5-2 القوة المغناطيسية بين موصلين متوازيين
The magnetic force between two parallel conductors

تعلمنا من المحاضرة رقم 2 الفقرة 1-3 أن كل سلك موصل يمر به تيار ينشئ حوله مجالاً مغناطيسياً وأن لكل مجال مغناطيسي قوة مغناطيسية تؤثر على سلك يمر به تيار ولهذا اذا وجد سلكين موصلين تفصلهما مسافة a كما في الشكل 10 ويمر بكل منهما تيار كهربائي I_1 و I_2 فإن المجال المغناطيسي B_2 الناشئ عن التيار الثاني يؤثر بقوة مقدارها F_1 . يمكن التعبير عن القوة التي يؤثر بها موصل على اخر كما في الخطوات التالية:

لنعتبر المجال المغناطيسي الناشئ عن السلك 2 والتي تعطى قيمته بالمعادلة التالية:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \tag{32}$$

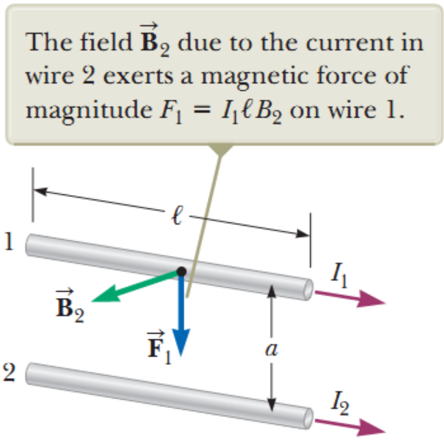
يقع السلك الثاني في المجال المغناطيسي للسلك الاول وبالتالي فإن القوة المغناطيسية F_1 تعطى بالمعادلة التالية:

$$F_1 = I_1 l B_2 = I_1 l \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}\right) = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi a} \tag{33}$$

والقوة لكل وحدة اطوال تعطى بالعلاقة التالي:

$$\frac{F_1}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi a} I_1 I_2 \tag{34}$$

تكون القوة بين السلكين قوة تجاذبيه إذا كان التيار في السلكين في نفس الاتجاه وتكون القوة المتبادلة قوة تنافريه إذا كان التيار في السلكين في عكس الاتجاه.



الشكل (10): سلكين موصلين تفصلهما مسافة ويمر بكل منهما تيار كهربائي I_1 و I_2 .

طبقاً للمعادلة (34) فقد تم تعريف الأمبير (وحدة التيار) في نظام (S.I.) كالآتي:

(هو شدة ذلك التيار الذي إذا مر في سلكين متوازيين طويلين المسافة بينهما متر واحد حدثت قوة متبادلة قدرها 2×10^{-7} نيوتن لكل متر طولي كل من السلكين) لأن القوة المؤثرة على وحدة الاطوال من كل منهما هي:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} I_1 I_2 = 2 \times 10^{-7} \times 1 \times 1 = 2 \times 10^{-7} N/m$$

6-2 الجهد المغناطيسي Magnetic potential

أحد مظاهر الاختلاف بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي يكمن في وجود شكلين مختلفين تماما للجهد المغناطيسي وهما:

2- 6-1 الجهد المغناطيسي العددي Magnetic scalar potential

يمكن ان يكتب الحث المغناطيسي في النظام العالمي (S.I.) بدلالة دالة جديدة V_m بالصورة التالية:

$$B = -\mu_0 \nabla V_m = -\mu_0 \text{ grad } V_m \qquad \textbf{(35)}$$

حيث أن V_m تسمى الجهد المغناطيسي العددي، أو الجهد المغناطيسي الاستاتيكي (magnetostatic potential). وحدة الجهد المغناطيسي العددي في النظام العالمي هو الأمبير.

