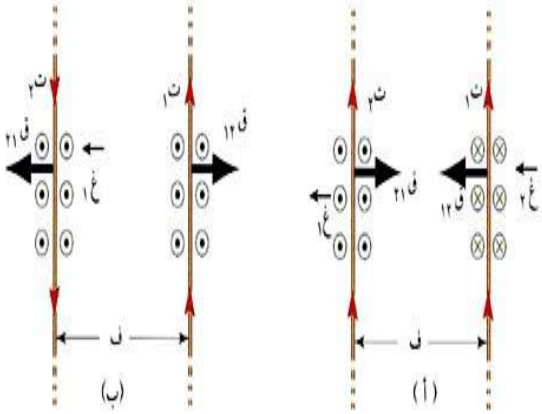
١) احسب مقدار التيار المار في الملف اللولبي . ٢) كيف يكون المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي منتظماً .

الحل :



القوة المغناطيسية المتبادلة بين سلكين رفيعين مستقيمين متوازيين لا نهائيين يقعان في مستوى واحد ويسري فيهما تيار

عرفت أن المجال المغناطيسي يؤثر بقوة في السلك المار فيه تيار كهربائي والموضوع في المجال ، على ألا يكون موازياً لخطوط المجال ، كما عرفت أنه يتولد حول السلك المار فيه تيار كهربائي مجال مغناطيسي ، فماذا تتوقع أن يحدث إذا تجاور سلكان طويلان جداً ، مستقيمان ومتوازيان ، ويسري في كل منهما تيار كهربائي ؟ هل تنشأ بينهما قوة مغناطيسية ؟ . هل يتجاذبان أم يتنافران ؟ وما علاقة اتجاه التيار في كل منهما باتجاه القوة المتبادلة ؟



إن مرور تيار كهربائي في أحد السلكين ، يؤدي إلى توليد مجال مغناطيسي حوله ولما كان السلك الثاني بالطبع موجوداً في هذا المجال ويمر فيه تيار، فإنه يتأثر بقوة مغناطيسية . والعكس كذلك صحيح، فالسلك الثاني يسري فيه تيار كهربائي فيولد حوله مجالاً مغناطيسياً يؤثر بقوة مغناطيسية في السلك الأول الموجود في مجاله ويمر فيه تيار كهربائي .

ولحساب القوة المتبادلة ، بين هذين السلكين ، نحسب أولاً المجال المغناطيسي ($\overrightarrow{غ}$) الناشئ عن تيار السلك الأول عند نقطة تقع على السلك الثاني ، ثم نحسب القوة التي يؤثر بها هذا المجال في طول مقداره (ل) من السلك الثاني .

$ق_{٢١} = ت_{٢} \times ل \times غ_{١}$ **ونظراً لأن** $غ_{١} = \frac{\mu . ت_{١}}{٢ \pi ف}$

يكون

$$ق_{١٢} = \frac{\mu . ت_{١} ت_{٢} ل}{٢ \pi ف}$$

$$ق_{١٢} = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت_{١} ت_{٢} ل}{ف}$$

حيث $ق_{١٢}$: القوة المتبادلة المغناطيسية بين سلكين متوازيين (نيوتن) .
ف : المسافة بين السلكين .
ل : الطول المشترك (الجزء الذي يؤثر به مجال كل منهما على الآخر) .

* من التطبيقات العملية على القوة المغناطيسية المتبادلة بين موصلين مستقيمين متوازيين جهاز يسمى ميزان أمبير الذي يستخدم في قياس التيار المار في موصل بدقة .

ملاحظات :

١) إذا كان التياران بنفس الاتجاه تكون القوة تجاذب ونقطة التعادل المغناطيسي بينهما وأقرب للتيار الأقل .
٢) إذا كان التياران متعاكسين تكون القوة تنافر ونقطة التعادل المغناطيسي خارجهما وأقرب للتيار الأقل .
٣) إذا حدد الطول وحدة الأطوال تكون (ل = ١) م ، وإذا لم يحدد نختارها وحدة الأطوال .

سؤال (علل) : يتجاذب سلكين متوازيين عندما يمر فيهما تيارين في اتجاه واحد .
جواب : لأن محصلة المجالين المغناطيسيين بين السلكين ضعيفة (المجالين متعاكسين) ومحصلتهما قوية خارج السلكين فيتحرك السلكين نحو المجال المغناطيسي الأضعف للداخل { تجاذب } .

سؤال (علل) : يتنافر سلكين متوازيين عندما يمر فيهما تيارين في اتجاهين متعاكسين .
جواب : لأن محصلة المجالين المغناطيسيين خارج السلكين ضعيفة (المجالين متعاكسين) ومحصلتهما قوية بين السلكين فيتحرك السلكين نحو المجال المغناطيسي الأضعف للخارج { تنافر } .

سؤال : ما الشرط اللازم لتطبيق قانون القوة المغناطيسية المتبادلة بين موصلين مستقيمين طويلين يمر فيهما تيار ؟
جواب : أن يكونا متوازيين أي يكون التيارين المارين فيهما بالاتجاه نفسه أو متعاكسين .

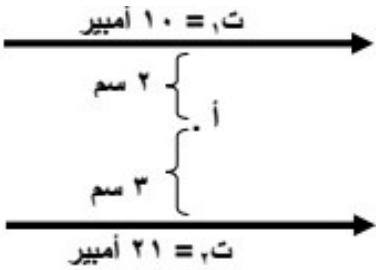
سؤال : ما العوامل المؤثرة على القوة المتبادلة بين تيارين متوازيين ؟
جواب :
١) شدة التيارين . (طردية)
٢) طول الجزء المتقابل من السلكين (ل) . (طردية)
٣) البعد بين السلكين (المسافة العمودية بينهما) . (عكسية)
٤) نوع الوسط الفاصل .

نقطة انعدام المجال المغناطيسي (محصلة المجالين = صفر ، $غ_1 = غ_2$)	
التياران بنفس الاتجاه	التياران متعاكسان بالاتجاه
تقع نقطة الانعدام بين السلكين وتكون قريبة من التيار الأصغر	تقع نقطة الانعدام خارج السلكين وتكون قريبة من التيار الأصغر
$\frac{ت_{صغير}}{ص} = \frac{ت_{كبير}}{ف - ص}$	$\frac{ت_{صغير}}{ص} = \frac{ت_{كبير}}{ف + ص}$

مثال (١) : اعتماداً على الشكل ، جد ما يلي :

١) القوة المتبادلة بين السلكين . وما نوعها ؟

٢) القوة المؤثرة على إلكترون يمر من النقطة (أ) بسرعة مقدارها (٣×١٠^٥) م/ث باتجاه محور السينات الموجب .



الحل :

١) $\frac{ق_{١٢}}{ل} = ٢\times١٠^{-٧} \frac{ت_١ ت_٢}{ف} = \frac{٢\times١٠^{-٧}\times١٠\times٢١}{٥\times١٠^{-٢}} = ٨٤\times١٠^{-٥}$ نيوتن/م ، تجاذب

٢) $غ_{سلك} = ٢\times١٠^{-٧} \frac{ت}{ف}$

$غ_{سلك١} = \frac{٢\times١٠^{-٧}\times١٠}{٠,٠٢} = ١٠\times١٠^{-٥}$ تسلا ، بعيد عن الناظر

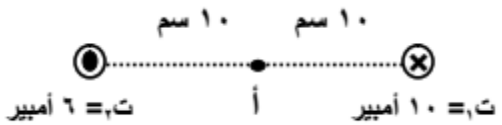
$غ_{سلك٢} = \frac{٢\times١٠^{-٧}\times٢١}{٠,٠٣} = ١٤\times١٠^{-٥}$ تسلا ، باتجاه عن الناظر

$غ_أ = غ_{سلك٢} - غ_{سلك١} = ١٤\times١٠^{-٥} - ١٠\times١٠^{-٥} = ٤\times١٠^{-٥}$ تسلا ، باتجاه عن الناظر

$ق_غ = ـــ ع غ جا\theta = ١,٦\times١٠^{-١٩}\times٣\times١٠^{٥}\times٤\times١٠^{-٥}\times$ جا٩٠ $= ١٩,٢\times١٠^{-١٩}$ نيوتن ص+

مثال (٢) : في الشكل ، احسب ما يلي :

١) القوة المؤثرة على (٢٠) سم من السلك الأول . ٢) المجال المغناطيسي عند النقطة (أ) .



الحل :

١) $ق_{١٢} = ٢\times١٠^{-٧} \frac{ت_١ ت_٢ ل}{ف}$

$= \frac{٢\times١٠^{-٧}\times١٠\times٦\times٢٠\times١٠^{-٢}}{٢٠\times١٠^{-٢}} = ١٢٠\times١٠^{-٧}$ نيوتن

٢) $غ_{سلك} = ٢\times١٠^{-٧} \frac{ت}{ف}$

$غ_{سلك١} = \frac{٢\times١٠^{-٧}\times١٠}{٠,١} = ٢\times١٠^{-٥}$ تسلا ، ص+

$غ_{سلك٢} = \frac{٢\times١٠^{-٧}\times٦}{٠,١} = ١,٢\times١٠^{-٥}$ تسلا ، ص+

$غ_أ = غ_{سلك١} + غ_{سلك٢}$

$= ٢\times١٠^{-٥} + ١,٢\times١٠^{-٥} = ٣,٢\times١٠^{-٥}$ تسلا

ص+

مثال (٣) : سلكين متوازيين يمر في الأول تيار شدته (٣٠) أمبير وفي الثاني تيار شدته (٤٠) أمبير والمسافة العمودية بينهما (١٠) سم ، جد النقطة التي ينعدم عندها المجال المغناطيسي في الحالتين :

١) التياران باتجاه واحد . ٢) التياران متعاكسان بالاتجاه .

الحل :

١) $\frac{ت_١}{ص} = \frac{ت_٢}{ف - ص}$

$\frac{٣٠}{ص} = \frac{٤٠}{١٠ - ص}$ ومنها ص $= \frac{٣٠}{٧}$ سم

٢) $\frac{ت_١}{ص} = \frac{ت_٢}{ف + ص}$

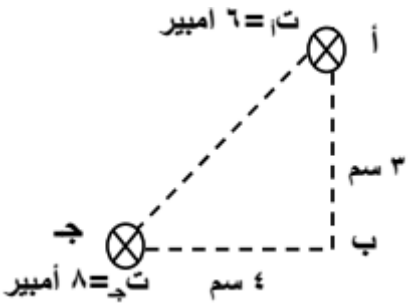
$\frac{٣٠}{ص} = \frac{٤٠}{١٠ + ص}$ ومنها ص = ٣٠ سم

مثال (٤) : أ ب جـ مثلث قائم الزاوية في (ب) يقع في مستوى الصفحة ، يمر في رأسيه (أ ، جـ) موصلان مستقيمان لا نهائيان وعموديان على مستوى الصفحة ، يحملان تيارين كهربائيين اتجاهيهما بعيداً عن الناظر بالإعتماد على الشكل . احسب :

١) القوة المغناطيسية المتبادلة بينهما والمؤثرة على وحدة الأطوال من السلكين .

٢) القوة المؤثرة في شحنة سالبة مقدارها (-٢) ميكروكولوم ، تتحرك بسرعة (١×١٠^{٦}) م/ث ، عند مرورها بالنقطة (ب) باتجاه عمودي على المجال المحصل عند النقطة (ب) .

الحل :



من نظرية فيثاغورس

ف = $\sqrt{(٣)^{٢} + (٤)^{٢}}$

ف = ٥ سم

١) $\frac{ق_{١٢}}{ل} = ٢\times١٠^{-٧} \frac{ت_{أ}\, ت_{جـ}}{ف}$

$= \frac{٢\times١٠^{-٧}\times٦\times٨}{٥\times١٠^{-٢}} = ١٩,٢\times١٠^{-٥}$ نيوتن/م

٢) $غ_{سلك} = ٢\times١٠^{-٧} \frac{ت}{ف}$

$غ_{سلك\ أ} = \frac{٢\times١٠^{-٧}\times٦}{٣\times١٠^{-٢}} = ٤\times١٠^{-٥}$ تسلا ، س-

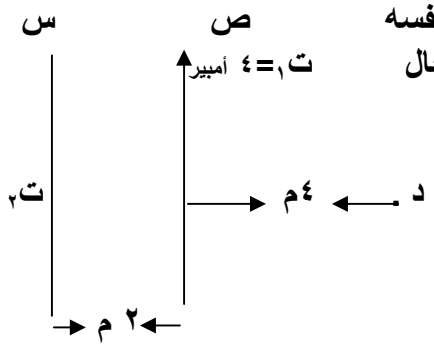
$غ_{سلك\ جـ} = \frac{٢\times١٠^{-٧}\times٨}{٤\times١٠^{-٢}} = ٤\times١٠^{-٥}$ تسلا ، ص-

$غ_{أ} = \sqrt{غ^{٢}_{سلك} + غ^{٢}_{خارجي}} = \sqrt{١٦ + ١٦} \times١٠^{-٥} = \sqrt{٣٢} \times١٠^{-٥} \approx ٥,٦٦\times١٠^{-٥}$ تسلا

$\theta = ظا^{-١}(\frac{غ_{سلك}}{غ_{خارجي}}) = ظا^{-١}(١) = ٤٥^{\circ}$

$ق_{غ} = ش ع غ\ جا\theta = ٢\times١٠^{-٦}\times١\times١٠^{٦}\times٥,٦٦\times١٠^{-٥}\times$ جا٩٠ $= ١١,٣٢\times١٠^{-٥}$ نيوتن

مثال (٥) : س و ص سلكان طويلان ومتوازيان لانهائيان ويقعان على المستوى نفسه كما هو موضح في الشكل إذا اعتبرت النقطة (د) هي نقطة انعدام المجال المغناطيسي احسب مقدار واتجاه التيار (ت٢) عبر السلك س :



الحل :

بما أن النقطة (د) وقعت خارج السلكين يكون التياران متعاكسان والتيار الأقل هو ت١ .

