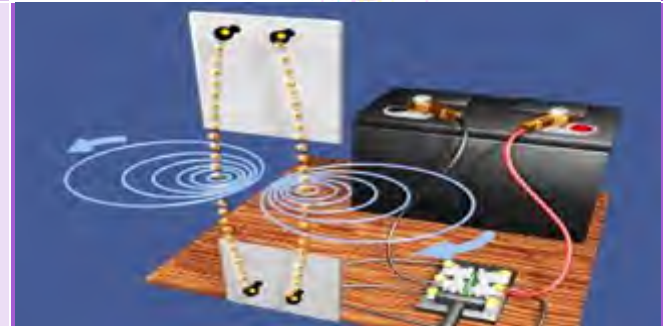
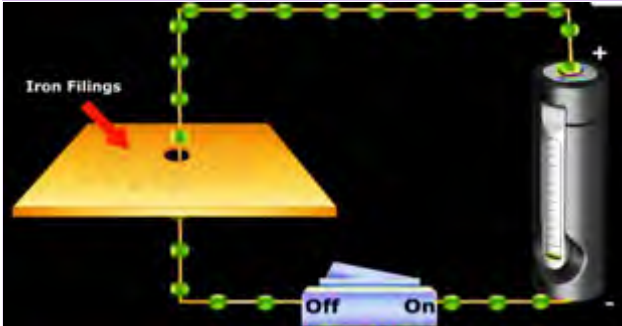
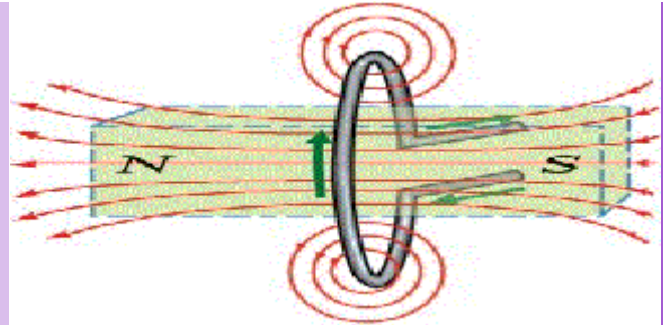
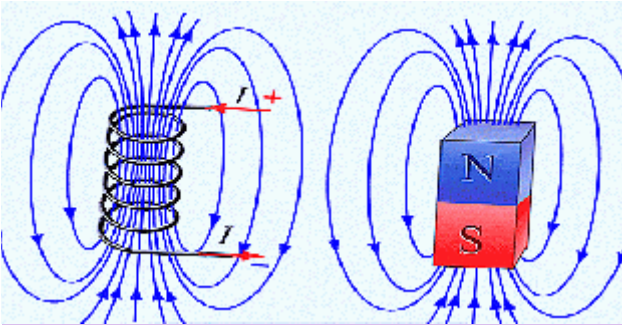
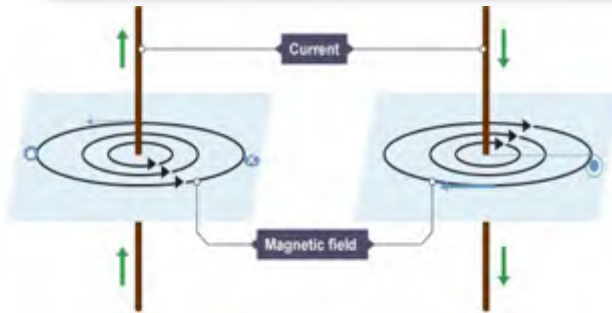


الفصل الدراسي الثاني ... الوحدة الثامنة

المجالات المغناطيسية للتيار الكهربائي المستمر



إعداد: الأستاذ

فكري محمود محمد

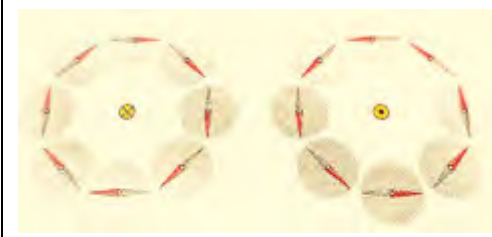
العام الدراسي 2019/2020

فيزياء 12 متقدم

8.1 قانون بيو سافار

مقدمة:

