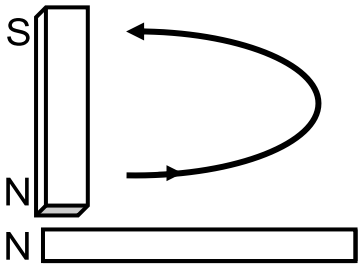
الوحــدة التاسعـة

المغناطيسية والتأثيرات المغناطيسية للتيار الكهربي

ما هــو المغناطيس؟

يعتقد أن الصينيون أول من أكتشفوا المغناطيس حيث لاحظوا أن بعض الحجارة تجذب قطع الحديد، ونوع هذه الحجارة من خامات تسمى المجانتيت أو أكسيد الحديد المغناطيسي ، وهذا يسمى مغناطيس طبيعي. أما المغنطيسات الموجودة في الجرس الكهربي أو التليفونات أو المراوح الكهربية وفي مكبرات الصوت فهي مغناطيس صناعي **وسواء المغناطيس الطبيعي أو الصناعي له الصفات الآتية:**

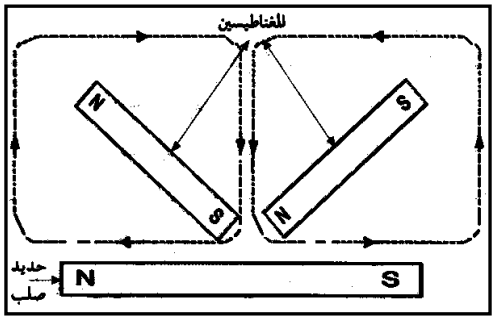
1- يجذب براده الحديد فقط وبكميات كبيرة عند الأطراف ، ويسمى القطب المغناطيسي.
2- أي مغناطيس له قطبان متساويان في قوة جذب برادة الحديد مهما صغر حجمه (عند كسر مغناطيس يظهر له قطبان).
3- عند تعليق أي مغناطيس تعليق حراً (خيط غير مجدول) في مجال الأرض يتخذ دائماً اتجاه ثابت وهو أحد الأقطاب متجهاً نحو الشمال الجغرافي ، ويسمى قطب شمالي (N) والأخر يتجه نحو الجنوب الجغرافي للأرض ويسمى قطب جنوبي (S) .



إذن: المغناطيس له قطبان مختلفان في النوع أحدهما شمالي والأخر جنوبي والسبب في ذلك أن الأرض تعمل كمغناطيس كبير نظراً لوجود حديد في باطنها ، ولكن أقطاب مغناطيس الارض عكس أقطاب المغناطيس الأصلي.

4- الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر (N) مع (N) أو (S) مع (S) والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب.
5- لا يوجد مغناطيس له قطب واحد إلا في حالة المغناطيس الدائري.

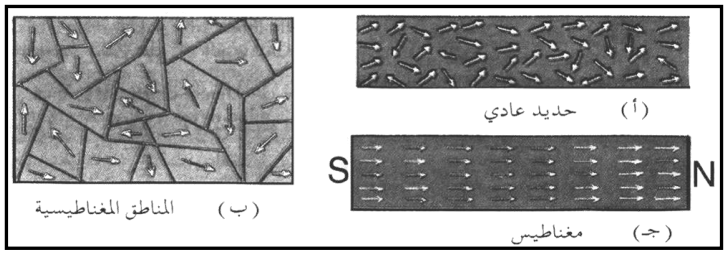
طرق عمل مغناطيس صناعي :



1) الدلــك: يتم ذلك بعملية الدلك في اتجاه واحد لساق من الحديد المطاوع أو الحديد الصلب باستخدام مغناطيس طبيعي، أو باستخدام مغناطيسي دائمي المغنطة. أما عندما يكون الدلك ليس في اتجاه واحد فلا يحدث تمغنط ، ويمكن تفسير ذلك كالأتي:

النظرية المغناطيسية:

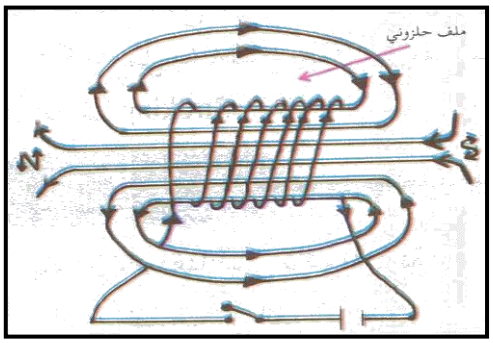
1- داخل ساق الحديد الكترونات تدور في اتجاه معين ، وتعمل كمغناطيس صغير ولكن موزعة توزيع عشوائي.
2- عند الدلك في اتجاه واحد تترتب هذه الألكترونات في ترتيب ثابت ويكتسب الحديد صفة التمغنط.
3- عند الدلك في اتجاهين متضادين لا يحدث لها ترتيب فلا يكتسب المغنطة.



(2) باستخدام تيار كهربي مستمر:

تجربـــة:

1) لف سلك نحاسي لفاً لولبياً حول قضيب حديد مطاوع ثم أنزع القضيب.
2) صل طرفي السلك بقطبي بطارية ومفتاح كما بالشكل.
3) قرب إبرة مغناطيسية من الملف نلاحظ انحرافها.
4) افتح الدائرة نلاحظ عدم انحراف الإبرة.

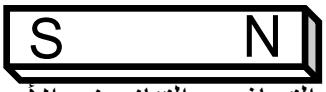


الاستنتـــاج: عند مرور تيار كهربي في الملف يتولد مجال مغناطيسي يكون قضبان شمالي وجنوبي وعند قطع التيار لا يتولد مجال مغناطيسي، لذلك يستخدم الحديد المطاوع في عمل المغناطيسيات المؤقتة أما الحديد الصلب فمغنطته دائمة ولذلك يستخدم في صنع المغناطيس الدائم.

المغناطيس الدائم	المغناطيس المؤقت
1- يصنع من الحديد الصلب.	1- يصنع من الحديد المطاوع.
2- لا يفقد المغنطة إلا بالطرق أو التسخين.	2- يكتسب المغنطة عند مرور تيار حول الحديد المطاوع ويفقدها عند عدم مروره.
3- يستخدم في الأجهزة الكهربية.	3- يستخدم في الجرس الكهربي والأوناش.

ويفضل المغناطيس المؤقت عن الدائم في أنه يمكن التحكم في شدته عن طريق زيادة شدة التيار أو زيادة عدد لفات السلك.

أشكال المغناطيس :



القوة المغناطيسية :

سبق أن عرفنا قانون التجاذب والتنافر في الأجسام المادية وفي الشحنات الكهربية ، ويوجد أيضاً ذلك القانون في المغناطيسية وينص على :

"الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر والمختلفة تتجاذب"

العوامل التي تتوقف عليها قوة التجاذب أو التنافر بين قطبين:

1- شدة القطبية (ش) : كلما زادت شدة القطبية زادت القوة.

ق تتناسب طردياً مع ش$_1$ × ش$_2$

2- المسافة بين القطبين (قانون التربيع العكسي).

ق تتناسب عكسياً مع مربع المسافة

3- نوع الوسط الفاصل بين القطبين: تختلف القوة إذا كان الوسط الفاصل هواء أو مادة مغناطيسية.

$$\text{ق} = \text{ثابت} \times \frac{\text{ش}_1 \times \text{ش}_2}{\text{ف}^2} \Leftarrow \boxed{\text{ق} = \text{هـ} \times \frac{\text{ش}_1 \times \text{ش}_2}{\text{ف}^2}}$$

حيث هـ مقدار ثابت تتوقف قيمته على نوع الوسط الفاصل.