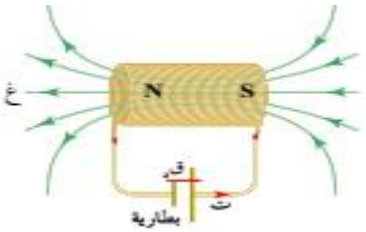
$\frac{ت_{١}}{ص} = \frac{ت_{٢}}{ف + ص}$

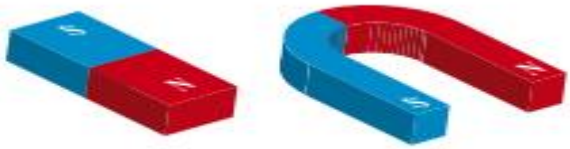
$\frac{٤}{٤} = \frac{ت_{٢}}{٦}$ ومنها ت٢ = ٦ أمبير

المواد المغناطيسية

* تستخدم المغانط في الكثير من التطبيقات العملية مثل المحركات والمولدات والطبقة التي تغطي الأقراص الممغنطة .

* من أشكال المغانط : المغناطيس المستقيم ، حدوة الفرس والمغناطيس الكهربائي .





* ينشأ المجال المغناطيسي من التركيب الذري للمواد ، حيث يتحرك الإلكترون حول النواة في حركة دائرية ، ويدور حول محوره أيضاً بحركة دورانية مما يولد تيار كهربائي الذي هو أهم مصادر المجال المغناطيسي . وفي الذرة الواحدة تكون قد تكون المجالات في صور أزواج متعاكسة فتكون محصلتها صفراً ، وقد تكون في اتجاه واحد فينشأ مجال مغناطيسي صغير دائم . ومحصلة المجالات هي التي تحدد خصائص المادة المغناطيسية وسلوكها عند وضعها في مجال خارجي .

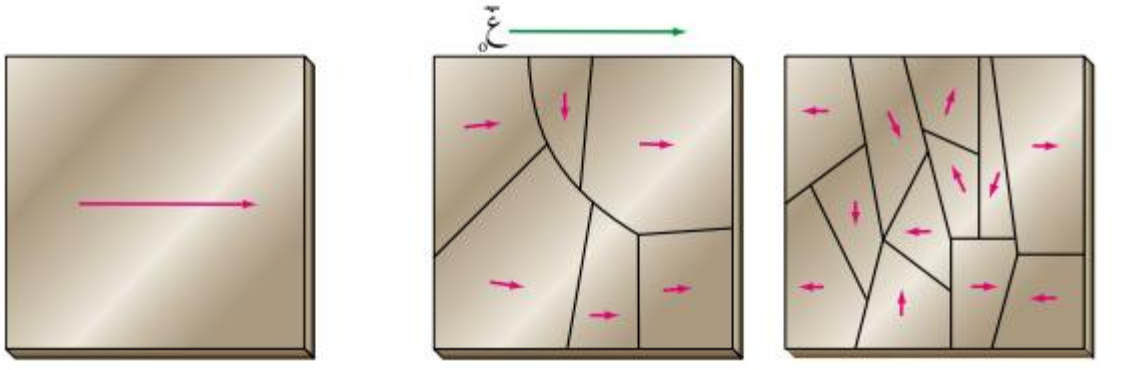
* تصنف المغانط إلى ثلاث أصناف رئيسية :

١) مواد دايا مغناطيسية : ليس لها أثر مغناطيسي ، وعند تعرضها لمجال مغناطيسي خارجي تكون استجابتها ضعيفة وتتمغنط بعكس اتجاه المجال المؤثر وتتنافر مع المغناطيس الدائم مثل البزموث والماء والفضة .

٢) مواد بارا مغناطيسية : تكون محصلة المجالات عليها صفراً ، وعند وضعها في مجال خارجي تترتب مغانطها بقدر محدود باتجاه المجال المؤثر ، وتبدي استجابة ضعيفة للمجال المؤثر ، مثل الألمنيوم والصوديوم والأكسجين السائل .

٣) مواد فرو مغناطيسية : تمتاز باحتوائها على مغانط ذرية تتفاعل مع بعضها بصورة قوية ، فتصطف وتترتب تلقائياً حتى بغياب المجال المغناطيسي الخارجي ، وتكون استجابتها للتمغنط كبيرة وباتجاه المجال الخارجي . مثل الحديد ، الكوبالت ، النيكل .

* المنطقة المغناطيسية : مجموعة من المغانط الذرية المرتبة باتجاه واحد ، وتحتوي على عدد من الذرات .



قطعة حديد غير ممغنطة. قطعة حديد تعرضت لمجال مغناطيسي. قطعة حديد أصبحت مغناطيسًا.

ورقة عمل

السؤال الأول : جد مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية مقدارها (-١×١٠^{-٦}) كولوم تتحرك بسرعة قدرها ($\sqrt{٢} \times ١٠^{٥}$) م/ث ، نحو الغرب في مجال مغناطيسي (١) تسلا يصنع زاوية (٤٥°) مع محور س+ .

الجواب : (٠,١ نيوتن ، نحو الخارج)

السؤال الثاني : سلك مستقيم طوله (٣٠) سم ، يمر به تيار كهربائي شدته (١٠) أمبير ، موضوع في مجال مغناطيسي شدته (٠,٠٦) تسلا ، احسب القوة المؤثرة على السلك إذا كان السلك :

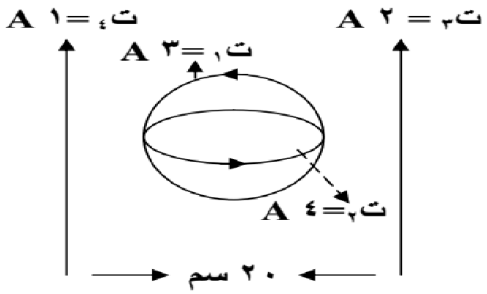
١) عمودياً على المجال المغناطيسي . ٢) يميل (٣٠) درجة عن المجال المغناطيسي . ٣) موازياً للمجال .

الجواب : (٠,١٨ نيوتن ، ٠,٠٩ ، صفر)

السؤال الثالث : يبين الشكل ملفين دائريين متحدين في المركز نصف قطر الأول يساوي نصف قطر الثاني (π) سم ، ومستواهما متعامدين فإذا وضع سلكين لا نهائيان بجانبهما بحيث يقع مركزهما في منتصف المسافة بين السلكين ، احسب :

١) مقدار المجال المغناطيسي في مركز الملفين .

٢) القوة المتبادلة بين السلكين بعد ازالة الملفين .

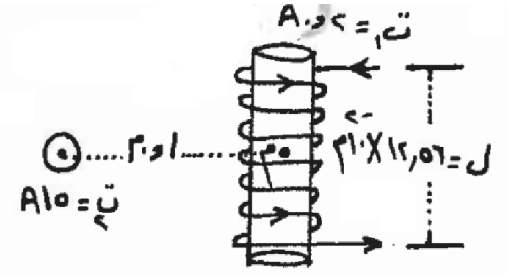


الجواب : (٦,٨×١٠$^{-٥}$ تسلا باتجاه الناظر ، ٠,٢×١٠$^{-٥}$ نيوتن/م)

السؤال الرابع : يمثل الشكل سلك لا نهائي الطول وملف لولبي عدد لفاته (٢٠) لفة معتمداً على الشكل وبياناته احسب :

١) مقدار المجال المغناطيسي المحصل عند النقطة (م) والتي تقع على محور الملف اللولبي .

٢) القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية مقدارها (٤×١٠$^{-٩}$) كولوم تتحرك بسرعة قدرها (١٠^{٧}) م/ث باتجاه الناظر لحظة مرورها بالنقطة (م) .

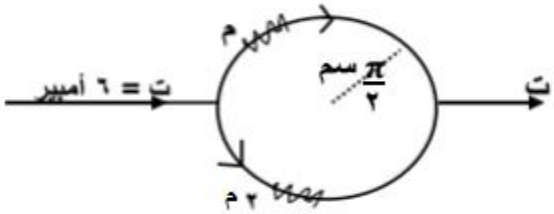


الجواب : (٧×١٠$^{-٥}$ تسلا باتجاه الأعلى (ص+) ، ٢٨×١٠$^{-٧}$ نيوتن لليسار (س-))

السؤال الخامس : من الشكل المجاور احسب :

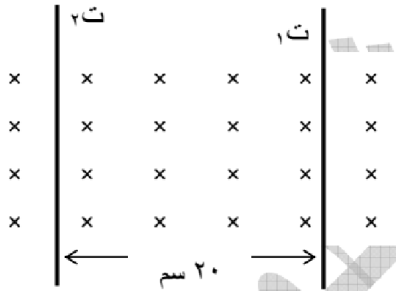
١) المجال المغناطيسي عند مركز الحلقة .

٢) القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية مقدارها (٣×١٠$^{-٦}$) كولوم تتحرك بسرعة (٤٠) م/ث نحو الشرق لحظة مرورها بمركز الحلقة . وحدد اتجاهها .



الجواب : (غ = ٤×١٠$^{-٥}$ تسلا نحو الداخل ، ق$_{غ}$ = ٤٨×١٠$^{-١٠}$ نيوتن ص+)

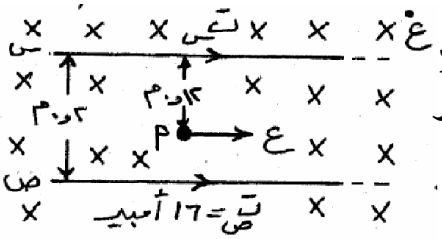
السؤال السادس : سلكان مستقيمان متوازيان لا نهائيان في الطول يحملان تيارين (ت١ ، ت٢) مغموران في مجال مغناطيسي (٤×١٠^-٥) تسلا كما في الشكل ، اتزن السلكان (بإهمال وزنيهما) عندما كان البعد بينهما (٢٠) سم :



١) احسب مقدا كل من التيارين (ت١ ، ت٢) .
٢) حدد اتجاه التيار في كل سلك .

الجواب : (ت١= ٤٠ أمبير ، ت٢= ٤٠ أمبير ، ت١ نحو الأعلى ، ت٢ نحو الأسفل)

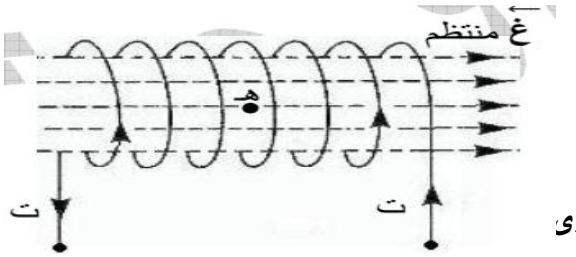
السؤال السابع : يمثل الشكل سلكين مستقيمين ومعزولين ومتوازيين لا نهائيين في الطول ، ومغمورين في مجال مغناطيسي منتظم قدره (٢×١٠^-٥) تسلا ويسري في كل منهما تيار ، فإذا علمت أن المجال المغناطيسي المؤثر في النقطة (أ) والناجم عن السلك (س) يساوي (٢×١٠^-٥) تسلا احسب :



١) المجال المغناطيسي عند النقطة (أ) .
٢) التيار الكهربائي المار في السلك (س) .
٣) القوة المغناطيسية المؤثرة على إلكترون يتحرك نحو الشرق بسرعة قدرها (١٠^٥) م/ث لحظة مروره عند النقطة (أ) .

الجواب : (غأ = صفر ، ت س = ١٢ أمبير ، قغ = صفر)

السؤال الثامن : ملف حلزوني مغمر كلياً في مجال مغناطيسي منتظم قدره (٩×١٠^-٣) تسلا باتجاه يوازي محور الملف كما في الشكل ، فإذا علمت أن عدد لفات الملف (٥٠) لفة وطوله (٠,١١) م ، ويسري فيه تيار (٧) أمبير ، احسب :



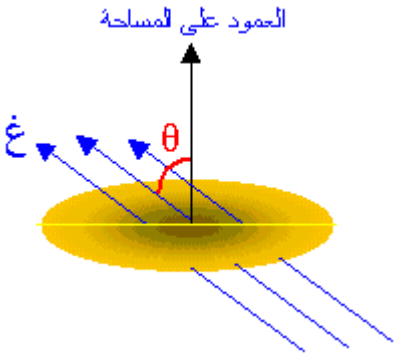
١) مقدار واتجاه المجال المغناطيسي المحصل في النقطة (هـ) الواقعة على محور الملف ومعتبراً ($\pi = ٧/٢٢$) .
٢) مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على إلكترون يتحرك في مستوى الورقة لحظة مروره بالنقطة (هـ) بسرعة (٥×١٠^٦) م/ث نحو الشمال .

الجواب : (غهـ = ٥×١٠^-٣ تسلا نحو س+ ، قغ = ٤×١٠^-١٥ نيوتن عمودي للخارج)

الفصل السادس / الحث الكهرومغناطيسي

يعرف التدفق المغناطيسي بأنه : عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق سطح ما باتجاه عمودي عليه .