$$\because \quad \nabla . B = 0 \qquad \textbf{(36)}$$

$$\nabla . B = -\mu_0 \nabla^2 V_m = 0$$

$$\therefore \quad \nabla^2 V_m = 0 \qquad \textbf{(37)}$$

2- 6-2 الجهد المغناطيسي الاتجاهي Magnetic vector potential

المعادلة 37 صحيحة لكل المجالات المستقرة (steady fields) ولذلك يمكن التعبير عن B بالعلاقة

$$B = curl\ A = \nabla \times A$$

حيث A يسمى بالجهد المغناطيسي الاتجاهي. ويمكن استخراج الصيغة الرياضية لها عن طريق قانون بيوت – سافارت:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int d\vec{l} \times (-\vec{\nabla} \frac{1}{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \nabla \times \int \frac{dl}{r}$$

$$B = \nabla \times (\frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{dl}{r}) \qquad \text{but} \qquad B = \nabla \times A$$

$$\therefore \quad A = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_C \frac{dl}{r}$$

س1: ملف دائري عدد لفاته 200 لفة ومتوسط نصف قطره 20cm ويمر به تيار كهربائي قيمته 3.5A، احسب:

1. **شدة المجال المغناطيسي والحث المغناطيسي والعزم المغناطيسي في مركز الملف.**
2. **الحث المغناطيسي على بعد 8 cm من مركز الملف.**

$$H=\frac{NI}{2a}=\frac{200\times3.5}{2\times20\times10^{-2}}=1.75\times10^{3}\ A/m$$

$$B=\mu_0 H=4\pi\times10^{-7}\times1.75\times10^{3}=2.2\times10^{-3}\ Wb/m^2$$

$$P_m=N\pi a^2 I=200\pi(20\times10^{-2})\times3.5=88\ Am^2$$

$$B=\frac{\mu_0 N I a^2}{2(a^2+x^2)^{3/2}}$$

$$B=\frac{4\pi\times10^{-7}\times200\times3.5\times(20\times10^{-2})^2}{2\times\{(20\times10^{-2})^2+(8\times10^{-2})^2\}^{3/2}}$$

$$\therefore B=1.78\times10^{-3}\ Wb/m^2$$

س2:

يمر تيار كهربي I في سلك رفيع وطويل نتج عنه مجال مغناطيسي قيمة حثه $10^{-4}T$ عند نقطة تبعد 5cm من منتصف السلك:

ا ـ ما قيمة هذا التيار.

ب ـ بقيمة التيار نفسها الواردة في الفقرة (ا) ماذا تكون قيمة الحث المغناطيسي عند النقطتين 0.1m و 0.2m.

جـ ـ ما قيمة شدة المجال المغناطيسي في الحالات السابقة.

د ـ إذا كانت قيمة التيار 10A ما هو بعد النقطة التي يكون عندها الحث المغناطيسي مساوياً لـ $10^{-4}Wb/m^2$.

الحـــــل

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

$$\therefore I=\frac{2\pi r B}{\mu_0}=\frac{2\times\pi\times5\times10^{-2}\times10^{-4}}{4\times\pi\times10^{-7}}=25\ A$$

$$B_1=\frac{4\times\pi\times10^{-7}}{2\times\pi}\frac{25}{0.1}=5\times10^{-5}\ T$$

$$B_2=\frac{4\times\pi\times10^{-7}}{2\times\pi}\frac{25}{0.2}=2.5\times10^{-5}\ T$$

$$H_1=\frac{B_1}{\mu_0}=\frac{5\times10^{-5}}{4\times\pi\times10^{-7}}=39.79\ A/m$$

$$H_2 = \frac{B_2}{\mu_0} = \frac{2.5 \times 10^{-5}}{4\times\pi\times10^{-7}} = 19.89\ \text{A/m}$$

$$r = \frac{\mu_0 I}{2\pi B} = \frac{4\times\pi\times10^{-7}\times10}{2\times\pi\times10^{-4}} = 0.02\ \text{m}$$

س3: يمر تيار كهربي قدره 5A في ملف حلزوني حلقي عدد لفاته 1500 ومتوسط نصف قطره 7.5cm احسب الحث المغناطيسي الناتج عن هذا التيار.

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} = \frac{4\pi x 10^{-7}\, x 1500 x 5}{2\pi x 7.5 x 10^{-2}} = 2x10^{-2} Wb/m^2$$

س :4

سلكان طويلان ومتوازيان يمر بكل منهما تيار كهربي قيمته I فإذا كانت المسافة بينهما 2a احسب متجه الحث المغناطيسي B في منتصف المسافة بينهما في الحالات التالية :

ا ـ للتيارين الاتجاه نفسه. ب ـ التياران متعاكسان في الاتجاه.