مثـــال(1): قطبان مغناطيسيان أحدهما شدته 20أمبير.م والآخر شدته 50أمبير.متر والمسافة بينهما 4سم موضوعان في الهواء أحسب مقدار القوة بين القطبين علماً بأنه هـ للهواء = 10^{-7} أمبير؟

الحل:

ش$_1$ = 20 ش$_2$ = 50 ف= 4سم = 4×10^{-2}م

هـ= 10^{-7} ق = ؟

$$\because \text{ق} = \text{هـ} \times \frac{\text{ش}_1\text{ش}_2}{\text{ف}^2} = \frac{50\times20\times10^{-7}}{(4\times10^{-2})^2} = \frac{10^{-7}\times1000}{16\times10^{-4}} = \frac{10^{-4}}{16\times10^{-4}}$$

$$\text{ق} = \frac{1}{16} = 0.0625 \text{ نيوتن.}$$

مثـــال(2): قطبان مغناطيسيان احدهما شدته 10 أمبير.م والآخر شدته 80أمبير.م موضوعان في الهواء فإذا كانت القوة بين القطبين 0.05 نيوتن أحسب المسافة بين القطبين؟

الحل:

ش$_1$ = 10 ش$_2$ = 80 ق = 0.05 هـ = 10^{-7} ف= ؟

$$\because \text{ق} = \text{هـ} \times \frac{\text{ش}_1\text{ش}_2}{\text{ف}^2} = 5\times10^{-2}$$

$$5\times10^{-2} = \frac{80\times10\times10^{-7}}{\text{ف}^2} \Leftarrow \text{ف}^2 = \frac{10\times800\times10^{-7}}{5\times10^{2}} = 160\times10^{-5} = 16\times10^{-4}.$$

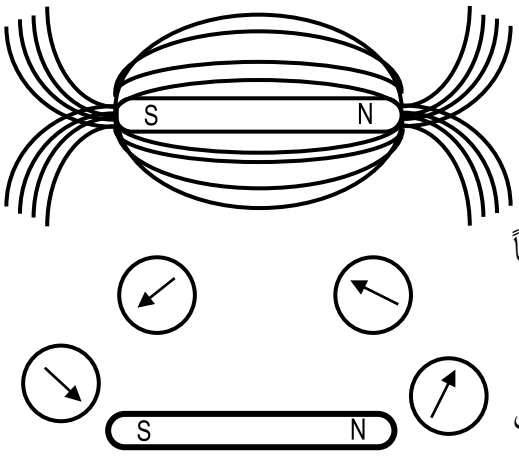
$$\therefore \text{ف} = \sqrt{16\times10^{-4}} = 4\times10^{-2}\text{م} = 4\text{سم}$$

مـلاحظـة: اتجـاه القوة موجباً في حالة التنافر وسالباً في حالة التجاذب.

المجال المغناطيسي:

المجال المغناطيسي للمغناطيس: هـو المنطقـة المحيطـة بالمغنـاطيس والتـي يظهـر فيهـا آثـاره المغناطيسـية (تجاذب أو تنافر).

تخطيط المجال المغناطيسي لمغناطيس:



1- **باستخدام برادة حديد:** ضـع مغنـاطيس قـوى أسـفل لوح من الزجاج عليه برادة حديد ثم أطرق الزجاج طرقاً خفيفاً تشاهد وجود خطوط بكثرة عند الأقطاب وحـــول المغنـــاطيس وتســـمى خطـــوط الفـــيض المغناطيسي.

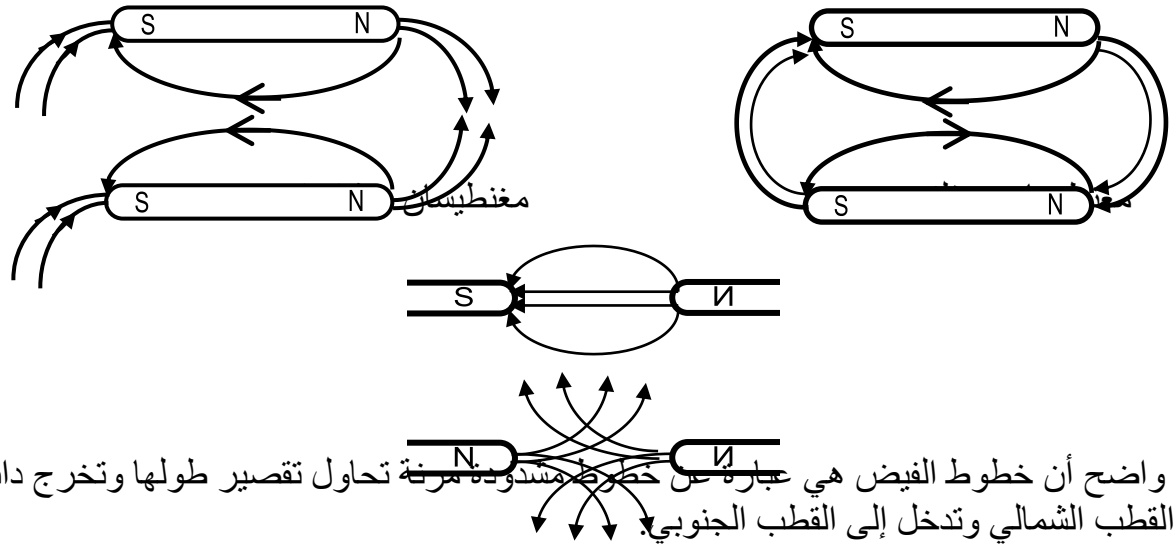
2- **باستخدام إبـرة بوصـلة:** نجـد أن خـط الفـيض دائمـاً يخرج من القطب الشمالي إلى الجنوبي.

خواص خطوط الفيض :

1- تخرج دائماً من القطب الشمالي وتدخل إلى القطب الجنوبي في مسار مغلق.
2- لا تتقاطع لأن بينها قوى تنافر.
3- توجد بكثافة كبيرة بالقرب من الأقطاب.

4- المماس لخط الفيض عند نقطة بين اتجاه المجال عندها.

المجال المغناطيسي لعدة مغناطيسات :



واضح أن خطوط الفيض هي عبارة عن خطوط مسدودة مرنة تحاول تقصير طولها وتخرج دائماً من القطب الشمالي وتدخل إلى القطب الجنوبي.

أنواع المجال المغناطيسي:

(1) المجال المغنطيسي المنتظم:

هو المجال الذي يكون كثافة فيضه ثابتة المقدار والاتجاه عند جميع النقاط الواقعة فيه.

ويلاحظ أن خطوط المجال تكون متوازية ومستقيمة.

1) مجال المركبة الأفقية لمغناطيسية الأرض في مكان ما على سطح الأرض واتجاهها هو من جنوب الأرض الجغرافي إلى شمالها.
2) المجال المغناطيسي المتولد داخل ملف لولبي طويل يمر به تيار كهربي مستمر.

(2) المجال المغناطيسي غير المنتظم:

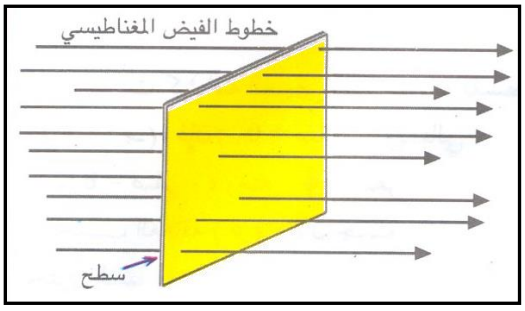
هو المجال الذي لا تكون فيه كثافة فيضه ثابتة المقدار أو الاتجاه عند النقاط الواقعة فيه ويلاحظ أن خطوط المجال تكون غير متوازية.

أمثلـــة لـــــه ⇐ : 1) المجال المحيط بقضيب مغناطيسي أو بقطب مغناطيسي مفرد.
2) المجال المغناطيسي المتولد عن مرور تيار متردد في موصل.