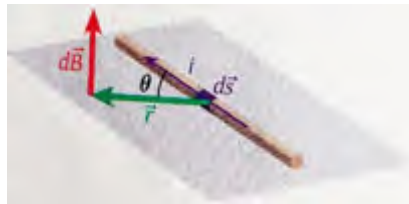
- العالم (هانز أورستد) .. لاحظ أنه عند مرور تيار كهربائي في موصل فإنه يتولد عنه مجالاً مغناطيسياً وقد وجد أن شكل المجال يختلف باختلاف شكل الموصل. [استطاع تحويل الطاقة الكهربائية إلى مغناطيسية]



- **إبرة البوصلة** .. دائماً يشير قطبها الشمالي إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي كما أن اتجاه انحراف الإبرة يتوقف على عاملين هما :
① اتجاه مرور التيار في الموصل
②- وضع السلك بالنسبة للإبرة

- عندما ينعكس اتجاه التيار المار في الموصل ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي.
- عندما ينعكس اتجاه التيار ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي.

قانون بيو- سافار

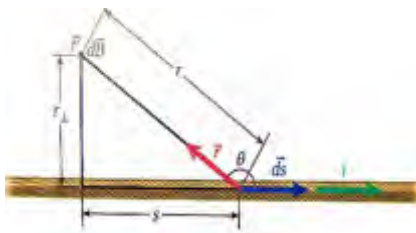


يوضح العلاقة بين التيار المار في سلك والمجال المغناطيسي الناتج عنه عند نقطة تبعد عنه مسافة معينة في الفراغ.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i \cdot ds \cdot \sin\theta}{r^2}$$

dB : متجه المجال المغناطيسي لعنصر صغير من السلك طوله ds
 ids : متجه طول تفاضلي يشير إلى اتجاه تدفق التيار على طول الموصل

ملحوظة هامة : يجب أن يكون **dB** عمودياً دائماً على كل من **ds** ومتجه الوحدة **$\hat{r}$** .

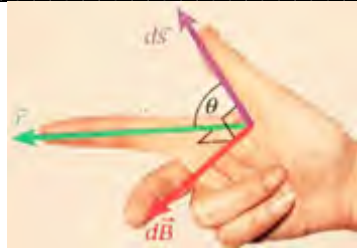


8.2 المجالات المغناطيسية الناتجة عن مرور التيار

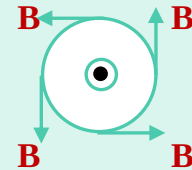
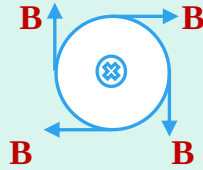
أولاً: المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في سلك مستقيم

- **وصف المجال** : دوائر منتظمة متحدة المركز مركزها هو السلك المار به التيار كما أن مستواه يكون عمودياً على التيار.
- **تحديد اتجاه المجال** : قاعدة اليد اليمنى الثالثة أو قبضة اليد اليمنى حيث يشير.. إصبع الإبهام لاتجاه التيار i ، بينما يشير انحناء باقي الأصابع لاتجاه خطوط المجال حول السلك.
- المماس عند أي نقطة يحدد اتجاه المجال المغناطيسي عند تلك النقطة





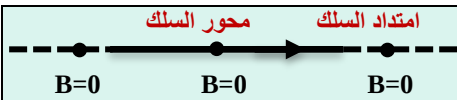
- كذلك يمكن تحديد اتجاه المجال المغناطيسية عند أى نقطة باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى حيث يشير.. إصبع الإبهام إلى اتجاه عنصر التيار التفاضلي $d\vec{s}$ ، وإصبع السبابة تشير إلى اتجاه الموقع $\hat{r}$ (النقطة المطلوبة) وإصبع الوسطى يشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي التفاضلي $d\vec{B}$.