ورياضياً يعطى التدفق المغناطيسي بالعلاقة :



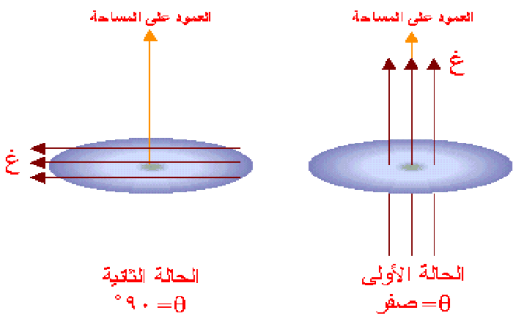
$$\phi = غ \, أ \, جتا\theta$$

حيث : ϕ : التدفق المغناطيسي ويقاس بوحدة تسلا .م^{٢} وتسمى ويبر .
غ : المجال المغناطيسي بوحدة (تسلا) .
أ : مساحة السطح بوحدة (م^{٢}) .
θ : الزاوية المحصورة بين اتجاه المجال المغناطيسي (غ) والعمودي على السطح (متجه المساحة) .

سؤال : وضح المقصود بالويبر .
جواب : التدفق المغناطيسي عبر وحدة المساحة من سطح ما عندما يخترقه عمودياً مجال مغناطيسي مقداره (١) تسلا .

سؤال : يمكننا تغيير التدفق المغناطيسي بثلاث طرق . اذكرها ؟
جواب : ١) تغيير المجال المغناطيسي الذي يخترق الملف Δ غ .
٢) تغيير مساحة الملف الذي يخترقه المجال Δ أ .
٣) تغيير الزاوية بين المجال المغناطيسي ومستوى الملف Δجتاθ .

ومما سبق نلاحظ أنه :



١) يكون التدفق المغناطيسي أكبر ما يمكن عندما يكون السطح عمودياً على خطوط المجال المغناطيسي . (θ = صفر)

٢) يكون التدفق المغناطيسي أقل ما يمكن عندما يكون السطح موازياً لخطوط المجال المغناطيسي . (θ = ٩٠°)

ومما سبق نستنتج أن التدفق المغناطيسي يتغير بتغير عوامله ، حيث :

١) عند تغير المجال المغناطيسي يكون $\Delta\phi$ = أ× Δغ× جتاθ ، مثلاً :

أ) إذا انعدم المجال (أو دار الملف إلى وضع يوازي فيه خطوط المجال) نعتبر غ$_{٢}$ = صفر وعليه $\phi_{٢}$ = صفر .
ب) إذا انعكس اتجاه المجال المغناطيسي نعتبر غ$_{٢}$ = - غ$_{١}$ وعليه $\phi_{٢}$ = - $\phi_{١}$.

٢) عند تغير مساحة الملف $\Delta\phi$ = غ× Δأ× جتاθ .

٣) عند تغيير الزاوية بين المجال المغناطيسي والملف $\Delta\phi$ = غ× أ× Δجتاθ .

مثال (١) : وضع ملف طوله (١٠) سم وعرضه (٢٠) سم في مجال مغناطيسي شدته (٠,٥) تسلا احسب التدفق المغناطيسي في الحالات التالية :

١) إذا كان السطح موازياً للمجال المغناطيسي . **٢) إذا كان السطح عمودي على المجال المغناطيسي .**

الحل :

أ = الطول × العرض = ١٠×٢٠ = ٢×١٠$^{-٢}$ م^{٢}

١) ϕ = غ أ جتا٩٠ = صفر

٢) ϕ = غ أ جتا٠ = ٠,٥×٢×١٠$^{-٢}$×١

= ١×١٠$^{-٢}$ ويبر

مثال (٢) : إذا كانت شدة المجال المغناطيسي التي تخترق ملف على هيئة حلقة نصف قطرها (١٠) سم يساوي (٤) تسلا والزاوية بين المجال ومستوى الحلقة (٣٠°) احسب مقدار التدفق المغناطيسي الذي يعبر هذه الحلقة .

الحل :

أ = π نق^{٢} = ٣,١٤×١٠٠×١٠$^{-٤}$

= ٣١٤×١٠$^{-٤}$ م^{٢}

ϕ = غ أ جتا٦٠ = ٤ × ٣١٤×١٠$^{-٤}$ × ٠,٥ = ٦٢٨×١٠$^{-٤}$ ويبر

مثال (٣) : وضع ملف طوله (٨) سم وعرضه (١٠) سم في مجال مغناطيسي عمودي عليه شدته (٠,٥) تسلا احسب التغير في التدفق المغناطيسي في الحالات التالية :

١) اصبح طول الموصل (١٠) سم . **٢) انعدم المجال المغناطيسي .**

الحل :

أ = الطول × العرض = ٨×١٠ = ٨٠ سم^{٢} = ٨٠ ×١٠$^{-٤}$ م^{٢}

١) أ$_{٢}$ = ١٠×١٠ = ١٠٠×١٠$^{-٤}$ م^{٢}

$\phi_{١}$ = غ أ$_{١}$ جتا٠ = ٠,٥ ×٨٠×١٠$^{-٤}$×١ = ٤٠×١٠$^{-٤}$ ويبر

$\phi_{٢}$ = غ أ$_{٢}$ جتا٠ = ٠,٥ ×١٠٠×١٠$^{-٤}$×١ = ٥٠×١٠$^{-٤}$ ويبر

$\Delta \phi = \phi_{٢} - \phi_{١}$ = ٥٠×١٠$^{-٤}$ - ٤٠×١٠$^{-٤}$ = ١٠×١٠$^{-٤}$ ويبر

حل بطريقة أخرى $\Delta\phi$ = غ Δأ جتا θ= ٠,٥ × (١٠٠- ٨٠) ×١٠$^{-٤}$ ×جتا٠ = ١٠×١٠$^{-٤}$ ويبر

٢) $\phi_{٢}$ = غ أ جتا٠= صفر

$\Delta \phi = \phi_{٢} - \phi_{١}$ = ٠ - ٤٠×١٠$^{-٤}$ = - ٤٠×١٠$^{-٤}$ ويبر

حل بطريقة أخرى $\Delta\phi$ = أ Δغ جتا θ= ٨٠×١٠$^{-٤}$ × (٠ - ٠,٥) × جتا٠ = - ٤٠×١٠$^{-٤}$ ويبر

قانون فارادي في الحث

وينص قانون فارادي على أن " القوة الدافعة الكهربائية الحثية تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في التدفق المغناطيسي في الدارة الكهربائية "

ورياضياً :

$$ق_{حـ} = - ن \frac{\Delta \Phi}{\Delta ز}$$

حيث :

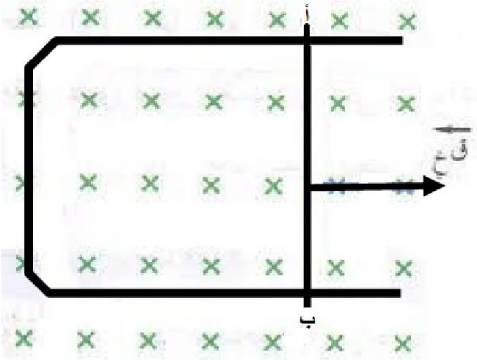
- **$ق_{حـ}$: القوة الدافعة الحثية المتولدة في دارة (أو ملف) بالفولت .**
- **ن : عدد لفات الملف .**
- **$\Delta \Phi$: مقدار التغير في التدفق المغناطيسي بالويبر .**
- **$\Delta ز$: مقدار التغير في الزمن بالثانية .**
- **$\frac{\Delta \Phi}{\Delta ز}$: معدل التغير في التدفق المغناطيسي بالنسبة للزمن (المعدل الزمني للتغير في التدفق) ووحدته ويبر/ث .**

وعليه تعرف ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي بأنها : ظاهرة تولد تيار كهربائي حثي في موصل عند تغيير التدفق المغناطيسي خلاله .

التيار الحثي : هو التيار المتولد في موصل أو دارة ما نتيجة تغيرالتدفق المغناطيسي فيها .

سؤال : على ماذا تدل الاشارة السالبة في قانون فارادي ؟
جواب : أي أن القوة الدافعة الحثية تتولد لتقاوم التغير في التدفق المغناطيسي الذي كان سبباً في توليدها .

سؤال : حدد اتجاه التيار الحثي عند تحريك الموصل أب نحو اليمين . مع التعليل ؟
جواب :



عند تحريك الموصل أب نحو اليمين فإن كل شحنة في الموصل تتأثر بقوة مغناطيسية بحيث يكون إتجاهها نحو الأعلى بتطبيق قاعدة اليد اليمنى مما يؤدي الى تركيز الشحنات الموجبة عند (أ) والسالبة عند (ب) فيتولد مجال كهربائي من (أ إلى ب) وتستمر الشحنات بالتجمع عند الأطراف حتى تتزن القوتين الكهربائية للأسفل والمغناطيسية للأعلى حيث :

$$ق_{كهربائية} = ق_{مغناطيسية}$$

مما يولد فرق جهد كهربائي بين أ و ب يُعرف بالقوة الدافعة الحثية فينشأ منها تيار حثي من (ب ← أ) .

وتعطى القوة الدافعة الحثية المتولدة في موصل مستقيم رياضياً بالعلاقة :

$$ق_د = ل \, ع \, غ$$

* وعليه إذا كان الموصل (ل) جزءاً من مسار مغلق يتصل بمقاومة كهربائية ، فإن القوة الدافعة الحثية تصبح مصدراً للطاقة الكهربائية فيمر تيار حثي بالدارة ، يحسب من العلاقة :

$$ت = \frac{ق_د}{م} = \frac{ل \, ع \, غ}{م}$$

سؤال : ما العوامل التي تعتمد عليها القوة الدافعة الحثية المتولدة بين طرفي موصل مستقيم يتحرك في مجال مغناطيسي ؟
جواب :
١) طول الموصل (ل) .
٢) سرعة الموصل (ع) .
٣) المجال المغناطيسي (غ) .

سؤال (علل) : أثناء سحب الموصل بسرعة ثابتة بإتجاه عمودي على خطوط المجال المغناطيسي تتوقف حركة الشحنات الحرة داخل الموصل بإتجاه طرفيه بعد فترة ؟

جواب : بعد سحب الموصل تتأثر الالكترونات بقوة مغناطيسية فتتجمع في طرف ويصبح الطرف المقابل موجباً فتنشأ قوة كهربائية تعاكس القوة المغناطيسية ومع استمرار حركة الموصل تزداد القوة الكهربائية حتى تصبح مساوية للقوة المغناطيسية فتصبح الشحنات الحرة داخل الموصل في حالة اتزان فتتوقف عن الحركة .

مثال (١) : يؤثر مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٢) تسلا عمودياً في مستوى لفات ملف لولبي عدد لفاته (٥٠٠) لفة ومساحة اللفة الواحدة (٠,٠١) م^{٢} ، إحسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتوسطة عندما :

١) ينعدم المجال المغناطيسي أثناء فترة زمنية (٠,١) ث .

٢) ينعكس إتجاه المجال المغناطيسي في أثناء فترة زمنية (٠,١) ث .

الحل :

١) $\Delta\phi$ = أ Δ غ جتاθ = ٠,٠١ × (٠ - ٠,٢) × جتا٠ = - ٠,٠٠٢ ويبر

$$\text{ق}_{\text{د}} = - \text{ن} \frac{\Delta\phi}{\Delta\text{ز}} = - \frac{٥٠٠ \times - ٠,٠٠٢}{٠,١} = ١٠ \text{ فولت}$$

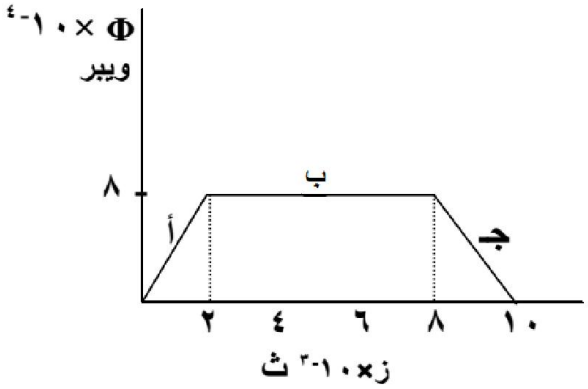
٢) $\Delta\phi$ = أ Δ غ جتاθ = ٠,٠١ × (-٠,٢ - ٠,٢) × جتا٠ = - ٠,٠٠٤ ويبر

$$\text{ق}_{\text{د}} = - \text{ن} \frac{\Delta\phi}{\Delta\text{ز}} = - \frac{٥٠٠ \times - ٠,٠٠٤}{٠,١} = ٢٠ \text{ فولت}$$

مثال (٢) : يتغير التدفق المغناطيسي خلال ملف عدد لفاته (١٠٠٠) لفة حسب المنحنى البياني الموضح في الشكل مستعيناً بالرسم :

١) احسب القوة الدافعة الحثية المتوسطة في كل مرحلة من مراحل تغير التدفق أ ، ب ، جـ .

٢) ارسم خطاً بيانياً يوضح العلاقة بين القوة الدافعة الحثية والزمن .