كثافة الفيض المغناطيسي

سبق أن عرفنا أن المجال المغناطيسي أو الفيض المغناطيسي (Φ) (فاى) عبارة عن خطوط وهمية تخرج دائماً من القطب الشمالي.

الفيض المغناطيسي خلال سطح ما (Φ): هو المجموع الكلي لخطوط الفيض المغناطيسي التي تخترق ذلك السطح عمودياً.



ويقاس الفيض بوحدة تسمى الوبر.

ولقياس كثافة الفيض عند نقطة :

نفترض مساحة قدرها (1م2) ويكون عدد خطوط الفيض التي تمر عمودياً خلال تلك المساحة هو كثافة الفيض (β).

كثافة الفيض عند نقطة: عدد خطوط القوة (الفيض) المارة عمودياً على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة وتقاس كثافة الفيض بوحدة تسمى تسلا.

ويلاحظ أن اتجاه كثافة الفيض هو اتجاه المجال المغناطيسي عند تلك النقطة.

$$\beta = \frac{\Phi}{\text{س}}$$ وبر/م^2 = تسلا

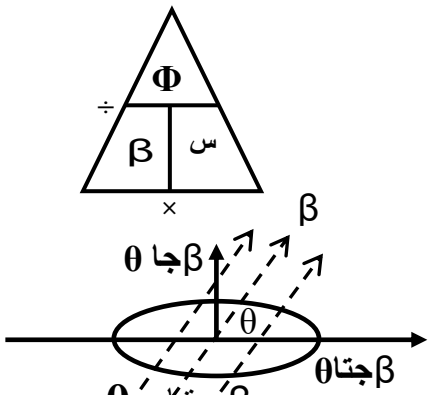
تعريف التسلا: هي كثافة الفيض الناتجة عن مرور فيض مغناطسي مقداره 1 وبر عمودياً خلال مساحة 1م^2.

حساب الفيض المغناطيسي:

$$\therefore \beta = \frac{\Phi}{\text{س}}$$

$$\therefore \Phi = \beta \times \text{س}$$

وبر ← Φ ، تسلا ← β ، م^2 ← س



أما إذا كانت كثافة الفيض تميل بزاوية θ على السطح فإننا نحلل β إلى مركبتين:

1) مركبة أفقيه: موازية للسطح فلا تؤثر = β جتا θ

2) مركبة رأسية: عمودية على السطح تؤثر = β جا θ

$$\therefore \Phi = \beta \text{ جا } \theta \times \text{س}$$

وتعتبر هذه العلاقة هي العلاقة العامة لحساب الفيض ومنها نستنتج أن:

أ) إذا كان θ = صفر أي β موازية للسطح.

∴ جا θ = صفر ∴ Φ = صفر لأن خطوط المجال لا تخترق السطح.

ب) إذا كان θ = 90 أي β عمودية على السطح.

∴ Φ أكبر ما يمكن لأن خطوط المجال تخترق السطح.

مثـــال: مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه 0.5 تسلا تمر خلال سطح مساحته 40م^2 أحسب الفيض المغناطيسي في الحالات التالية:

1) السطح عمودي على المجال. 2) السطح يميل على المجال بزاوية 30؟

3) السطح موازي للمجال؟

الحل:

1) $\Phi = \beta \times$ س $\times$ جا $\theta = \beta \times$ س $\times$ جا90 = 0.5× 40 ×1 = 20وبر

2) $\Phi = \beta \times$ س $\times$ جا 30 = 20× $\frac{1}{2}$ = 10 وبر

3) $\Phi = \beta \times$ س $\times$ جا صفر = 20× صفر = صفر

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي

الجسيمات المشحونة مثل البروتونات (+) والألكترونات (-) بينما النيترونات متعادلة الشحنة ، وليس للمجال المغناطيسي أي تأثير عليها.

أولاً: إذا كان الشحنة ساكنة في المجال: لا تتأثر بأي قوة.

ثانياً: إذا تحركت الشحنة بسرعة (ع) في إتجاه موازي للمجال: لا تتأثر بأي قوة.

ثالثاً: إذا تحركت الشحنة بسرعة (ع)عمودياً على المجال: فأنها تسير في مسار دائري تحت تأثير قوتين متساويتين هما:

قوى جذب المجال المغناطيسي = ش$_c$ × ع × β،

وقوة الجذب المركزي = $\frac{ك \cdot ع^2}{نق}$

∴ ش$_c$ ع β = $\frac{ك \times ع^2}{نق}$ ⇐ ومن هذه العلاقة يمكن إيجاد:

(1) نصف قطر المسار الدائري حيث $\boxed{نق = \frac{ك \times ع}{ش_c \times \beta}}$ م

(2) النسبة بين شحنة الجسم وكتلته حيث $\boxed{\frac{ش_c}{ك} = \frac{ع}{\beta \times نق}}$ كولوم/ كجم

ملاحظـــة: لا تتأثر سرعة الشحنة لأن قوة الجذب عمودية على اتجاهها فيظل مقدارها ثابت ولكن يتغير اتجاهها فقط.

رابعاً: إذا تحركت الشحنة مائلة على المجال بزاوية (θ): فأنها تتحرك في مسار لولبي أو حلزوني.

حيث $\boxed{ق = ش_c \times ع \times \beta \text{ جا } \theta}$

مثـــال:

تحرك جسم مشحون عمودياً على مجال مغناطيسي كثافته 0.05 تسلا بسرعة 8×10^4 م / ث مسار في مسار دائري قطره 9 سم فما النسبة بين شحنة الجسم وكتلته.

الحـــــل

$\beta = .05 = 5\times10^{-2}$ ع $= 8\times10^{4}$ نق $= \frac{9}{2} = 4.5$سم $= 4.5\times10^{-2}$م

∵ ش$_c$ $= \beta \times$ ع $\times \frac{\text{ك} \times \text{ع}^2}{\text{نق}}$

∴ $\frac{\text{ش}}{\text{ك}} = \frac{\text{ع}}{\beta \text{ نق}} = \frac{8\times10^{4}}{5\times10^{-2}\times4.5\times10^{-2}} = \frac{8\times10^{8}}{225} = 0.35\times10^{8} = 35\times10^{6}$ كولوم/كجم

$= 36\times10^{6}$ كولوم / كجم.

مثـــال: أشعة الكترونية تتحرك بسرعة 5×10^{5} م/ث دخلت مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه 0.08 تسلا فإذا كانت شحنة الإلكترون 1.6×10^{-19} كولوم أحسب القوة المؤثرة على هذه الأشعة في الحالات التالية:

1) الأشعة عمودية على المجال؟ 2) الأشعة تميل على المجال بزاوية 30^5؟

3) الأشعة موازية للمجال؟

الحـــــل

ع $= 5\times10^{5}$ $\beta = 0.08$ ش$_2$ $= 1.6\times10^{-19}$ ق = ؟

1) ق = ش$_c$ × ع × β × جا $\theta = 1.6\times10^{-19}\times5\times10^{5}\times0.08\times1 = 0.64\times10^{-14}$ نيوتن.

2) ق = ش$_c$ × ع × β × جا $\theta = 0.64\times10^{-14} \times \frac{1}{2} = 0.32\times10^{-14}$ نيوتن

3) ق = ش$_c$ × ع × β × جا $\theta = 0.64\times10^{-14}$ × صفر = صفر.

القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيار

الموصل وليكن سلك به شحنات كهربية تتحرك وعند وضعه في مجال مغناطيسي عمودي عليه تتأثر كل شحنة فيه بقوة مغناطيسية.