☆ حساب شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي فى سلك مستقيم عند نقطة

$$B = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{i}{r}$$

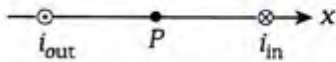
حيث : $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{web}}{\text{A.m}}$



ملحوظة هامة : المجال المغناطيسي على محور السلك أو امتداده دائماً = 0

مراجعة المفاهيم 8.2

يمر في السلك 1 تيار يتدفق خارجاً من الصفحة، i_{out} ، كما يظهر في الشكل. ويمر في السلك 2 تيار يتدفق إلى داخل الصفحة، i_{in} . ما اتجاه المجال المغناطيسي عند النقطة P؟

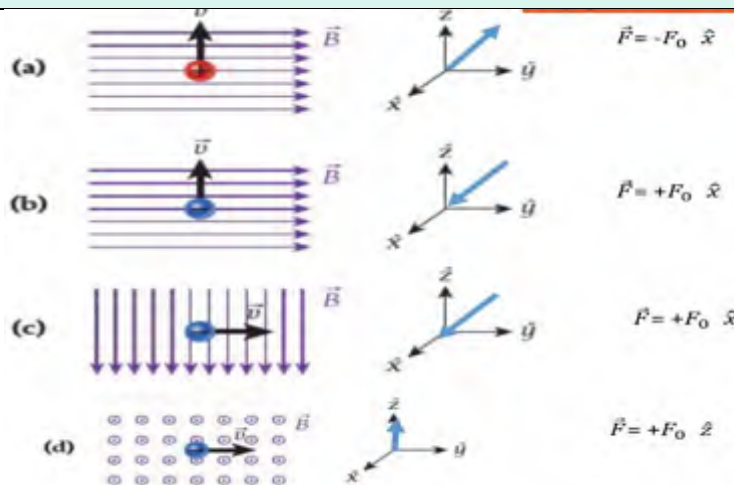


(a) أعلى في مستوى الصفحة (c) لأسفل في مستوى الصفحة

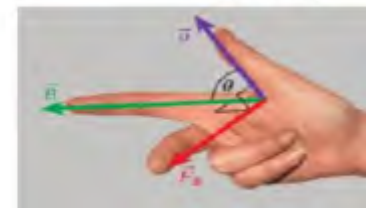
(b) إلى اليمين (d) إلى اليسار

(e) المجال المغناطيسي عند النقطة P يساوي صفراً.

الإجابة : (a) $B_T = B_1 + B_2$



7.13 ارسم القوة المغناطيسية المؤثرة في كل الجسيمات المتحركة الموضحة في الأشكال على النظام الإحداثي xyz وحدد اتجاهها (بدلالة متجهات الوحدة $\hat{x}$ و $\hat{y}$ و $\hat{z}$). ملحوظة: يتجه محور y الموجب إلى اليمين، ويتجه محور z الموجب إلى أعلى الصفحة، ويتجه محور x الموجب إلى خارج الصفحة.



في حال مرور التيار في سلكين متوازيين

التيارين في اتجاه واحد	التيارين في اتجاهين متضادين
تنشأ قوة تجاذب بين السلكين ونستدل على ذلك بتطبيق قاعدة قبضة اليد اليمنى على كل سلك على حده نجد أن (B_1, B_2) بين السلكين في اتجاهين متضادين فتنشأ قوة تجاذب بينهما .	تنشأ قوة تنافر بين السلكين ونستدل على ذلك بتطبيق قاعدة قبضة اليد اليمنى على كل سلك على حده نجد أن (B_1, B_2) بين السلكين في اتجاه واحد فتنشأ قوة تنافر بينهما .
$B_{T \text{ بين السلكين}} = B_2 + B_1$ $B_{T \text{ خارج السلكين}} = B_2 - B_1$	$B_{T \text{ بين السلكين}} = B_2 - B_1$ $B_{T \text{ خارج السلكين}} = B_2 + B_1$
القوة المغناطيسية التي يؤثر بها السلك الأول على الثاني $F_{2 \rightarrow 1} = B_2 \cdot L \cdot i_1$ $F_{2 \rightarrow 1} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{i_2}{r} \cdot L \cdot i_1$ القوة المتبادلة بين السلكين تخضع لقانون نيوتن الثالث $F_{2 \rightarrow 1} = -F_{1 \rightarrow 2}$	القوة المغناطيسية التي يؤثر بها السلك الأول على الثاني $F_{1 \rightarrow 2} = B_1 \cdot L \cdot i_2$ $F_{1 \rightarrow 2} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{i_1}{r} \cdot L \cdot i_2$ القوة المتبادلة بين السلكين تخضع لقانون نيوتن الثالث $F_{1 \rightarrow 2} = -F_{2 \rightarrow 1}$
إيجاد بعد نقطة التعادل نقطة التعادل : هي النقطة التي تتعدم عندها محصلة المجالين المغناطيسي ، وتكون عندها محصلة المجالين = 0 ، ودائماً أقرب ما يكون للسلك الذي يمر به تيار شدته أقل	
نقطة التعادل عندها تكون $B_1 = B_2$ $\therefore \frac{\mu i_1}{2\pi d} = \frac{\mu i_2}{2\pi (D + d)}$ $\therefore \frac{i_1}{d} = \frac{i_2}{(D + d)}$ d بعد السلك الثاني عن نقطة التعادل ، D المسافة بين السلكين	نقطة التعادل عندها تكون $B_1 = B_2$ $\therefore \frac{\mu i_1}{2\pi d} = \frac{\mu i_2}{2\pi (D - d)}$ $\therefore \frac{i_1}{d} = \frac{i_2}{(D - d)}$ d بعد السلك الأول عن نقطة التعادل ، D المسافة بين السلكين