الحل :

١) المرحلة أ :

$$\text{ق}_{\text{د}} = - \text{ن} \frac{\Delta\phi}{\Delta\text{ز}} = - \frac{١٠٠٠ \times (٨ - ٠) \times ١٠^{-٤}}{(٢ - ٠) \times ١٠^{-٣}}$$

= - ٤٠٠ فولت

المرحلة ب :

$$\text{ق}_{\text{د}} = - \text{ن} \frac{\Delta\phi}{\Delta\text{ز}} = - \frac{١٠٠٠ \times (٨ - ٨) \times ١٠^{-٤}}{(٨ - ٢) \times ١٠^{-٣}} = ٠$$

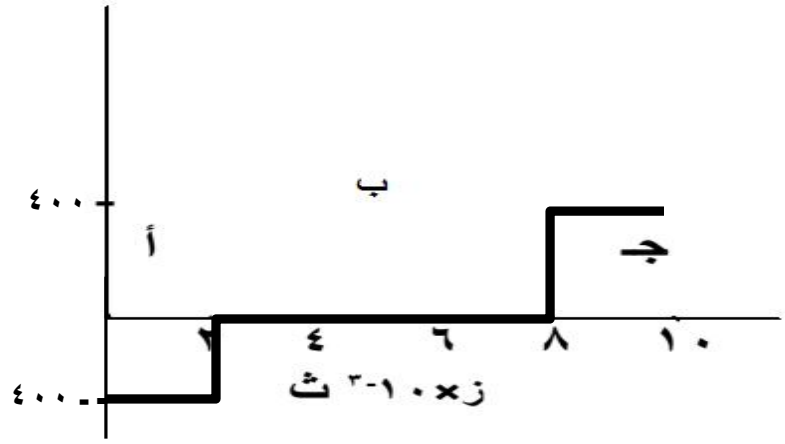
المرحلة جـ :

$$\text{ق}_{\text{د}} = - \text{ن} \frac{\Delta\phi}{\Delta\text{ز}} = - \frac{١٠٠٠ \times (٠ - ٨) \times ١٠^{-٤}}{(١٠ - ٨) \times ١٠^{-٣}}$$

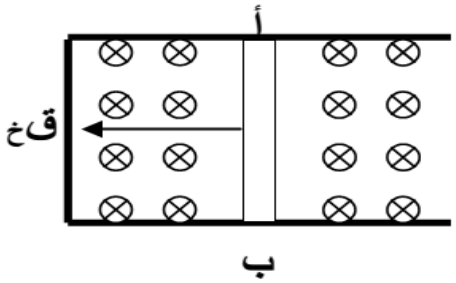
= ٤٠٠ فولت

٢)

ق$_{\text{د}}$ فولت



مثال (٣) : في الشكل المجاور موصل طوله (١٥٠) سم يتحرك بسرعة (١٠) م/ث تحت تأثير مجال مغناطيسي شدته (٠,٢) تسلا احسب :



١) مقدار القوة الدافعة الحثية .
٢) اتجاه التيار الحثي في الموصل (أب) .
٣) إذا كانت مقاومة الحلقة (٢) أوم احسب شدة التيار المار فيها .
٤) حدد مواقع القطبين .
٥) ماذا يحدث للتدفق المغناطيسي في الدارة .
(ملاحظة لحساب التيار الحثي نستخدم العلاقة ت حثي = $\frac{ق_د}{م}$)

الحل :
١) $ق_د$ = ل ع غ = ١,٥ × ١٠ × ٠,٢ = ٣ فولت
٢) من أ إلى ب عبر الموصل .
٣) ت = $\frac{ق_د}{م}$ = $\frac{٣}{٢}$ = ١,٥ أمبير
٤) أ : سالب ، ب موجب
٥) التدفق يقل .

مثال (٤) : ملف عدد لفاته (١٠٠) لفة ومساحته (٢٠) سم^{٢} ، يتعرض لمجال شدته (٠,٢) تسلا عمودي على الملف احسب القوة الدافعة الحثية في الحالات التالية :
١) إذا زادت المساحة بمقدار (١٠) سم^{٢} في زمن قدره (٠,١) ث .
٢) إذا نقصت المساحة بمقدار (١٠) سم^{٢} في زمن قدره (٠,١) ث .
٣) إذا اصبحت المساحة (٥٠) سم^{٢} في زمن قدره (٠,١) ث .

الحل :
١) $\Delta\phi$ = غ Δأ جتاθ = ٠,٢ × ١٠×١٠$^{-٤}$ × جتا٠ = ٢×١٠$^{-٤}$ ويبر
$ق_د$ = - ن $\frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ = $\frac{-١٠٠ \times ٢\times١٠^{-٤}}{٠,١}$ = -٠,٢ فولت
٢) $\Delta\phi$ = غ Δأ جتاθ = ٠,٢ × -١٠×١٠$^{-٤}$ × جتا٠ = -٢×١٠$^{-٤}$ ويبر
$ق_د$ = - ن $\frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ = $\frac{-١٠٠ \times -٢\times١٠^{-٤}}{٠,١}$ = ٠,٢ فولت
٣) $\Delta\phi$ = غ Δأ جتاθ = ٠,٢ × (٥٠ - ٢٠)×١٠$^{-٤}$ × جتا٠ = ٦×١٠$^{-٤}$ ويبر
$ق_د$ = - ن $\frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ = $\frac{-١٠٠ \times ٦\times١٠^{-٤}}{٠,١}$ = -٠,٦ فولت

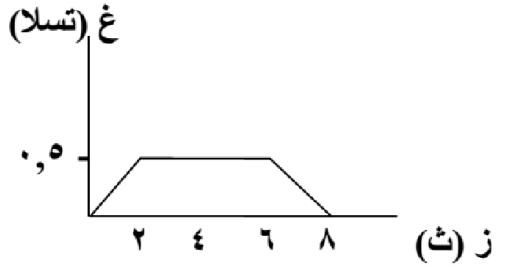
مثال (٥) : حلقة مربع طول ضلعها (٠,٢) م وضعت في مجال مغناطيسي عمودي على سطحها فتولدت قوة دافعة حثية قدرها (١٨×١٠$^{-٣}$) فولت عند تناقص مساحة الحلقة بمعدل (٠,٣) م^{٢}/ث ، احسب مقدار المجال المغناطيسي المؤثر .

الحل :
$ق_د$ = - ن $\frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ ⟸ ١٨×١٠$^{-٣}$ = - ١ $\frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ ⟸ $\frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ = -١٨×١٠$^{-٣}$ ويبر/ث

$\frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ = غ $\frac{\Delta أ}{\Delta ز}$ جتاθ ⟸ -١٨×١٠$^{-٣}$ = غ × -٠,٣ ⟸ غ = ٦×١٠$^{-٢}$ تسلا

مثال (٦) : ملف يتكون من لفة واحدة نصف قطرها (٧) سم ، يتغير فيها المجال المغناطيسي حسب الشكل احسب متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف في الفترات التالية :

١) من ز = صفر ث إلى ز = ٢ ث .
٢) من ز = ٢ ث إلى ز = ٦ ث .
٣) من ز = ٦ ث إلى ز = ٨ ث .



الحل :

$$أ = \pi \text{ نق}^{٢} = \frac{٢٢}{٧} \times ٤٩ \times ١٠^{-٤} = ١٥٤ \times ١٠^{-٤} \text{ م}^{٢}$$

$$١) \text{ ق}_{د} = - \text{ ن أ} \frac{\Delta \text{ غ}}{\Delta \text{ ز}} \text{ جتا}\theta = -١ \times ١٥٤ \times ١٠^{-٤} \times \frac{(٠,٥ - ٠)}{٢ - ٠} \times ١$$

$$= -٣٨,٥ \times ١٠^{-٤} \text{ فولت}$$

٢) ق$_{د}$ = صفر لأن Δغ = صفر

$$٣) \text{ ق}_{د} = - \text{ ن أ} \frac{\Delta \text{ غ}}{\Delta \text{ ز}} \text{ جتا}\theta = -١ \times ١٥٤ \times ١٠^{-٤} \times \frac{(٠ - ٠,٥)}{٢ - ٠} \times ١ = ٣٨,٥ \times ١٠^{-٤} \text{ فولت}$$

مثال (٧) : ملف مستطيل ابعاده (١٠) سم ، (٢٠) سم ، وعدد لفاته (١٠٠٠) لفة وضع بشكل يعامد مجال مغناطيسي شدته (٣) تسلا فإذا عكس اتجاه المجال في زمن قدره (٠,٥) ث ، احسب متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف .

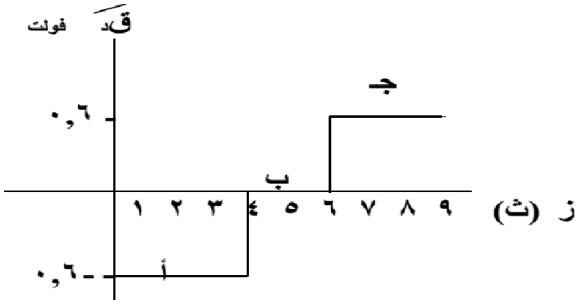
الحل :

$$أ = \text{الطول} \times \text{العرض} = ١٠ \times ٢٠ = ٢ \times ١٠^{-٢} \text{ م}^{٢}$$

$$\text{ق}_{د} = - \text{ ن أ} \frac{\Delta \text{ غ}}{\Delta \text{ ز}} \text{ جتا}\theta = - ١٠٠٠ \times ٢ \times ١٠^{-٢} \times \frac{(-٣ - ٣)}{٠,٥} \times ١ = ٢٤٠ \text{ فولت}$$

مثال (٨) : يبين الشكل المجاور العلاقة بين القوة الدافعة الحثية العكسية والزمن لملف عدد لفاته (١٠٠٠) لفة جد :

١) التغير في التدفق المغناطيسي في كل مرحلة من المراحل أ ، ب ، جـ .
٢) ارسم خطاً بيانياً يمثل العلاقة بين التدفق المغناطيسي والزمن .



الحل :

١) المرحلة أ :

$$\text{ق}_{د} = - \text{ ن} \frac{\Delta \phi}{\Delta \text{ ز}} \Leftarrow \quad - ٠,٦ = - ١٠٠٠ \times \frac{\Delta \phi}{٤}$$

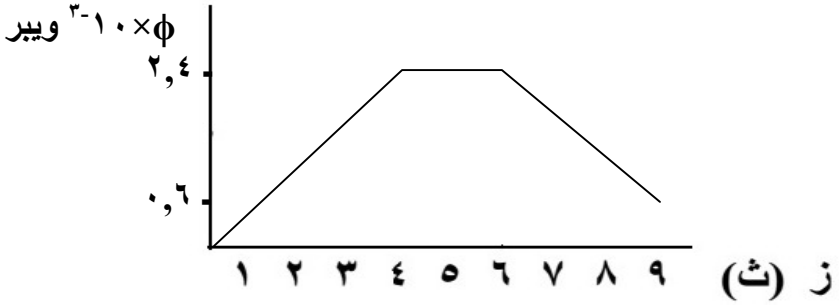
$$\Delta \phi = ٢,٤ \times ١٠^{-٣} \text{ ويبر}$$

المرحلة ب : $\Delta\phi$ = صفر لأن ق$_{د}$ = صفر

المرحلة جـ :

$$\text{ق}_{د} = - \text{ ن} \frac{\Delta \phi}{\Delta \text{ ز}} \Leftarrow \quad ٠,٦ = - ١٠٠٠ \times \frac{\Delta \phi}{٣} \Leftarrow \quad \Delta \phi = - ١,٨ \times ١٠^{-٣} \text{ ويبر}$$

٢)



مثال (٩) : أثبت أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في موصل مستقيم تعطى بالعلاقة قَـ = - ل ع غ .

الحل :

$ش_{ق_خ} = ق_خ \Delta س$

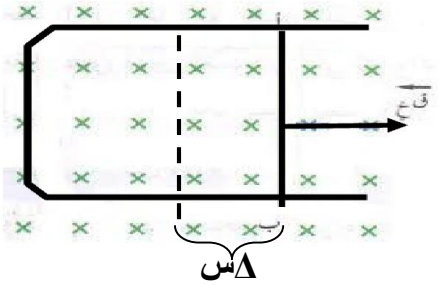
$ق_{ـَ} ت \Delta ز = ت ل غ \Delta س$

$ق_{ـَ} = ل ع غ$

$ع = \frac{\Delta س}{\Delta ز}$

مثال (١٠) : أثبت أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في ملف تتولد عند تغير التدفق المغناطيسي .

الحل :



عرفت بأن التغير في التدفق يولد تياراً حثياً ، فإذا تحرك الموصل (أ ب) بسرعة ثابتة (ع) في مجال مغناطيسي (غ) تحت تأثير قوة خارجية ق كما هو مبين في الشكل ، فإن حركة هذا الموصل سوف تؤدي إلى توليد تيار حثي عبر الموصل ، ومر معك سابقاً بأن الموصل الذي يحمل تياراً وموضوع في مجال مغناطيسي يتأثر بقوى مغناطيسية تعطى بالعلاقة :

$ق_غ = ت ل غ جا\theta$

وحتى يتحرك الموصل (أ ب) إلى اليمين بسرعة ثابتة لا بد أن تكون ($ق_غ$) معاكسة للقوة الخارجية ($ق_خ$) ومساوية لها بالمقدار . وباستخدام قاعدة كف اليد اليمنى نلاحظ بأن (ت) عبر الموصل من (ب ← أ) (عكس عقارب الساعة)

$ق_خ = - ق_غ = - ت ل غ جا\theta$

شغل القوة الخارجية لتحريك الموصل ازاحة قدرها (Δس) هو :

$ش_{ق_خ} = ق_خ \Delta س$

$= - ت ل غ \Delta س$

$= - ت غ \Delta أ = - ت \Delta \phi$

وهذا الشغل يظهر على شكل طاقة كهربائية ($ط_ك$) حيث :

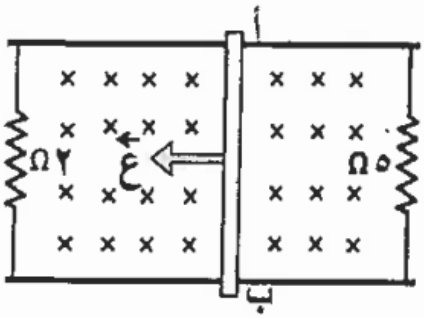
$ط_ك = ش_{ق_خ}$

$ق_{ـَ} ت \Delta ز = - ت \Delta \phi$ وعليه تكون $ق_{ـَ} = - \frac{\Delta \phi}{\Delta ز}$

مثال (١١) : أثرت قوة على موصل (أ ب) طوله (٢٠) سم ينزلق على موصلين متوازيين فحركته بسرعة ثابتة (٨) م/ث باتجاه عمودي على مجال مغناطيسي منتظم (٢,٥) تسلا ، كما في الشكل . احسب :

١) التيار الحثي المتولد في المقاومتين (٥) Ω، (٢) Ω .