∵ ق = س$_2$ × ع × β

وإذا كان طول الموصل(ل) ويمر تيار شدته (ت) فإن سرعة الشحنات ع $= \frac{\text{الإزاحة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{الموصل طول}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{ل}}{\text{ز}}$

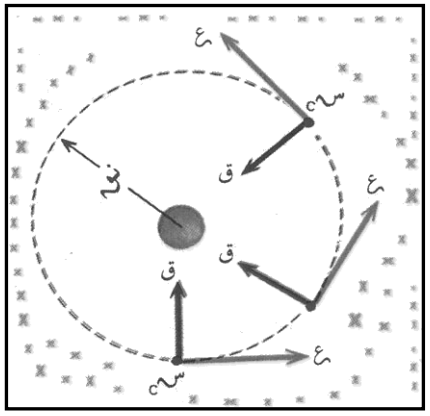
∴ **ق = ش$_c$ × $\frac{\text{ل}}{\text{ز}}$ × β**

∵ ت $= \frac{\text{ش}_c}{\text{ز}}$

∴ **ق = ت× ل × β نيوتن**

أما إذا كان السلك يضع زاوية θ مع اتجاه المجال.

∴ **ق = ت × ل × β × جا θ نيوتن**

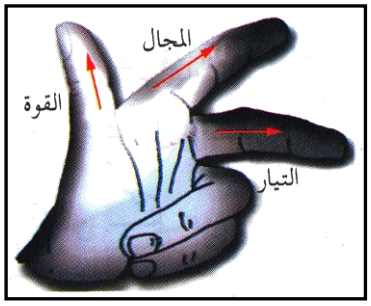


∴" إذا مر تيار كهربي في موصل موضوع بين قطبي مغناطيس فإنه يتأثر بقوة مغناطيسية تجعله يتحرك عمودي على اتجاه المجال واتجاه التيار".

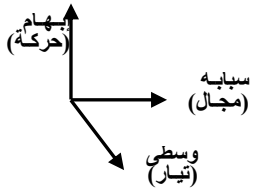
وتـعرف بظاهرة الموتور.

تـحـدد اتـجاه القوة المؤثرة على السلك (اتـجاه حركة السلك): تطبق قاعدة فلمنج لليد اليسرى التي تنص على:

"أجعـل أصـابع يـدك اليسـرى الـثلاث متعامـدة وهـم الإبهـام والسـبابة والوسطى بحيث تشير الوسطى إلـى اتجـاه التيـار والسبابة إلـى اتجـاه المجال المغناطيسي فإن الإبهام يشير إلى اتجاه الحركة"



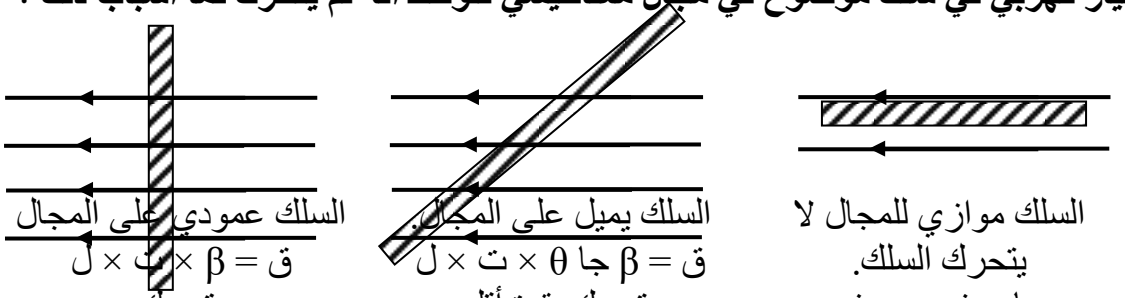
مثـــال: سلك طوله 2متر يمر به تيار شرته 0.5 أمبير موضوع في مجـال مغناطيسـي كثافـة فيضـه 0.8 تسـلا أحسب مقدار الزاوية المحصورة بين السلك وبين المجـال إذا تـأثر بقوة 0.4 نيوتن



الحل:

∴ق = ت × ل × β × جا **θ** ⇐ جا **θ** = ق ÷ ت ÷ ل ÷ β = 0.04 ÷ 0.5 ÷ 2 ÷ 0.08 = 1 ÷ 2 = 0,04 ÷ 0,08 ⇐ θ = 30° ⇐

أمر تيار كهربي في سلك موضوع في مجال مغناطيسي فلوحظ أنه لم يتحرك فما أسباب ذلك ؟



السلك موازي للمجال لا يتحرك السلك.
جا صفر = صفر

السلك يميل على المجال
ق = β جا θ × ت × ل
يتحرك بقوة أقل

السلك عمودي على المجال
ق = β × ت × ل
يتحرك

التأثير المغناطيسي لتيار كهربي

عرفنا أن التيار الكهربي له عدة تأثيرات مثل تأثير حراري ، وتأثير كيميائي فهل للتيار الكهربي تأثير مغناطيسي ؟

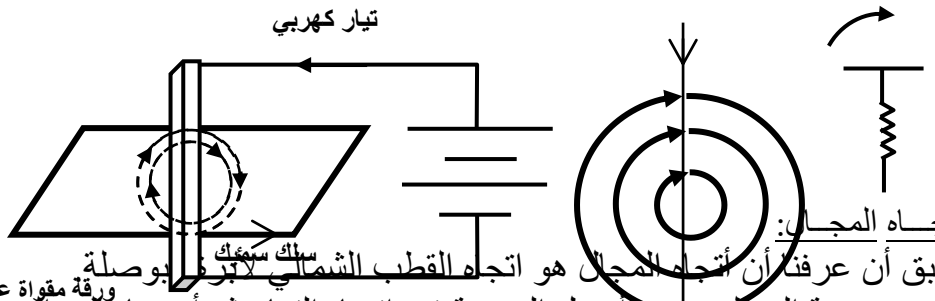
الإجابة: نعم فعند مرور تيار كهربي في سلك موزاي لأبرة بوصلة فأنها تنحرف وأول من أكتشف تلك العلاقة هو أورستيد ، وبذلك أمكن الحصول على مجال مغناطيسي من تيار كهربي.

أولاً : المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربي في سلك مستقيم.

تخطيط المجال:

1- أحضر سلك سميك مستواه عمودي على ورقة عليها برادة حديد وينفذ منها.
2- أمرر في السلك تيار كهربي وأطرق على الورقة.

وصف المجال: عبارة عن دوائر متحدة المركز ومركزها هو السلك ومستواها عمودي على التيار.



تحديد اتجاه المجال:

1- سبق أن عرفنا أن اتجاه المجال هو اتجاه القطب الشمالي لابرة البوصلة
2- قاعدة بريمة اليد اليمنى – اجعل البريمة في اتجاه التيار ثم أدرها باليد اليمنى فيكون اتجاه الدوران هو اتجاه المجال.
3- مقبض اليد اليمنى أمبير.

أقبض على السلك باليد اليمنى جاعلاً الأبهام في اتجاه التيار فيكون باقي الأصابع في اتجاه المجال.

العوامل التي تتوقف عليها:

1- شدة التيار(ت) β ت α - أي كلما زادت شدة التيار زادت كثافة الفيض β.
2- البعد عن السلك (ف) $\alpha \beta \frac{1}{ف}$ أي كلما زاد البعد عن السلك قلت كثافة الفيض.
3- نوع الوسط الفاصل – حيث لكل وسط معامل نفاذيه مغناطيس(μ_5).

$$\beta \alpha \frac{ت}{ف} \Leftarrow \beta = \text{ثابت} \times \frac{ت}{ف} \Leftarrow \beta = \frac{ت}{ف} \times \frac{\mu_5}{\prod 2}$$ تسلا

في حالة الهواء $\mu_0 = \prod 4 \times 10^{-7}$ وبر/ أمبير.م

$$\therefore \beta = \frac{ت}{ف} \times \frac{\prod 4 \times 10^{-7}}{\prod 2} \qquad \frac{ت}{ف} \times \beta = 2 \times 10^{-7}$$

مثـــال(1): أحسب كثافة الفيض المغناطيسي في الهواء عند نقطة تبعد 4سم عن سلك طويل يحمل تيار شدته 8 أمبير؟

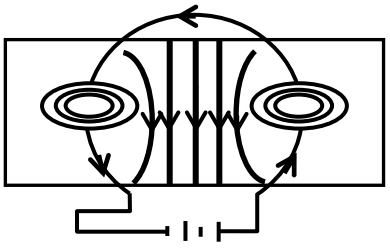
الحـــل

$\beta = ؟$ ف = 4سم = 4×10^{-2}م ت = 8

$\because 10^{-7} \times 2 = \frac{ت}{ف} \times \beta = 10^{-7} \times 2 \times \frac{8}{10^{-2} \times 4} = 10^{-5} \times 4$ تسلا.