جـ ـ السلكان متعامدان. د ـ السلكان متعامدان وقيمة التيارين مختلفتان I_1 و I_2.

الحل:

تطبق المعادلة 8 لحل هذا السؤال وهي:

$$B_T = B_1 + B_2$$

حيث B_1 و B_2 متجها الحث الناتج عن مرور التيارين I_1 و I_2 في السلكين كل على حده. ففي الحالات الثلاث الأولى أ و ب و ج يكون $B_1=B_2=B$ لأن النقطة التي يراد حساب الحث المغناطيسي عندها تقع في منتصف المسافة بين السلكين وكذلك $I_1=I_2=I$. وحسب **المعادلة 19 فإن قيمة الحث المغناطيسي عند هذه النقطة لأي من السلكين هي**

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

ويمكن تحديد اتجاه المجال المغناطيسي باستخدام قاعدة اليد اليمنى.

ا ـ المتجهان B_1 و B_2 متعاكسان في الاتجاه، شكل (أ)، ومتساويان في المقدار أي أن

$$B_T = B - B = 0$$

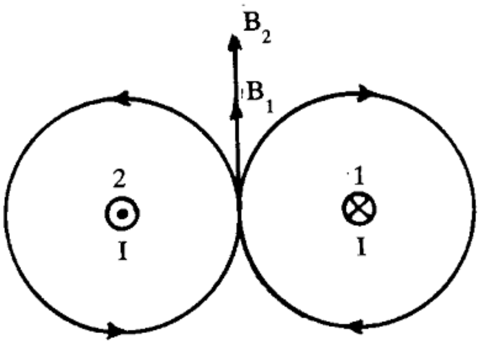
ب - نتيجة لتعاكس التيارين فإن الحث المغناطيسي للسلكين لهما الاتجاه نفسه، شكل (ب)، ولهما أيضا القيمة نفسها:

$$B_T = B_1 + B_2$$

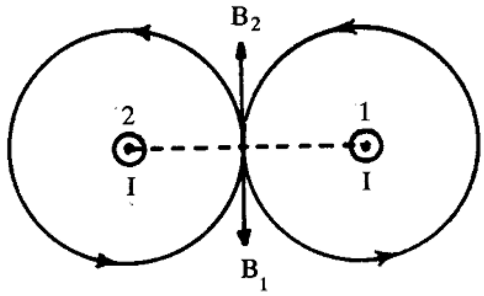
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} + \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = \frac{\mu_0 I}{\pi a}$$

جـ - المتجهان B_1 و B_2 متعامدان، شكل (جـ)، ومتساويان في المقدار أي أن:

$$B = (B_1^2 + B_2^2)^{1/2} = \sqrt{2}\,B = \sqrt{2}\,\frac{\mu_2 I}{2\pi a}$$



شكل (ب)



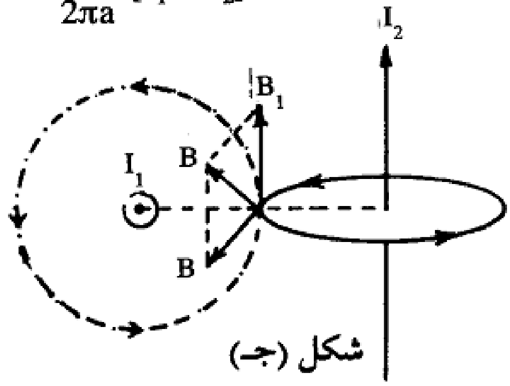
شكل (أ)

د - المتجهان B_1 و B_2 متعامدان، شكل (جـ)، وغير متساويين في المقدار أي أن:

$$B = \{B_1^2 + B_2^2\}^{1/2}$$

$$= [(\frac{\mu_0 I_1}{2\pi a})^2 + (\frac{\mu_0 I_2}{2\pi a})^2]^{1/2}$$

$$= \frac{\mu_0}{2\pi a}[I_1^2 + I_2^2]^{1/2}$$



شكل (جـ)