٢) مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في الموصل أ ب .



الحل :

١) $ق_{ـَ} = - ل غ ع جا\theta = -٠,٢ \times ٢,٥ \times ٨ \times ١ = - ٤$ فولت

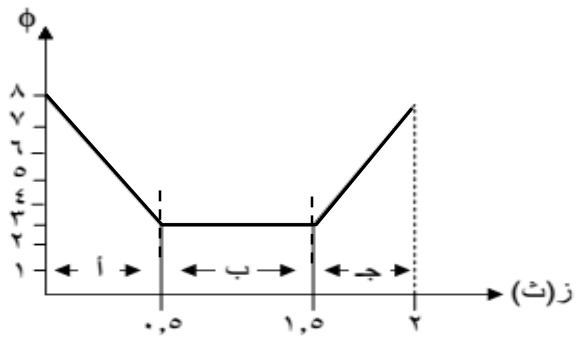
$ت_١ = \frac{ق_{ـَ}}{م_١} = \frac{٤}{٥} = ٠,٨$ أمبير

$ت_٢ = \frac{٤}{٢} = ٢$ أمبير

٢) ت = $ت_١ + ت_٢ = ٠,٨ + ٢ = ٢,٨$ أمبير

$ق_غ = ت ل غ جا\theta = ٢,٨ \times ٠,٢ \times ٢,٥ = ١,٤$ نيوتن ، نحو اليمين (س+)

مثال (١٢) : يمثل الشكل العلاقة بين التدفق المغناطيسي بالويبر والزمن بالثانية لملف عدد لفاته (٢٠٠) لفة ومقاومته (٥) Ω يشكل دارة مقفلة ، أجب عما يلي :



١) احسب القوة الدافعة الحثية في المراحل الثلاث أ ، ب ، جـ .
٢) احسب مقدار التيار الحثي المتولد في الفترة (جـ) .
٣) ارسم العلاقة بين القوة الدافعة الحثية والزمن للمراحل كافة .

الحل :

١) المرحلة أ :

$$ق_د = - ن \frac{\Delta \phi}{\Delta ز} = - \frac{٢٠٠ \times (٣ - ٨)}{٠,٥} = ٢ \times ١٠^{٣}$$ فولت

المرحلة ب :

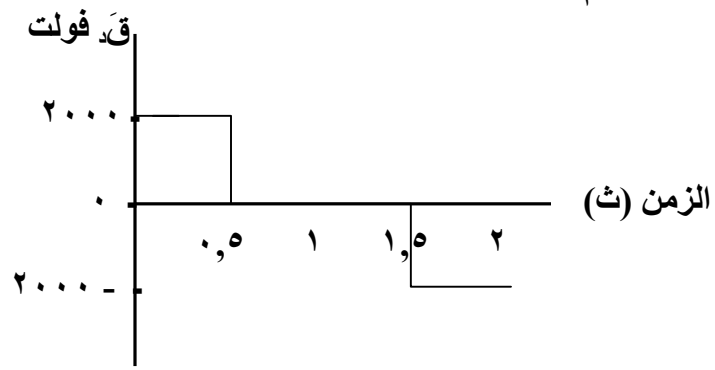
$$ق_د = - ن \frac{\Delta \phi}{\Delta ز} = - \frac{٢٠٠ \times (٣ - ٣)}{١} =$$ صفر فولت

المرحلة جـ :

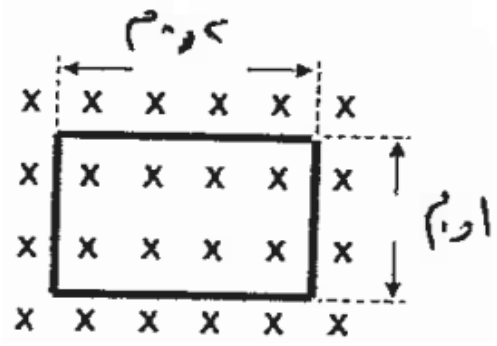
$$ق_د = - ن \frac{\Delta \phi}{\Delta ز} = - \frac{٢٠٠ \times (٨ - ٣)}{٠,٥} = - ٢ \times ١٠^{٣}$$ فولت

٢) $ت_{حثي} = \frac{ق_د}{م} = \frac{٢ \times ١٠^{٣}}{٥} =$ ٤٠٠ أمبير

٣)



مثال (١٣) : ملف مستطيل عدد لفاته (١٠٠) لفة ، موضوع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٢) تسلا ، عمودياً على مستواه كما في الشكل المجاور ، احسب القوة الدافعة الحثية المتوسطة المتولدة في الملف عندما يدور ربع دورة بحيث يصبح مستواه موازياً لخطوط المجال في زمن (٠,٢) ثانية .



الحل :

عند دورانه ربع دوره ينعدم التدفق المغناطيسي

$ϕ_٢ =$ صفر

$ϕ_١ = غ \, أ \, جتا θ = ٠,٢ \times ٠,١ \times ١ = ٤ \times ١٠^{-٣}$ ويبر

$$ق_د = - ن \frac{\Delta \phi}{\Delta ز} = - \frac{١٠٠ \times (٠ - ٤ \times ١٠^{-٣})}{٠,٢} =$$ ٢ فولت

قانون (قاعدة) لنز

وينص قانون لنز على أن " القوة الدافعة الكهربائية الحثية تنشأ لتقاوم التغير في التدفق المغناطيسي الذي كان سبباً في توليدها "

وتكمن أهمية قانون لنز في تحديد اتجاه التيار الحثي .

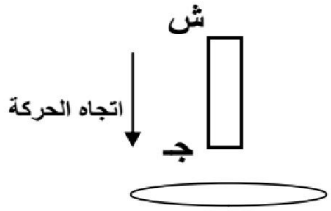
ملاحظة: لتحديد إتجاه التيار الحثي نستخدم قاعدة قبضة اليد اليمنى بجعل الابهام يشير الى إتجاه القطب الشمالي وتشير الأصابع الى إتجاه التيار الحثي

ملاحظات :

١) اذا كانت $\Delta\phi$ موجبة تكون ق.ِ سالبة تولد تياراً حثياً ينشأ عنه مجالاً مغناطيسياً (معاكس للمجال الاصلي) يعمل على انقاص التدفق .

٢) اذا كانت $\Delta\phi$ سالبة تكون ق.ِ موجبة تولد تياراً حثياً ينشأ عنه مجالاً مغناطيسياً (بنفس اتجاه المجال الأصلي) يعمل على زيادة التدفق .

مثال (١) : من الشكل المجاور حدد اتجاه التيار الحثي في الحلقة . مع التعليل ؟



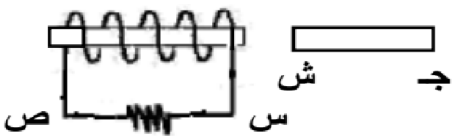
الحل :

يحدث زيادة في التدفق المغناطيسي (زيادة عدد خطوط المجال) عبر الحلقة فيتولد مجال مغناطيسي يعاكس المجال الأصلي فيصبح الطرف القريب جنوبي وحسب قاعدة قبضة اليد اليمنى يتولد تيار حثي باتجاه عقارب الساعة .

مثال (٢) : في الشكل حدد اتجاه التيار الحثي مع التعليل في المقاومة (س ص) في الحالات التالية :

١) عند تقريب المغناطيس .

٢) عند إبعاد المغناطيس .



الحل :

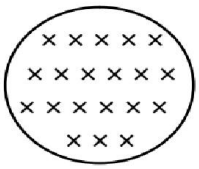
١) يحدث زيادة في التدفق المغناطيسي فيتولد مجال مغناطيسي يعاكس المجال الأصلي فيصبح الطرف القريب شمالي وحسب قاعدة قبضة اليد اليمنى يتولد تيار حثي من س إلى ص عبر المقاومة .

٢) يحدث نقص في التدفق المغناطيسي فيتولد مجال مغناطيسي باتجاه المجال الأصلي فيصبح الطرف القريب جنوبي وحسب قاعدة قبضة اليد اليمنى يتولد تيار حثي باتجاه من ص إلى س عبر المقاومة .

مثال (٣) : في الملف المجاور حدد اتجاه التيار الحثي المار في الحلقة في الحالتين مع التفسير :

١) عند زيادة المجال المغناطيسي في الملف .

٢) عند نقصان المجال المغناطيسي في الملف .

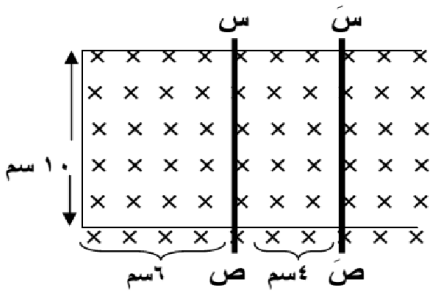


الحل :

١) يحدث زيادة في التدفق المغناطيسي فيتولد مجال مغناطيسي يعاكس المجال الأصلي وحسب قاعدة قبضة اليد اليمنى يتولد تيار حثي عكس عقارب الساعة .

٢) يحدث نقص في التدفق المغناطيسي فيتولد مجال مغناطيسي باتجاه المجال الأصلي وحسب قاعدة قبضة اليد اليمنى يتولد تيار حثي مع عقارب الساعة .

مثال (٤) : انزلق سلك (س ص) إلى الوضع (سَ صَ) كما في الشكل المجاور خلال (٠,١) ثانية في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٢) تسلا مستعيناً بالأبعاد الموجودة على الرسم ، احسب :



١) التغير في التدفق المغناطيسي الناتج عن الحركة .
٢) القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتوسطة المتولدة في السلك اثناء الحركة .
٣) حدد اتجاه التيار الحثي المتولد في السلك (س ص) أثناء الحركة .

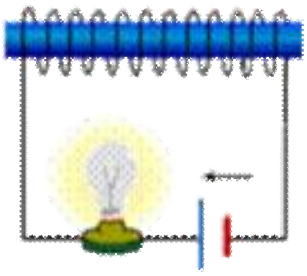
الحل :

١) Δ أ = ٤ × ١٠ = ٤٠ سم^{٢}
$\Delta\phi = غ \Delta أ$ جتاθ = ٠,٢ × ٤٠×١٠$^{-٤}$ × جتا٠ = ٨×١٠$^{-٤}$ ويبر

٢) ق$_{د}$ = - ن $\frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ = - $\frac{١ \times ٨ \times ١٠^{-٤}}{٠,١}$ = - ٨٠×١٠$^{-٤}$ فولت

٣) من ص إلى س عبر السلك .

مثال (٥) : بين ماذا يحدث لإضاءة المصباح في الحالات التالية :



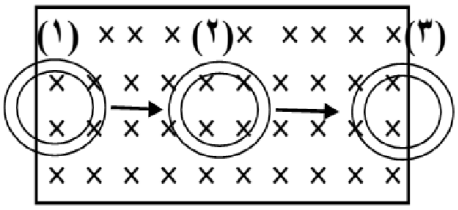
١) تقريب المغناطيس من الملف .
٢) ابعاد المغناطيس عن الملف .

الحل :

١) يحدث زيادة في التدفق المغناطيسي فيتولد مجال مغناطيسي يعاكس المجال الأصلي فيتولد تيار حثي باتجاه عقارب الساعة أي مع التيار الأصلي فتزداد اضاءة المصباح .

٢) يحدث نقص في التدفق المغناطيسي فيتولد مجال مغناطيسي باتجاه المجال الأصلي فيتولد تيار حثي باتجاه عكس عقارب الساعة أي عكس التيار الأصلي فتقل اضاءة المصباح .

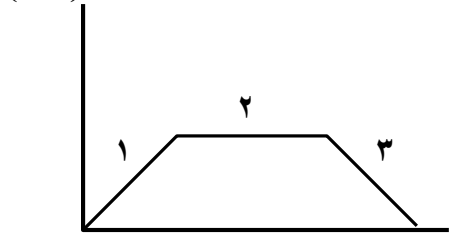
مثال (٦) : حدد اتجاه التيار الحثي في الملف مع التعليل في الحالات التالية :



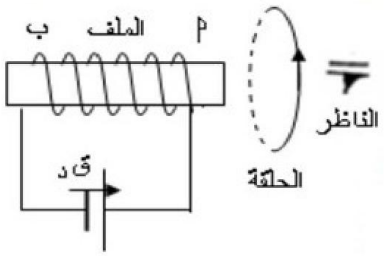
١) عند دخول الحلقة في المجال ـ الشكل (١) ـ .
٢) عند بقاء الحلقة في المجال ـ الشكل (٢) ـ .
٣) عند خروج الحلقة من المجال – الشكل (٣) ـ .
٤) ارسم العلاقة البيانية بين التدفق المغناطيسي والزمن في المراحل الثلاث .

الحل :

١) يحدث زيادة في التدفق المغناطيسي فيتولد مجال مغناطيسي يعاكس المجال الاصلي فيتولد تيار حثي باتجاه عكس عقارب الساعة .
٢) لا يتولد تيار حثي ، لأن التدفق ثابت لم يتغير .
٣) يحدث نقص في التدفق المغناطيسي فيتولد مجال مغناطيسي باتجاه المجال الأصلي فيتولد تيار حثي باتجاه عكس عقارب الساعة أي عكس التيار الأصلي فتقل اضاءة المصباح .
٤)



مثال (٧) : حركت الحلقة في الشكل فتولد تيار حثي باتجاه عقارب الساعة بالنسبة للناظر ، ما الاتجاه الذي حركت به الحلقة بالنسبة للملف ، مفسراً اجابتك .