ثانياً : المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في ملف دائري

عند مرور تيار في ملف دائري ينشأ مجال مغناطيسي.



شكـل المجال

1- عند الأطراف خطوط منحنية (بيضاوية) يقل انحناؤها كلما اقتربنا من المركز.

2- عند المركز خطوط مستقيمة متوازية مستواها عمودي على الملف ، ويمكن حساب كثافة الفيض في المركز من العلاقة:

العوامل التي تتوقف عليها كثافة الفيض عند مركز الملف الدائري:

(1) شدة التيار المار في الملف $\beta \alpha$ ت

(2) عدد لفات الملف $\beta \alpha$ ت

(3) نصف قطر الملف $\beta \alpha \frac{1}{نق}$

(4) نوع الوسط الفاصل

$$\beta = \mu_5 \times \frac{ت \times ن}{2 \text{ نق}} \text{ تسلا}$$

ملحوظة: يمكن إيجاد اتجاه المجال بواسطة أي طريق مما سبق في السلك.

مثـــال(1): ملف دائري نصف قطرة 11سم وعدد لفاته 35لفة مر فيه تيار كهربي شدته 2 أمبير أحسب كثافة الفيض عند مركز الملف بفرض الوسط هو الهواء؟

الحـــل

نق = 11سم = 11×10^{-2}م ن = 35 ت = 2 β=؟

$$\beta = \mu_5 \times \frac{ت \times ت}{2 \text{ نق}} = \frac{ت \times ن \times 10^{-7} \times 4 \times \pi 10}{2 \text{ نق}} = \frac{35 \times 2 \times 10^{-7} \times 22 \times 4}{10^{-2} \times 11 \times 2 \times 7} = \frac{40 \times 10^{-7}}{10^{-2}} = 40 \times 10^{-5}$$

$= 4 \times 10^{-4}$ تسلا

مثـــال: سلك مستقيم طوله 26.4سم يحمل تيار. فكم تكون كثافة الفيض عند نقطة على بعد 4سم منه إذا كانت شدة التيار المارة 5 أمبير وإذا أنحنى هذا السلك على شكل قوس من دائرة نصف قطرها 6سم. فما كثافة الفيض عند مركزه؟

الحـــل

أولاً : السلك المستقيم ل.

$$\beta = 2 \times 10^{-7} \times \frac{\text{ت}}{\text{ف}} = \frac{2 \times 10^{-7} \times 5}{4 \times 10^{-2}} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ تسلا}$$

ثانياً: عند انحناء السلك على شكل قوس من دائرة :

$$\text{عدد اللفات} = \frac{\text{طول السلك}}{2\pi \text{ نق}} = \frac{264}{6 \times \frac{22}{7} \times 2} = \frac{264}{6 \times (7/44)} = 0.7 \text{ لفة}$$

$$\beta = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2} \times \frac{\text{ن} \times \text{ت}}{\text{نق}} = \frac{44 \times 10^{-7} \times 5 \times 0.7}{6 \times 0.06} = 36.6 \times 10^{-8} \text{ تسلا}$$

ثالثاً: المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف حلزوني طويل

<u>الملف الحلزوني:</u> هو ملف دائري ابعدت لفاته لذلك عند مرور التيار فيه ، يعطي مجال يشبه المجال المغناطيسي الناشئ عن مغناطيس ، ولكن في هذه الحالة أفضل لأنه يمكن التحكم في كثافة الفيض عن طريق زيادة شدة التيار أو زيادة عدد اللفات أو بوضع سيقان من الحديد المطاوع داخله (نفاذيته كبيرة لخطوط الفيض).

<u>شكل المجال:</u>

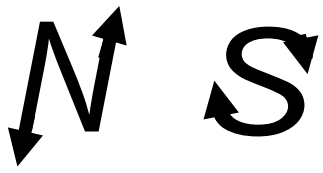
1) داخل الملف خطوط متوازية والمجال منتظم.
2) خارج الملف خطوط متباعدة تشبه مجال قضيب مغناطيسي.

<u>تحديد اتجاه المجال:</u>

يمكن تحديد نوع أقطابه عن طريق معرفة اتجاه مرور تيار باستخدام قاعدة عقارب الساعة.
" ننظر إلى وجه الملف الخارج بحيث إذا كان اتجاه التيار ضد اتجاه عقارب الساعة كان القطب شمالي وإذا كان اتجاه التيار مع عقارب الساعة يكون القطب جنوبي"

<u>العوامل التي تتوقف عليها كثافة الفيض عند أي نقطة على محور الملف:</u>

(1) طول الملف $\beta \ \alpha \ \frac{1}{\text{ل}}$
(2) شدة الملف $\beta \ \alpha \ \text{ت}$
(3) عدد لفات الملف $\beta \ \alpha \ \text{ن}$
(4) نوع الوسط الفاصل



إذا كان الوسط هواء: $\therefore \beta = \mu_s \frac{\text{ن} \times \text{ت}}{\text{ل}}$ تسلا

$$\beta = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{\text{ن} \times \text{ت}}{\text{ل}}$$

حيث ⇐ ل: طول محور الملف وليس طول الملف.
ويلاحظ أن β لا تتوقف على نصف قطر الملف الحلزوني.
مثـــال(1): ملف حلزوني طوله 1متر عدد لفاته 70 لفه يمر بـه تيار شدته0.2 أمبير أحسب كثافة الفيض عند نقطة على محوره علماً بأن قلبه هواء؟

الحـــل

ل = 1 ن = 7 ت = 0.2 β = ؟

$$\beta = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} = 4 \times \frac{22}{7} \times 10^{-7} \times \frac{70 \times 0.2}{1}$$

$\beta = 176 \times 10^{-7}$ تسلا.

مثـــال(2):
ملف دائري قطره 12سم يمر به تيار كهربي ويولد مجال مغناطيسي عند مركزه. فإذا أبعدت لفاته بانتظام في اتجاه محوره ليصبح ملفاً حلزونياً يمر بـه نفس التيار فأصبحت كثافة الفيض داخلـه وفي نقطة على محوره 2/1 كثافة الفيض عند مركز الملف الدائري. فما طول محور الملف الحلزوني.

الحـــل

ملف دائري: نق $= \frac{12}{2} =$ 6سم $=$ 0.06 م

ملف لولبي $\beta = \frac{1}{2}\ \beta$ دائري ت ثابتة ن ثابتة.

$$\beta \text{ دائري} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{2\ \text{نق}}$$

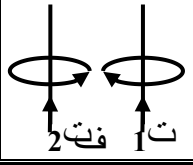
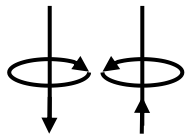
$$\beta \text{ حلزوني} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}} \text{ (بالقسمة)}$$

$$\frac{\beta \text{ حلزوني}}{\beta \text{ دائري}} = \frac{2\ \text{نق}}{\text{ل}}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{0.06 \times 2}{\text{ل}} \Leftarrow \text{ل} = 0.24 \text{ م} \Leftarrow \text{ل} = 24\text{سم}$$

القوة المغناطيسية بين موصلين مستقيمين متوازيين محملان تيارين كهربائين:
إذا وضعنا سلكاً مستقيمان متوازيان يحملان تيار في اتجاه واحد نلاحظ أن السلكان يتجاذبان أما إذا كان التيار في السلكيين في اتجاهين متعاكسين فإن السلكان يتنافران.
تفسير التجاذب والتنافر بين السلكيين:
(1) إذا مر تيار في اتجاه واحد في السلكيين وكما في الشكل يتولد مجالين مغناطيسيين متضاديين حسب قاعدة اليد اليمنى لأمبير فتكون كثافة الفيض في الداخل صغيرة وفي الخارج كبيرة فيتحرك السلكان للداخل أي من المجال الأقوى للمجال الأضعف فيتجاذب السلكان.
(2) إذا مر تيار كهربي في اتجاهين متعاكسين في السلكيين:
وكما في الشكل يتولد بين السلكيين مجالين في نفس الاتجاه فتكون كثافة الفيض في الداخل كبيرة وفي الخارج صغيرة فيتحرك السلكان للخارج أي يتنافر السلكان.

مرور تيار كهربي في سلكين متوازين

التياران في اتجاه واحد	التياران في اتجاهين متضادين
β بينهما صغيرة. β خارجهما كبيرة. يتجاذب السلكان 	β بينهما كبيرة. β خارجهما صغيرة. يتنافر السلكان 

حساب قوى التجاذب أو التنافر:

1- عند مرور تيار في السلك الأول يولد مجال مغناطيسي كثافته β_1 ومقداره عند السلك الثاني هو :

$$\beta_1 = 2 \times 10^{-7} \times \frac{ت_1}{ف}$$

2- هذا المجال عمودي على السلك الثاني فيتأثر بقوة.

ق=β_1×ت2×ل2،وبالتعويض β_1عن تصبح $\boxed{ق = 2 \times 10^{-7} \times \frac{ت_1 \times ت_2 \times ل_2}{ف}}$ نيوتن

3- هذه القوة تسمى القوة المتبادلة بين السلكين.

مثـــال: (1) :

سلكان مستقيمان متوازيان المسافة بينهما في الهواء 15سم يمر في كل منهما تيار شدته 5 أمبير. أوجد كثافة الفيض عند نقطة بينهما وعلى بعد 5سم من أحدهما إذا كان طول كل منهما 30سم.

أولاً : إذا كان التياران في اتجاه واحد.

ثانياً : التياران في اتجاهين متضادين.

ثالثاً : مقدار القوة المتبادلة بين السلكين.

الحـــــل

أولاً : التيارات في إتجاه واحد :

$$\beta_1 = 2 \times 10^{-7} \times \frac{5}{0.05} = 2 \times 10^{-5} \text{ تسلا}$$

$$\beta_2 = 2 \times 10^{-7} \times \frac{5}{0.1} = 10^{-5} \text{ تسلا}$$

بما أن التياران في اتجاه واحد إذن : β في اتجاهين متضاديين

$$\beta_{\text{الكلية}} = \beta_1 - \beta_2 = 2 \times 10^{-5} - 10^{-5} = 10^{-5} \text{ تسلا}$$

وإذا كان التيارات في اتجاهين متضادين كان المجالين في إتجاه واحد

$$\beta_{\text{الكلية}} = \beta_1 + \beta_2 = 2 \times 10^{-5} + 10^{-5} = 3 \times 10^{-5} \text{ تسلا}$$

ثالثاً : لحساب القوة المتبادلة :

$$ق = 2 \times 10^{-7} \times \frac{ت_1 \times ت_2 \times ل}{ف} = \frac{2 \times 10^{-7} \times 5 \times 5 \times 0.3}{0.15} = 10^{-5} \text{ نيوتن}$$

تذكـــر أن

1- المغناطيس قطعة من الحديد الصلب أو الحديد المطاوع تجذب برادة الحديد فقط، ومن أشكاله القضيب – حدوة الفرس.

2- خواص المغناطيس له قضبان متساويان في الشدة (قوة جذب برادة الحديد) ومختلفان في النوع (احدهما شمالي والأخر جنوبي) مهما صغر حجمه.

3- المغناطيس الدائم يكون من الحديد الصلب ولا يفقد المغنطة إلا بالطرق أو التسخين.

4- تتوقف قوة التجاذب والتنافر بين مغناطيسين على :

1. شدة القطب. 2. المسافة بينهما. 3. نوع الوسط الفاصل.

$$ق = \frac{ش_1 \times ش_2}{ف^2} \times 4\Pi \times 10^{-7}$$ في الهواء.

وتزداد في حالة الحديد لأن نفاذيته لخطوط الفيض أكبر من الهواء.

5- المجال المغناطيسي : منطقة حول المغناطيس ويوجد فيها خطوط وهمية تسمى خطوط الفيض المغناطيسي التي تشبه خيوط مرنة تحاول تقصر طولها ومتوازية ولا تتقاطع وتخرج دائماً من القطب الشمالي وتدخل إلى الجنوبي في مسار مغلق.

6- كثافة الفيض β: هي عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي تمر عمودياً خلال واحد متر مربع :

$$\beta = \frac{\Phi}{س} =$$ وبر / م^2

7- إذا أطلق جسيم مشحون في مجال مغناطيسي :

أ- موازياً للمجال : لا يتأثر بأي قوة.

ب- عمودياً على المجال : يتأثر بالقوة.

ج- عمودية على اتجاه حركته : يدور في مسار دائري $ش = \beta ع \times \frac{ك ع^2}{نق}$

د – إذا كانت مائلة على المجال بزاوية θ تتأثر بقوة = ش ع β جا θ وتدور في مسار حلزوني.

8-

المجال المغناطيسي لسلك مستقيم	المجال المغناطيسي لملف دائري	المجال المغناطيسي لملف حلزوني
دوائر متحدة المركز والسلك مركزها مستواه ⊥ السلك. $\beta = 2\times10^{-7} \times$ (ت / ف)	عند الحواف منحية في المركز خطوط مستقيمة مستواها ⊥ الملف $\beta = 2\Pi\times10^{-7}\times$(ت×ن/نق)	في المحور خطوط مستقيمة متوازية وخارجه تشبه المغناطيس يحدد نوع القطب باتجاه التيار.

		$\beta_{\text{محور}} = 4\Pi \times 10^{-7} \times \frac{\text{ت} \times \text{ن}}{\text{ل}}$

9- إذا وضع سلك يحمل تيار في مجال مغناطيسي فأنه يتأثر بقوة.

ق = β جاθ × ت × ل إذا كان مائلاً على المجال ، وإذا كان موازياً للمجال لا يتأثر بأي قوة.

10- قاعدة مقبض اليد اليمنى: تستخدم لتحديد إتجاه المجال لسلك مستقيم، وتنص على أنه إذا قبض على السلك باليد اليمنى جاعلاً الأبهام في اتجاه التيار فتكون باقي الأصابع في اتجاه المجال.

11- قاعدة فلمنج لليد اليسرى: تستخدم لإيجاد اتجاه القوة المحركة لسلك يحمل تيار " أفرد أصابع اليد اليسرى الثلاث الأبهام والسبابه والوسطى بحيث تكون متعامدة معاً فإذا كان الوسطى في اتجاه التيار والسبابه في اتجاه المجال كان الأبهام يشير إلى اتجاه القوة".