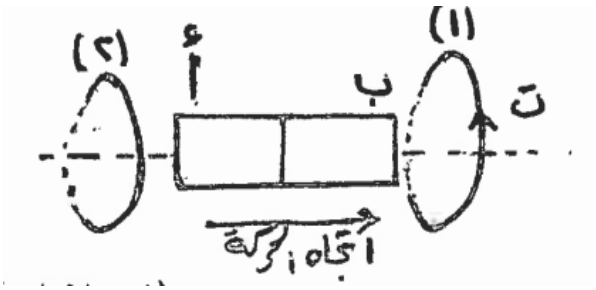
الحل :

نحدد أولاً اتجاه التيار المار في الملف ، ونجد أن الطرف الأيمن للملف قطب جنوبي والطرف الأيسر قطب شمالي ، واتجاه المجال في الحلقة بنفس اتجاه مجال الملف حسب قاعدة اليد اليمنى ، وهذا يعني أن التدفق المغناطيسي قد نقص في الحلقة ، أي أن الحلقة ابعدت عن الملف .

مثال (٨) : يبين الشكل المجاور مغناطيس (أب) يتحرك نحو اليمين بين حلقتين فلزيتين (١) ، (٢) متوازيتين وعلى الخط الواصل بين مركزيهما ، اعتمادَ على اتجاه التيار الكهربائي الحثي المتولد في الحلقة (١) ، أجب عما يأتي :

١) حدد الأقطاب للمغناطيس (أ ، ب) .

٢) حدد اتجاه التيار الكهربائي الحثي المتولد في الحلقة (٢) بالنسبة لاتجاه التيار الحثي في الحلقة (١) ، مع التفسير .



الحل :

١) (أ) قطب جنوبي ، (ب) قطب شمالي .

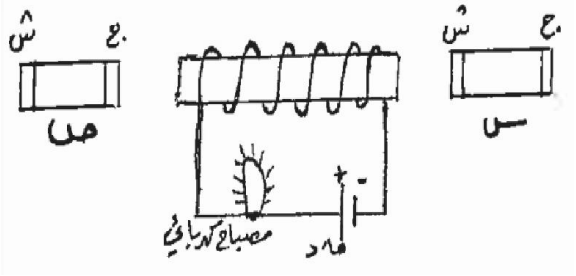
٢) بعكس اتجاه التيار الحثي في الحلقة (١) . عند ابتعاد القطب الجنوبي (أ) عن الحلقة (٢) يحدث فيها نقص في التدفق المغناطيسي فيتولد فيها مجال مغناطيسي باتجاه المجال الأصلي (لنز) وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه التيار الحثي في الحلقة (٢) نحو الأسفل في اللفة القريبة (عكس الاتجاه في الحلقة (١)) .

مثال (٩) : يبين الشكل المجاور ملف لولبي موصول ببطارية ومصباح كهربائي ، ويوجد على جانبيه وبنفس البعد عنه مغناطيسين متماثلين (س ، ص) ، بين مع التفسير ماذا يحدث لإضاءة المصباح في الحالات التالية :

١) إذا تحرك المغناطيسين بنفس اللحظة والسرعة نحو الملف .

٢) إذا تحرك المغناطيسين بنفس اللحظة والسرعة بعيداً عن الملف .

٣) إذا تحرك المغناطيسين بنفس اللحظة والسرعة (س) مقترباً و (ص) مبتعداً عن الملف .

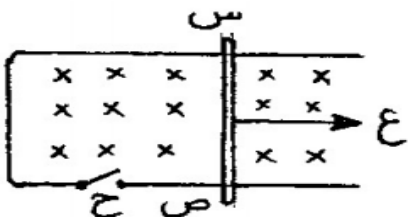


الحل :

١) تقل اضاءة المصباح ، يصبح طرف الملف القريب من (س) قطب شمالي ومن (ص) قطب جنوبي (لنز) وحسب قاعدة قبضة اليد اليمنى يكون التيار الحثي عكس التيار الأصلي في المصباح .

٢) تزداد اضاءة المصباح ، يصبح طرف الملف القريب من (س) قطب جنوبي ومن (ص) قطب شمالي (لنز) وحسب قاعدة قبضة اليد اليمنى يكون التيار الحثي باتجاه التيار الأصلي في المصباح .

٣) لن تتأثر الإضاءة ، يصبح طرف الملف القريب من (س) قطب شمالي ومن (ص) قطب شمالي (لنز) فيلغيان تأثير بعضهما لأنهما متماثلان .

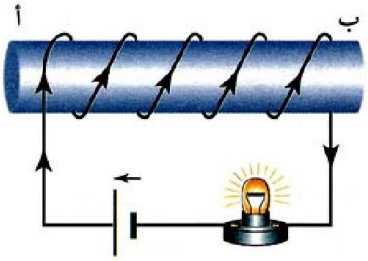


سؤال (علل) : القوة اللازمة لتحريك السلك (س ص) حر الحركة نحو اليمين بسرعة ثابتة والمفتاح (ح) مغلق تكون أكبر منها عندما يكون المفتاح مفتوح .

جواب : عند حركة الموصل والمفتاح مغلق يتولد تيار حثي من ص إلى س مما يولد قوة مغناطيسية نحو اليسار عكس اتجاه الحركة (ع) .

مثال (١٠) : في الدارة الموضحة بالشكل ، وضح مع التعليل ، ما يحدث لإضاءة المصباح إذا قربنا إلى الطرف (أ) :

١) مغناطيساً بحيث يكون قطبه الشمالي الأقرب للملف .
٢) مغناطيساً بحيث يكون قطبه الجنوبي الأقرب للملف .
٣) قطعة حديد غير ممغنطة .



الحل :

إن التيار الأصلي في الملف ، يمر باتجاه محدد بحيث يولد مجالاً مغناطيسياً اتجاهه من (ب) إلى (أ) داخل الملف ، ويكون الطرف (أ) قطباً مغناطيسياً شمالياً (ش) ، والطرف (ب) قطباً مغناطيسياً جنوبياً (جـ) .

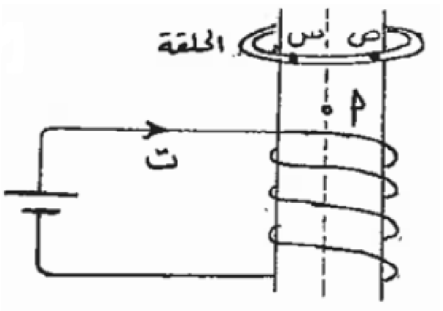
١) عند تقريب القطب الشمالي للمغناطيس من الطرف (أ) ، يزداد التدفق الذي يعبر الملف ، فيتولد تيار حثي يعاكس هذه الزيادة ، فيولد مجالاً مغناطيسياً يجعل الطرف (أ) قطباً شمالياً ، والطرف (ب) قطباً جنوبياً ، وبذلك يكون التيار الحثي باتجاه التيار الأصلي ، فتزداد الإضاءة .

٢) عند تقريب القطب الجنوبي للمغناطيس من الطرف (أ) ، يتولد عند الطرف (أ) قطب مغناطيسي جنوبي ، وعند الطرف (ب) قطب مغناطيسي شمالي ، فيكون التيار الحثي بعكس التيار الأصلي ، فتقل الإضاءة .

٣) عند تقريب قطعة الحديد من الطرف (أ) ، تتمغنط قطعة الحديد ، فيصبح طرفها القريب من (أ) قطباً جنوبياً وطرفها البعيد قطباً شمالياً ، فيحدث للمصباح ما حدث في الفرع (٢) من الإجابة ، أي تقل الإضاءة .

مثال (١١) : اسقطت حلقة فلزية وهي في وضع أفقي باتجاه محور ملف لولبي كما هو مبين في الشكل ، أجب عما يأتي :

١) ما القطب المغناطيسي الذي يمثله الرمز (أ) .
٢) كيف يتغير التدفق المغناطيسي المتولد في الحلقة عبر الجزء القريب من الناظر (س ص) ؟



الحل :

١) (أ) يمثل قطب شمالي .
٢) يزداد التدفق .

الحث الذاتي

تعرف ظاهرة الحث الذاتي بأنها : ظاهرة تولد قوة دافعة حثية في دارة ملف بسبب تغير شدة التيار المار فيها .

سؤال : ماسبب تولد القوة الدافعة الحثية الذاتية في الدارة ؟
جواب : نتيجة تغير التيار المار في الدارة يتغير التدفق المغناطيسي فيها وحسب قانون فارادي ولنز تتولد قوة دافعة حثية ذاتية في الدارة تقاوم هذا التغير .

المحث : هو أي جزء من ملف لولبي بينما تسمى القوة الدافعة الحثية الناتجة " القوة الدافعة الحثية الذاتية "

ملاحظات :

١) عند زيادة التيار في الدارة تنشأ قوة دافعة حثية معاكسة للقوة الدافعة الكهربائية للبطارية لتقاوم الزيادة في التدفق ويطلق عليها " القوة الدافعة الحثية الذاتية العكسية " .

٢) عندما يقل التيار تنشأ قوة دافعة حثية بنفس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية للبطارية لتقاوم النقص في التدفق ويطلق عليها " القوة الدافعة الحثية الذاتية الطردية " .

سؤال : العمل الذي تقوم بها المحاثة ؟
جواب : تعمل المحاثة على ابطاء نمو التيار وابطاء تلاشيه في الدارة .

$$ح = \frac{ن\ \Phi}{ت}$$

حيث ح : معامل الحث الذاتي (محاثة الملف) .
Φ : التدفق المغناطيسي .
ن : عدد اللفات .
ت : التيار الكهربائي . (مهم : محاثة المحث *لا تعتمد* على التيار الكهربائي) .

تعطى القوة الدافعة الحثية الذاتية المتولدة في دارة محث بالعلاقة :

$$ق_{ذ} = - ح \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$$

حيث أن :
$ق_{ذ}$: القوة الدافعة الحثية الذاتية المتولدة في الدارة .
ح : معامل الحث الذاتي للدارة (المحاثة) .
$\Delta ت$: مقدار التغير في التيار الكهربائي بالأمبير .
$\Delta ز$: مقدار التغير في الزمن بالثانية .
$\frac{\Delta ت}{\Delta ز}$: المعدل الزمني للتغير في التيار الكهربائي ووحدته أمبير/ث .

* وتعرف محاثة المحث بأنها " النسبة بين القوة الدافعة الحثية المتولدة في المحث والمعدل الزمني لتغير التيار فيه " .

* تقاس المحاثة بوحدة فولت.ث/أمبير وتسمى هنري .

* يعرف الهنري بأنه " محاثة محث تتولد فيه قوة دافعة حثية قدرها (١) فولت عندما يتغير التيار فيه بمعدل (١) أمبير/ث "

ونعبر عن التدفق المغناطيسي عبر اللفة الواحدة من المحث بالعلاقة: $\emptyset = غ \times ٢$.

وبتعويض قيمة المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي: $غ = \frac{\mu \times ن \times ت}{ل}$

يكون التدفق المغناطيسي: $\emptyset = \frac{\mu \times ن \times ت}{ل} \times ٢$

وعليه تكون المحاثة:

$$ح = \frac{\mu. \times ن^{٢} \times أ}{ل}$$

وفي حالة الملف في الهواء (الفراغ) فإن $\mu = \mu.$ حيث ($\mu.$) النفاذية المغناطيسية للهواء (الفراغ)

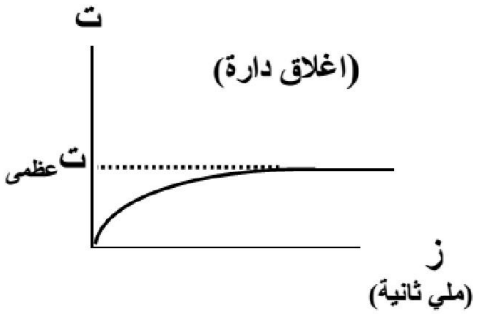
سؤال : ما العوامل التي تعتمد عليها محاثة ملف لولبي ؟

جواب : ١) شكل الدارة (مساحة الملف) . طردي ٢) الأبعاد الهندسية (طول الملف) . عكسي
٣) عدد لفات الملف . طردي ٤) سماحية الوسط المحيط بالملف (النفاذية المغناطيسية) . طردي

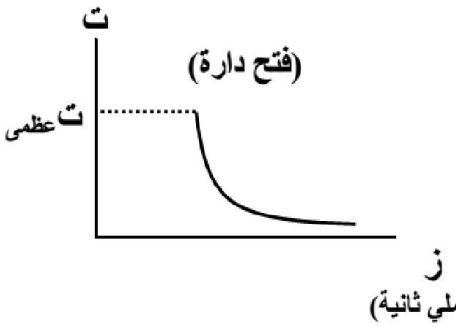
سؤال : وضح بالرسم العلاقة بين شدة التيار والزمن في الملف الحلزوني عند إغلاق وفتح الدارة (فسر) .

جواب :

* لحظة غلق الدارة تتولد قوة دافعة حثية ذاتية عكسية في المحث تولد تيار حثي يعاكس نمو تيار الدارة فينمو تيار الدارة تدريجياً إلى أن يثبت تيار الدارة .



* لحظة فتح الدارة تتولد قوة دافعة حثية ذاتية طردية تولد تيار حثي باتجاه تيار الدارة لمنع انهياره فينهار تيار الدارة تدريجياً .



مثال (١) : ملف محاثته (٥) هنري يتغير التيار فيه من (٨) أمبير إلى (٢) أمبير خلال زمن (٠,٢) ث ، جد القوة الدافعة الكهربائية الحثية الذاتية المتوسطة الناتجة .