12- عند مرور تيار كهربي في سلكين مستقيمين متوازيان فأنهما يتنافران إذا كان اتجاه التيار فيها في اتجاهين متضادين ، ويتجاذبان إذا كان اتجاه التيار فيهما واحد ، ومقدار القوة المتبادلة هي =

$$\frac{2 \times 10^{-7} \times \text{ت}_1 \times \text{ت}_2 \times \text{ل}}{\text{ف}}$$

أسئلة تقويم الوحدة

س1: أجب بوضعك (✓) أو (×) في كلٍ مما يأتي:

1- لكل مغناطيس قطبان مغناطيسيان مختلفان في الشدة ( )
2- القطب الشمالي للبوصلة هو أصلاً قطب جنوبي. ( )
3- يتكون المغناطيسي من مجموعة من المناطق تمثل كل منها مغناطيساً قوياً ( )
4- عندما تنتظم أقطاب مجموعة المناطق في قطعة الحديد، فإنه يصبح مغناطيساً ( )
5- خطوط القوة المغناطيسية ليست نفسها خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس ( )
6- تتجه خطوط المجال المغناطيسي داخل المغناطيس من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.
7- لعزل أي مجال مغناطيسي تستخدم مواد غير مغناطيسية.
8- خطوط القوة المغناطيسية لا ترى بالعين المجردة.
9- خطوط القوة من خارج الملف اللولبي الحامل لتيار كهربائي تكون متوازية ومنحنية.

س2: علل لما يأتي:

1- خطوط المجال المغناطيسي كثيفة عند قطبي المغناطيس.
2- يفضل استخدام الحديد المطاوع عند صنع مغناطيس مؤقت بينما يفضل الحديد الصلب عند صناعة مغناطيس دائم.
3- مغناطيس من الحديد الصلب وجد على الأرض، وقد فقد مغناطيسيته.
4- انكسر مغناطيس فأصبح مغناطيسيين صغيرين.

س3: أجر عملياً:

- خطط المجال المغناطيسي عملياً باستخدام إبرة مغناطيسية، ومغناطيس.
- ما شكل المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف دائري. أثبت ذلك عملياً.
- لديك بوصلة ومغناطيس، كيف تستخدمهما في تعيين موضع الأقطاب المغناطيسية عملياً؟

س4: أختر الإجابة الصحيحة وضع دائرة حولها:

1- المجال المغناطيسي لملف حلزوني يكون:

أ- لولبي. ب- دائري. ج- موازٍ لمحور الملف. د- متعامد مع محور الملف.

2- الجسم المشحون حينما يكون ساكناً يوجد حوله:

أ- مجالاً مغناطيسياً. ب- مجالاً كهربائياً.

ج- (أ، ب) د – لا شيء مما سبق.

3- إذا وضعت بوصلة داخل ملف حلزوني يمر فيه تيار كهربائي؛ فإن طرفيها سيشيران إلى:

أ- اتجاه الشمال والجنوب للملف ب- اتجاه الشمال والجنوب الجغرافيين.

ج- اتجاه الشمال والجنوب للمغناطيس د- لا شيء مما ذكر.

4- سلك طوله 0.566 متراً يحمل تياراً شدته 21أمبير في وجود مجال مغناطيسي مقداره 0.74تسلا، فإذا أثرت في السلك قوة مغناطيسية في المجال مقدارها 4.4نيوتن، فإن الزاوية بين السلك والمجال المغناطيسي هي:

أ) صفرْ ب) 30^5 ج) 45^5د) 90^5

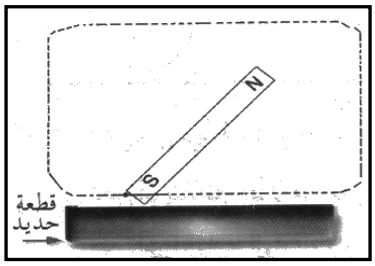
5- إذا كنت كثافة الفيض المغناطيسي في الهواء عند نقطة 3×10^{-5} تسلا ناتجة عن مرور تيار مقداره (3) أمبير في سلك طويل؛ فإن هذه النقطة تبعد عن السلك مسافة:

أ) 2سم. ب) 3سم. ج) 1.5سم. د) 1سم.

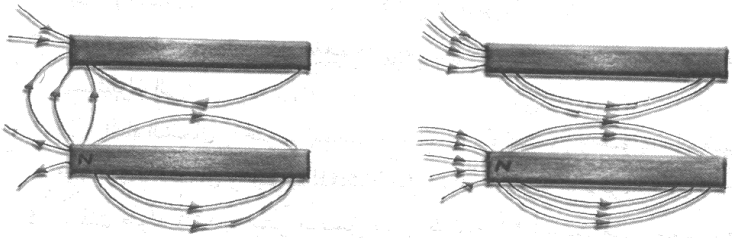
س5: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- كيف تعين القطب الشمالي والجنوبي للمغناطيس؟

2- قطعة حديد مستطيلة الشكل دلكت عدة مرات بمغناطيس كما هو موضح بالشكل الآتي: أعد رسم الشكل في كراستك، ثم سم قطبي القطعة بعد ذلك.



3- لديك الأشكال الآتية الغير مكتملة الخطوط والمجالات المغناطيسية تكونت عندما وضعنا قطبان مغناطيسيان بجانبي بعضهما بطريقتين مختلفتين أعد رسم الشكل في كراستك ثم:



أ- أكمل رسم خطوط المجال.

ب-سم الأقطاب المغناطيسية.

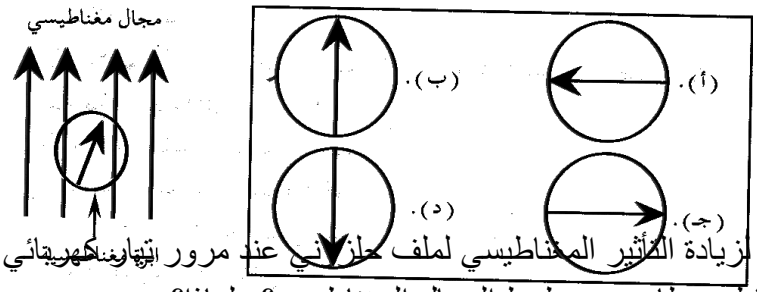
ج- حدد اتجاه الخطوط.

د- أشر إلى أين تقع نقطة التعادل إن وجدت.

4- في أي اتجاه تشير إبرة البوصلة إذا وضعت في نقطة التعادل بين مجالين مغناطيسيين.

5- قارن بين الخواص المغناطيسية لكل من الحديد المطاوع، والحديد الصلب.

6- إبرة مغناطيسية صغيرة وضعت في مجال منتظم كما هو موضح بالشكل ففي أي اتجاه ستشير الإبرة المغناطيسية عندما تستقر؟



س6: اقترح بطريقتين لزيادة التأثير المغناطيسي لملف حلزوني عند مرور تيار كهربائي

س7: هل يمكن أن يتقاطع خطان من خطوط المجال المغناطيسي؟ ولماذا؟

س8: استنتج رياضياً القانون العام للتجاذب، والتنافر للمغناطيسية.

س9: يمر تيار شدته (2) أمبير في سلك طوله (50)سم موضوع في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه (0.1) تسلا. أحسب القوة المؤثرة في هذا السلك في الحالات الآتية:

1- السلك مواز لاتجاه المجال المغناطيسي.

2- السلك صنيع زاوية (45^{5}) مع اتجاه المجال المغناطيسي.

3- السلك عمودي على اتجاه المجال.

س10: يتحرك إلكترون بسرعة 3×10^{7}متر/ث عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي كثافة الفيض فيه 0.4تسلا. أوجد القوة المؤثرة في الإلكترون. علماً بأن شحنة الإلكترون1.6×10^{-8} كولوم.

س11: أكتب بالرموز القوانين الآتية:

1- كثافة الفيض (φ) عند نقطة تبعد (ف) متر عن سلك مستقيم.