الحل :

$$ق_د = - ح \frac{\Delta ت}{\Delta ز} = - ٥ \times \frac{(٢ - ٨)}{٠,٢} = ١٥٠ \text{ فولت}$$

مثال (٢) : ملف عدد لفاته (٢٠٠) لفة ومقدار التدفق الذي يخترقه (٠,٠٢) ويبر ومعامل حثه (٠,٨) هنري احسب شدة التيار المار فيه .

الحل :

$$ح = \frac{ن \phi}{ت} \quad \text{ومنها} \quad ت = \frac{ن \phi}{ح} = \frac{٢٠٠ \times ٠,٠٢}{٠,٨} = ٥ \text{ أمبير}$$

مثال (٣) : ملف حلزوني طوله (٢٠) سم وعدد لفاته ($١٠^{٣}$) لفه ومساحة مقطعه العرضي (٣٠) سم^{٢} ، فإذا أدخلت في الملف مادة نفاذيتها المغناطيسية ($٤ \pi \times ١٠^{-٦}$) ويبر/أمبير.م احسب محاثة الملف .

الحل :

$$ح = \frac{\mu . \times ن^{٢} \times أ}{ل} = \frac{٤ \pi \times ١٠^{-٦} \times (١٠^{٣})^{٢} \times ٣٠ \times ١٠^{-٤}}{٢٠ \times ١٠^{-٢}} = ١٨,٨٤ \times ١٠^{-٢} \text{ هنري}$$

مثال (٤) : ملف دائري عدد لفاته (١٠٠) لفة يتغير التدفق المغناطيسي خلاله بمقدار (٢×١٠^{-٤}) ويبر في زمن ($٠,٥ \times ١٠^{-٣}$) ثانية ، احسب معامل الحث الذاتي للملف إذا تغيرت شدة التيار بمعدل (٢) أمبير/ث .

الحل :

$$ق_د = - ن \frac{\Delta \phi}{\Delta ز} = \frac{- ١٠٠ \times ٢ \times ١٠^{-٤}}{٠,٥ \times ١٠^{-٣}} = - ٤٠ \text{ فولت}$$

$$ق_د = - ح \frac{\Delta ت}{\Delta ز} \Leftarrow - ٤٠ = - ح \times ٢ \Leftarrow ح = ٢٠ \text{ هنري}$$

مثال (٥) : ملف لولبي عدد لفاته (٢٠٠) لفة ومساحة مقطعه (٢×١٠^{-٤}) م^{٢} وطوله (١٠×١٠^{-٢}) م يخترقه مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٢) تسلا عمودياً على مستواه . احسب :

١) التدفق المغناطيسي الذي يجتاز الملف .

٢) القوة الدافعة الحثية المتولدة إذا انعكس اتجاه المجال في زمن مقداره (٠,١) ثانية .

٣) محاثة الملف . (اعتبر $\mu . = ٤ \pi \times ١٠^{-٧}$ ويبر/أمبير.م)

الحل :

١) $\phi = غ \, أ \, جتا\theta = ٠,٢ \times ٢ \times ١٠^{-٤} \times جتا٠ = ٠,٤ \times ١٠^{-٤}$ ويبر

٢) $\Delta\phi = أ \, \Delta غ \, جتا\theta = ٢ \times ١٠^{-٤} \times (-٠,٢ - ٠,٢) \times جتا٠ = - ٠,٨ \times ١٠^{-٤}$ ويبر

$$ق_د = - ن \frac{\Delta \phi}{\Delta ز} = \frac{- ٢٠٠ \times - ٠,٨ \times ١٠^{-٤}}{٠,١} = ١٦ \times ١٠^{-٢} \text{ فولت}$$

٣) $$ح = \frac{\mu . \times ن^{٢} \times أ}{ل} = \frac{٤ \pi \times ١٠^{-٧} \times ٤ \times ١٠^{٤} \times ٢ \times ١٠^{-٤}}{١٠ \times ١٠^{-٢}} = ٣٢ \pi \times ١٠^{-٦} \text{ هنري}$$

مثال (٦) : ملف لولبي يتكون من (١٠^{٣}) لفة وطوله ($٤\pi \times ١٠^{-٢}$) م ومساحة مقطعه (٤×١٠^{-٢}) م^{٢} احسب القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف إذا تغير التيار بمعدل (٥٠) أمبير /ث . (علماً أن $\mu = ٤\pi \times ١٠^{-٧}$ ويبر/أمبير.م)

الحل :

$$ح = \frac{\mu . \times ن^{٢} \times أ}{ل} = \frac{٤\pi \times ١٠^{-٧} \times ١٠^{٦} \times ٤ \times ١٠^{-٢}}{٤\pi \times ١٠^{-٢}} = ٠,٤ \text{ هنري}$$

$$ق_{د} = - ح \frac{\Delta ت}{\Delta ز} = - ٠,٤ \times ٥٠ = - ٢٠ \text{ فولت}$$

مثال (٧) : ملف لولبي عدد لفاته (١٠٠) لفة ومساحة مقطعه (٢×١٠^{-٤}) م^{٢} وطوله ($٤\pi \times ١٠^{-٢}$) م يمر به تيار مقداره (٠,٢) أمبير فإذا تلاشى التيار خلال زمن (٠,١) ثانية . احسب :

١) محاثة الملف . (اعتبر $\mu = ٤\pi \times ١٠^{-٧}$ ويبر/أمبير.م)

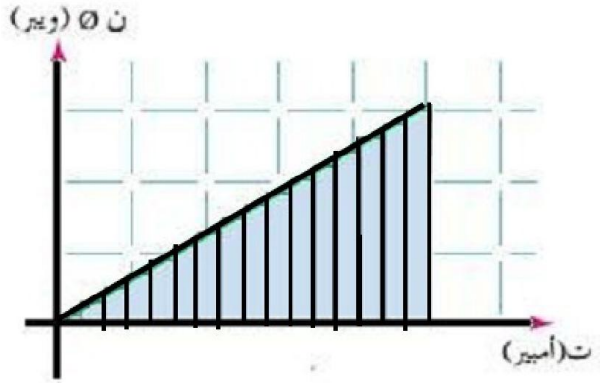
٢) القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف . **٣) معدل التغير في التدفق المغناطيسي .**

الحل :

الطاقة المختزنة في المحث

تعمل القوة الدافعة الحثية في المحث على ابطاء وصول التيار الى قيمته العظمى بشكل مباشر لحظة اغلاق الدارة وبالتالي فإن البطارية تبذل شغلاً تقاوم به الحث الذاتي للملف حتى تتمكن من دفع التيار الكهربائي في الدارة ، وهذا الشغل يختزن كله على شكل طاقة مغناطيسية في المجال المغناطيسي الحثي للمحث (إذا أهملت مقاومة المحث) .

نلاحظ من الشكل البياني العلاقة بين التدفق المغناطيسي عبر المحث والتيار الكهربائي المار في الدارة .



لاحظ أن :

١) العلاقة بين التدفق في المحث والزمن علاقة طردية خطية .
٢) ميل الخط المستقيم يعطي محاثة المحث (ح) .

مساحة المثلث = $\frac{١}{٢}$ القاعدة × الإرتفاع

= $\frac{١}{٢}$ ت × ن Ø

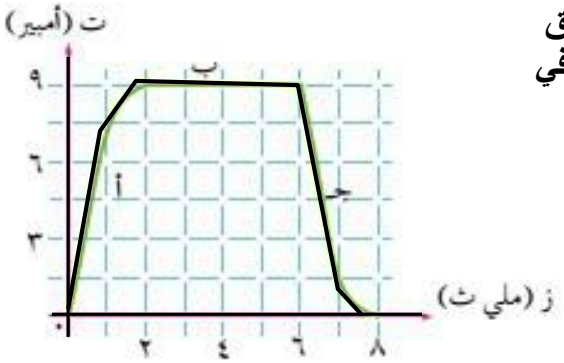
ومن قانون المحث : $ح = \frac{ن \text{ Ø}}{ت}$

تكون الطاقة المغناطيسية العظمى المختزنة في المحث تعطى بالعلاقة :

$$ط_{غ} = \frac{١}{٢} ح (ت_{عظمى})^{٢}$$

سؤال (علل) : ظهور شرارة كهربائية لحظة فتح الدارة الكهربائية المحتوية على محث .
جواب : بسبب تولد قوة دافعة حثية ذاتية طردية من تحول الطاقة المغناطيسية المختزنة في المحث إلى طاقة كهربائية .

مثال (١) : يتغير التيار في دارة محث محاثته (٠,٢) هنري من لحظة غلق دارته حتى تلاشي التيار فيها بعد فتح المفتاح حسب المنحنى في الشكل ، أجب عما يلي :

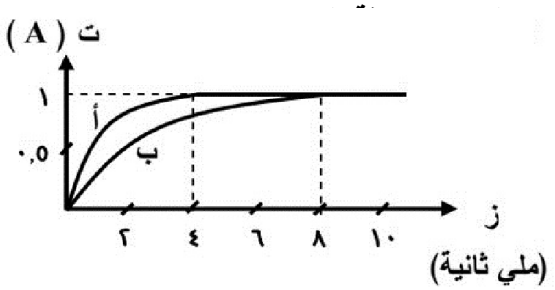


١) ماذا تمثل كل فترة من الفترات (أ ، ب ، جـ) .
٢) احسب القوة الدافعة الحثية الذاتية المتولدة في كل فترة .
٣) احسب الطاقة المغناطيسية العظمى المختزنة في المحث .
٤) احسب الطاقة المغناطيسية المختزنة في المحث عندما يكون التيار ثلث قيمته العظمى .

الحل :

مثال (٢) : في تجربة لقياس معدل نمو التيار في دارة مقاومة ومحث رسمت العلاقة بين التيار المار في المحث والزمن فتم الحصول على المنحنى (أ) ، وعند تغيير المحاثة تم الحصول على المنحنى (ب) ، معتمداً على الرسم أجب عما يلي :

١) أي المنحنيين يمثل المحاثة الأكبر ، ولماذا ؟ ٢) أذكر طريا



الحل :

ملخص الحث

$\Phi = غ أ جتا\theta$: Φ: التدفق المغناطيسي ، غ : المجال المغناطيسي ، أ: مساحة الموصل ، θ : الزاوية بين اتجاه المجال ومتجه المساحة

$ق_{د} = - ل غ ع جا \theta$: $ق_{د}$: القوة الدافعة الحثية ، ع : سرعة الموصل ، ل : طول الموصل ، θ : الزاوية بين ع و غ

$ق_{د} = - ن \frac{\Delta \Phi}{\Delta ز}$: ن : عدد اللفات ، $\Delta \Phi$: مقدار التغير في التدفق ، Δ ز : مقدار التغير في الزمن

$ق_{د} = -ح \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$: ح: معامل الحث الذاتي (المحاثة) ، Δ ت : مقدار التغير في التيار ، Δ ز : مقدار التغير في الزمن

$ح = ن \frac{\Phi}{ت}$: ت : التيار الكهربائي

$ح = \frac{\mu . \times ن^{٢} \times أ}{ل}$: μ. : النفاذية المغناطيسية

القدرة = ت × $ق_{د}$: لحساب القدرة المستهلكة بالبطارية

$ط_{ع} = \frac{١}{٢} ح (ت_{ع})^{٢}$: لحساب الطاقة المختزنة في المحث

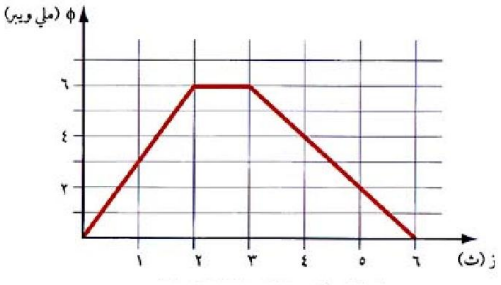
$ط_{غ} = ت ح \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$ ز : الطاقة المغناطيسية المختزنة في المحث في وحدة الزمن

ملخص الوحدات

التدفق : ويبر ، تسلا .م^{٢} ، فولت.ث
القوة الدافعة : فولت ، لفة ويبر/ث ، تسلا. م^{٢}/ ث
المحاثة : هنري ، فولت. ث / أمبير ، أوم ث
معدل نمو التيار : أمبير/ ث ، كولوم/ ث^{٢}
النفاذية المغناطيسية : ويبر/أمبير.م ، هنري/م

ورقة عمل (١) على الحث الكهرومغناطيسي

س١ : ملف عدد لفاته (٢٥٠) لفة ، يتغير التدفق المغناطيسي الذي يعبره خلال (٦) ثوان ، حسب الرسم البياني الموضح في الشكل :



أ) احسب القوة الدافعة الحثية (قَـ) المتولدة في الملف خلال :
١) الثانيتين الأوليين . ٢) الثانية الثالثة . ٣) الثواني الثلاث الأخيرة .
ب) مثل بيانياً العلاقة بين (قَـ) و (الزمن) ، خلال الثواني الست .

الجواب : (-٠,٧٥ فولت ، صفر ، ٠,٥ فولت)

س٢ : ملف عدد لفاته (٢٠٠) لفة والتدفق الذي يخترقه (٨×١٠^{-٣}) ويبر فإذا أصبح التدفق (٥×١٠^{-٣}) ويبر في زمن قدره (٠,٢) ثانية احسب القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف .

الجواب : (- ٣ فولت)

س٣ : ملف مستطيل أبعاده (١٠) سم ، (٢٠) سم ، ويتكون من (١٠٠) لفة ومقاومة أسلاكه (٢) أوم وضع في مجال مغناطيسي مقداره (٠,٥) تسلا وبحيث يتعامد مع مستواه ، فإذا إنعدم المجال المغناطيسي خلال (٠,٨) ثانية احسب ما يلي :
١) القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف . ٢) التيار الحثي المتولد في الملف .

الجواب : (- ١,٢٥ فولت ، ٠,٦٢٥ أمبير)

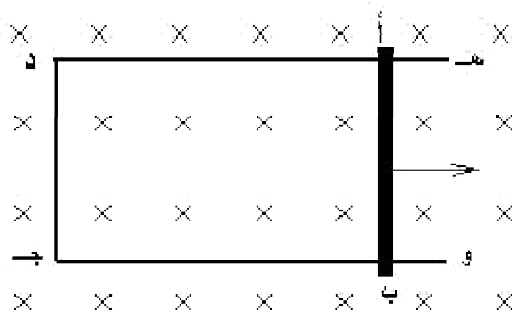
س٤ : سلك مستقيم طوله (١٠) سم ومقاومته (٢) أوم ، يتحرك بسرعة (٢) م/ ث عمودياً على مجال مغناطيسي مقداره (٠,٦) تسلا ، إحسب :
١) القوة الدافعة الحثية المتولدة في السلك . ٢) التيار الحثي المتولد فيه . ٣) القدرة المستنفذة فيه .

الجواب : (- ٠,١٢ فولت ، ٠,٠٦ أمبير ، ٠,٠٠٧٢ واط)

س٥ : ملف معامل حثه (٠,٢) هنري ، يمر به تيار (١٢) أمبير ، احسب القوة الدافعة الحثية إذا انعدم التيار خلال ربع دقيقة .

الجواب : (- ٠,١٦ فولت)

س٦ : يمثل الشكل سلك (أ ب) طوله (٠,٥) م ، يلامس سكتين معدنيتين د هـ ، جـ و . فإذا كان الشكل موضوعاً في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٢) تسلا وعمودي على مستوى الصفحة للداخل ، فجد القوة الدافعة الحثية المتولدة في أ ب عندما يتحرك لليمين بسرعة (٤) م/ ث ، ثم جد القوة الدافعة الحثية المتولدة فيه عندما يتحرك لليسار بسرعة (٢) م/ ث .



الجواب : (- ٠,٤ فولت ، ٠,٢ فولت)

س٧ : ملف دائري عدد لفاته (١٠٠٠) لفة ومساحته (٢٠) سم^{٢} ، فإذا دار الملف من وضع يكون فيه مستواه عمودياً على المجال المغناطيسي إلى وضع يكون فيه مستواه موازياً للمجال المغناطيسي خلال (٠,٢) ثانية ، وكان المجال المغناطيسي (٦×١٠^{-٥}) تسلا ، جد متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف .

الجواب : (٦×١٠^{-٤} فولت)

س٨ : ملف حلزوني طوله (٨) سم وعدد لفاته (١٠٠) لفة ومساحة مقطعه (٦) سم^{٢} ، وينشأ فيه تيار كهربائي مقداره (٠,٢٥) أمبير ، ولوحظ أنه عند فتح دائرة الملف الحلزوني يصبح التيار فيه صفراً خلال (٠,٠٥) ثانية أوجد متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف . (اعتبر $\mu = \pi٤\times١٠^{-٧}$ هنري/م) .

الجواب : ($٤٧,١\times١٠^{-٥}$ فولت)

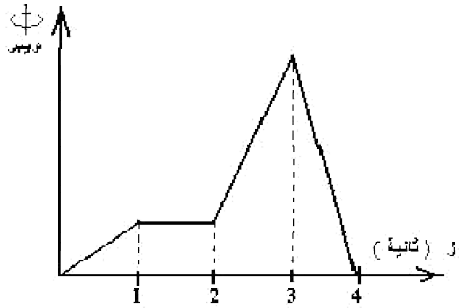
س٩ : يؤثر مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٠,٢) تسلا عمودياً على مستوى لفات ملف حلزوني عدد لفاته (٢٠٠) لفة ومساحة مقطعه ملفه (١٠٠) سم^{٢} ، إحسب القوة الدافعة الحثية المتوسطة المتولدة به في الحالات التالية :
١) إذا انعدم المجال المغناطيسي خلال (٠,٢) ثانية .
٢) إذا انعكس إتجاه المجال المغناطيسي خلال (٠,٥) ثانية .

الجواب : (٢ فولت ، ١,٦ فولت)

س١٠ : ملف قصير عدد لفاته (٢٠٠) لفة ملفوف على قضيب مغناطيسي اسطواني يعطي تدفقاً مقداره (٨٠) ميكروويبر فإذا أخرج المغناطيس تماماً من الملف خلال (٠,٠٥) ثانية ، فإحسب القوة الدافعة الحثية المتولدة به .

الجواب : (٠,٣٢ فولت)

س١١ : يتغير التدفق المغناطيسي (Φ) الذي يعبر ملف ، مع الزمن (ز) حسب الرسم البياني الموضح في الشكل . خلال أي ثانية يكون مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف أكبر ما يمكن .



الجواب : (الثانية الرابعة)

س١٢ : ملف عدد لفاته (١٠٠) لفة ومساحته (٢) سم^{٢} يؤثر فيه مجال مغناطيسي مقداره (٠,٤) تسلا بزاوية (٦٠°) بين المجال والعمودي عليه انخفض المجال الي ان اصبح (٠,١) تسلا والزاوية اصبحت صفراً خلال (٠,١) ثانية علماً بأن احسب القوة الدافعة الحثية المتولدة .

الجواب : (٣×١٠^{-٢} فولت)

س١٣ : ملف عدد لفاته (٥٠) لفة ومساحته (٢٠) سم^{٢} تولدت بين طرفيه قوة دافعة حثية مقدارها (٤) فولت ، احسب المعدل الزمني للتغير في المجال المغناطيسي .

الجواب : (- ٤٠ تسلا/ث)

س١٤ : سلك طوله (٠,٣) م موضوع في مستوي الصفحة مغمور في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٤) تسلا عمودياً على مستوي الصفحة للداخل تحرك السلك بسرعة ثابتة مقدارها (٢) م/ث نحو الغرب جد :
١) القوة الدافعة الحثية المتولدة بين طرفي السلك .
٢) علل ، تتوقف حركة الشحنات عن الحركة بعد فترة من الزمن .

الجواب : (٢,٤ فولت ، الاتزان بين القوة الكهربائية والمغناطيسية ،)

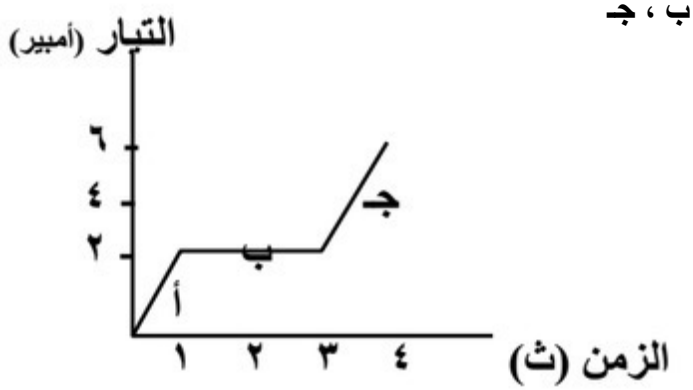
س١٥ : ملف لولبي عدد لفاته (١٠٠) لفة يسري فيه تيار مقداره (٤) امبير ومحاثة المحث (٣) هنري جد :
١) القوة الدافعة الحثية عند تلاشي التيار خلال (٠,١) ثانية .
٢) القوة الدافعة عند عكس التيار خلال (٠,١) ثانية
٣) معدل التغير في التدفق المغناطيسي خلال تلاشي التيار .

الجواب : (١٢٠ فولت ، ٢٤٠ فولت ، - ١,٢ ويبر/ث)

س١٦ : يؤثر مجال مغناطيسي منتظم مقداره (٤) تسلا عموديا في مستوي لفات ملف عدد لفاته (٢٠٠) لفة ومقاومته (٢٠) أوم ومساحة مقطعه (٠,٠٢) م^{٢} احسب القوة الدافعه الحثية المتولدة في الملف عند :
١) عكس اتجاه المجال خلال (٠,١) ث . ٢) تلاشي المجال خلال (٠,١) ث . ٣) التيار الحثي عند تلاشي المجال .

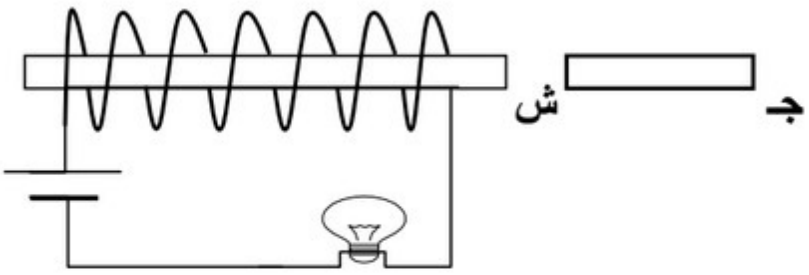
الجواب : (٣٢٠ فولت ، ١٦٠ فولت ، ٨ أمبير)

س١٧ : يمثل الشكل العلاقة البيانية بين التيار الكهربائي والزمن لملف معامل حثه الذاتي (٠,٠٨) هنري من الشكل جد القوة الدافعة الحثية المتولدة في المحث في كل مرحلة أ ، ب ، جـ



الجواب : (- ٠,١٦ فولت ، صفر فولت ، - ٠,٣٢ فولت)

س١٨ : بين كيف نحرك المغناطيس لينتج عنه :
١) تقليل اضاءة المصباح .
٢) زيادة اضاءة المصباح .



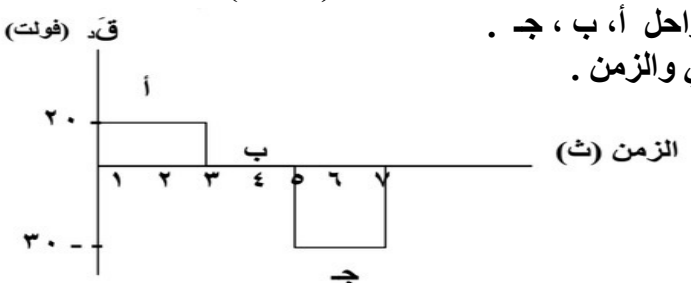
الجواب : (نقرب المغناطيس ، نبعد المغناطيس)

اسئلة اضافية غير محلولة على الحث

١) سلك (أ ب) طوله (١٠) سم موضوع على سلك خارجي قابل للانزلاق وموضوع في مجال مغناطيسي مقداره (٤) تسلا واتجاهه عمودي للخارج و تم سحبه نحو اليمين بسرعة ثابتة (٢) م/ث اجب عن الأسئلة :
١) اين تتركز الشحنات الموجبة والسالبة مع التفسير . ٢) مقدار واتجاه المجال الكهربائي داخل السلك اب .
٣) القوة الدافعه الحثية المتولدة ٠ ٤) التيار الحثي المتولد علما بأن المقاومة تساوي (٢) أوم ٠

٢) في دارة محث ومقاومة بين أن معدل نمو التيار يصل إلى نصف قيمته العظمى عندما يصل التيار إلى نصف قيمته العظمى .

٣) يبين الشكل المجاور العلاقة بين القوة الدافعة الحثية العكسية والزمن لملف عدد لفاته (١٠٠٠) لفة جد :
١) التغير في التدفق المغناطيسي في كل مرحلة من المراحل أ، ب ، جـ .
٢) ارسم خطاً بيانياً يمثل العلاقة بين التدفق المغناطيسي والزمن .



٤) ملف عدد لفاته (٢٠) لفة يمر فيه تيار مقداره (٦) أمبير فيحدث تدفق مغناطيسي مقداره (٦٠) ويبر اذا عكس اتجاه التيار خلال زمن مقداره (٠,١) ثانية فجد :
١) معامل الحث الذاتي له . ٢) القوة الدافعة الكهربائية الحثية الذاتية المتولدة فيه ٠

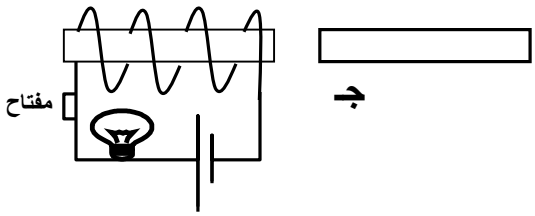
٥) ماذا يقصد بأن معامل الحث الذاتي لملف لولبي ح = ٠,٥ هنري .

٦) اذكر نص قانون فاراداى بالكلمات .
٧) اذكر نص قانون لنز بالكلمات . وماهي فائدته .
٨) علل : في دائرة كهربائية تحتوي على محث لا يصل التيار الى قيمته العظمى مباشرة عند غلق الدارة .

٩) ملف مستطيل مساحته (٠,٤) م^{٢} وعدد لفاته (١٠٠) لفة يتعرض لمجال مغناطيسي منتظم قدره (٠,٦) تسلا عمودي على مستوى الملف فإذا تلاشى المجال خلال (٠,١) ثانية احسب القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف .

١٠) ملف مكون من (٥٠٠) لفة ومساحة اللفة الواحدة (١×١٠$^{-٢}$) م^{٢} موضوع في مجال مغناطيسي منتظم عمودي على الملف قدره (٠,٢) تسلا جد مقدار القوة الدافعة الحثية إذا اصبحت المساحة (٤×١٠$^{-٢}$) م^{٢} خلال زمن قدره (٠,١) ثانية .

١١) من الشكل بين ماذا يحدث لاضاءة المصباح في الحالات التالية :



١) تقريب المغناطيس من الملف .
٢) فتح دارة المصباح دون تحريك المغناطيس .