2- كثافة الفيض (B) في مركز ملف دائري يمر فيه تيار شدته (ت)، ونصف قطر الملف (نق)

كثافة الفيض (B) عند نقطة موجود في ملف حلزوني عدد لفاته وحدة الأطوال $\frac{ن}{ل}$

إجابة تقويم الوحـدة

س1 : ضع (✓) أم (✘) :

أ- ✓ ب- ✘ ج- ✓ د- ✓ و- ✘

ز- ✘ ح- ✓ ط- ✓ ى- ✓

س4 : 1=جـ 2=ب 3=جـ 4=ب 5=أ

س3/ وضح بالرسم وعليه البيانات المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربي في:

أ) سلك مستقيم. ب) ملف دائري. جـ) ملف لولبي.

ثم أذكر صفات المجال لكل منهم؟

س4/ أذكر العوامل التي تتوقف عليها كثافة الفيض عند مركز ملف دائري عند نقطة تبعد مسافة عن سلك مستقيم؟

جـ2/

أ- لأن شدة المجال تزداد عند الأقطاب وتقل كلما ابتعدنا عنها.

ب- لأن الحديد المطاوع مغنطته مؤقتة أي يتمغنط بسهولة ويفقدها بسهولة أيضاً أما الحديد الصلب فمغنطته دائمة أي يتمغنط بصعوبة ويفقدها بصعوبة أيضاً.

جـ- وذلك بالطرق عليه أو بتسخينه فيفقد مغنطته.

د- لأن أي مغناطيس له قطبان ولذلك عند كسره يصبح مغناطيسين صغيرين.

جـ6/

1- بإنقاص طول الملف حيث $\alpha\ \beta\ \frac{1}{ل}$

2- بزيادة شدة تيار الملف حيث $\alpha\ \beta$ ت

3- بزيادة عدد لفات الملف حيث $\alpha\ \beta$ ن

جـ7/ لأن خطوط الفيض تتنافر مع بعضها وأيضاً لأنها خطوط قوة فتكون محصلتها قوة واحدة فقط.

جـ9/

أ) ق = ت × ل × β جا θ = 2× 0.5× 0.1 × صفر = صفر.

ب) $= 2 \times 0.5 \times 0.1 \times \frac{1}{2} = 0.07$ نيوتن.

ج) ق = 2× 0.5× 0.1 ×1 = 0.1 نيوتن.

جـ10/ ق = س× ع× β× جا θ =1× 0.4×10^{7} ×3×10^{-19} ×1.6 =1.92×10^{-12} نيوتن

(تصحح شحنة الإلكترون في الكتاب بدلاً من 1.6 × 10^{-8} ⇐ 1.6× 10^{-19})

أسئلة عامـة على الوحدة

س1/ أكمل ما يأتي:

1- للمغناطيس..... مختلفان في.....

2- تتجه خطوط المجال المغناطيس داخل المغناطيس من القطب..... إلى القطب..... بينما خارج المغناطيس تتجه من..... إلى.....

3-المجال المغناطيسي لمغناطيس.....ووحدته.....

4- القوة المغناطيسية بين قطبين تتناسب طردياً مع..... وعكسياً مع..... وتختلف باختلاف.....

5-..... هو عدد خطوط القوة المار.....على وحدة المساحات المحيطة بالنقطة وتقاس بوحدة.....

6- الفيض المغناطيسي خلال سطح ما هو..... ووحدته.....

س2/ علل لما يأتي:

1- مغنطة الحديد عند وضعه في مجال مغناطيسي خارجي.
2- التجاذب بين الأقطاب المغناطيسية المختلفة.
3- عدم تغير سرعة شحنة بتحركه عمودي على مجال مغناطيسي.
4- عدم تأثر شحنه كهربية بتحرك موازي لمجال مغناطيسي.
5- يوضع قلب حديدي للملف اللولبي.
6- حدوث التجاذب لسلكيين يمر بهما تياران في اتجاه واحد.

مسائـل

1- قضبان مغناطيسيان أحدهما شدته 30 أمبير. متر والآخر 40 أمبير. متر بينهما هواء فإذا كانت القوة بين القضيبين0.048 نيوتن أحسب المسافة بينهم؟ علماً بأن هـ= 720 نيوتن/ أمبير^2.

2- مجال مغناطيسي منتظم كثافته فيضه 0.2 وتسلا مر خلال سطح مساحته 100 متر^2 أحسب الفيض المغناطيسي المار إذا كان السطح:

أ) عمودي على المجال؟

ب) مائل على المجال بزاوية 30^5؟ (2 وبر – اوبر)

3- أحسب عدد اللفات التي يجب لفها على ملف دائري نصف قطره 25سم لتكون كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز الملف 2× 10^{-5} وبر/م^2 عند مرور تيار شدته $\frac{1}{12}$ أمبير (25 لفه).

4- ملف حلزوني طوله $\frac{\Pi}{10}$ متر يحتوي على 300 لفه من السلك المعزول ما شدة التيار الذي يدب إمراره به لتكون كثافة الفيض عند منتصف محورة 1.2× 10^{-4} وبير/ م^2 (0.1 أمبير)

5- ملف دائري نصف قطره 5سم يعطي عند مركزه نصف الفيض المغناطيسي الذي يعطيه ملف لولبي عند نقطه على محورة بالداخل عندما يمر بهما نفس شدة التيار فإذا كان عدد لفات الملف الحلزوني 100 لفة وطوله 20سم فما عدد لفات الملف الدائري؟ (50 لفه).

6- ملف دائري قطر لفاته 10سم يمر به تيار كهربي يولد مجال مغناطيسي عند مركزه كثافته 5 × 10 $^{-5}$ تسلا أبعدت لفاته عن بعضها بانتظام حتى أصبح طوله 20سم – أحسب كثافة الفيض عند نقطة على محوره. (2.5× 10 $^{-5}$)

7- وضع سلك مستقيم يمر به تيار شدته 1.1 أمبير مماساً لملف دائري وفي نفس مستوى لفاته ويمر فيه تيار شدته 0.07 أمبير فلوحظ انعدام المجال المغناطيسي في في مركز الملف أوجد عدد لفات الملف. (5)

8- مجال مغناطيسي يؤثر بقوة 0.24 نيوتن على سلك طوله 8سم ويحمل تيار شدته 3 أمبير عمودي على المجال. فما مقدار القوة التي يؤثر بها نفس المجال على سلك طوله 20سم ويحمل نفس التيار. (0.6)

9- سلك طوله 40سم يحمل تيار شدته 2.5 أمبير موضوع في مجال مغناطيس منتظم كثافة فيضه 0.01 تسلا أحسب القوة المؤثرة في السلك عندما يقع زاوية 60^5 مع اتجاه المجال.(0.00866 نيوتن).

10- السلكان المتعلان بين بطارية ومحرك سيارة تفصلهما مسافة مقدارها 1سم فإذا كان طول كل منهما 40سم وكانا متوازيين فأحسب مقدار القوة ونوعها المتبادلة بينهما علماً بأن شدة التيار في كل منهما 300 أمبير (0.72 نيوتن - تنافر)

11- قذف بروتون بسرعة 2×10^{7}م/ث في مجال مغناطيسي كثافة فيضه 1.5 تسلا بزاوية 30^{5} أحسب القوة التي يتأثر بها علماً بأن شحنته1.6×10^{-19} كولوم.(2.4×10^{-12}نيوتن).

12- إلكترون شحنته 1.6×10^{-19} كولوم موضوع في مجال مغناطيس كثافة فيضه 0.03 تسلا يعاني قوة مقدارها 0.01×10^{-5} ميكرونيوتن أحسب سرعة الإلكترون؟ (2.08×10^{7} م/ث)

13- أيون كتلته 2×10^{-26} كجم وشحنته 1.6×10^{-19} كولوم وجد أن نصف قطر انحناء مسارة 1 متر في مجال مغناطيسي كثافة فيضه 1.5 تسلا أوجد سرعة الأيون؟ (1.2×10^{7} م/ث)