سؤال الاختبار الذاتي 8.2

تخيل سلكين متوازيين يحملان تياران متساويان في الاتجاه نفسه. هل القوة بين السلكين عبارة عن قوة جذب أو قوة تنافر؟ والآن، تخيل سلكين متوازيين يحملان تياراً في اتجاهين مختلفين. ما القوة بين السلكين؟

مراجعة المفاهيم 8.4

سلكان متوازيان قريبان من بعضهما البعض، كما هو موضح في الشكل. يحمل السلك 1 التيار I_1 ويحمل السلك 2 التيار I_2 . ما القوة التي تمثل على القوى المغناطيسية التي يبذلها السلكان أحدهما على الآخر؟



a) يبذل السلكان قوى أحدهما على الآخر.

b) يبذل السلكان قوى جذب بالقطب نفسه أحدهما على الآخر.

c) يبذل السلكان قوى تنافر بالقطب نفسه أحدهما على الآخر.

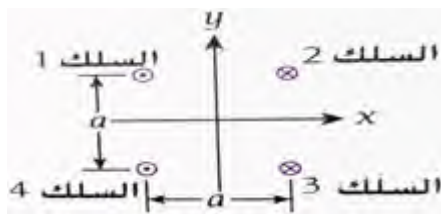
d) يبذل السلك 1 قوة على السلك 2 أكبر مما يبذلها السلك 2 على السلك 1.

e) يبذل السلك 2 قوة على السلك 1 أكبر مما يبذلها السلك 1 على السلك 2.

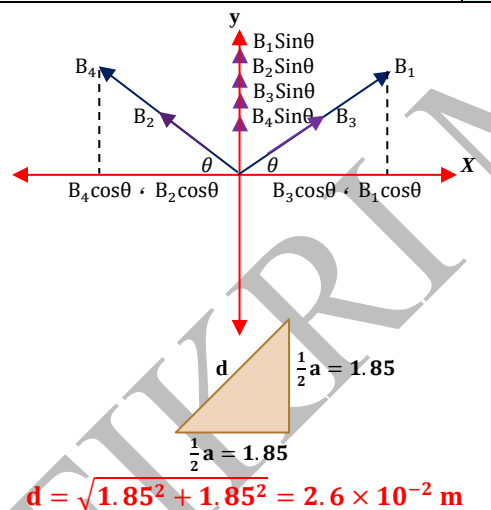
الإجابة : في الحالة الأولى قوة جذب ، أما في الحالة الثانية قوة تنافر

الإجابة : b دائماً تكون $F_{1 \rightarrow 2} = -F_{2 \rightarrow 1}$ مهما اختلفت قيمة شدة التيار

★ المجال المغناطيسي الناتج عن أربعة أسلاك



① أربعة أسلاك يحمل كل منها تياراً مقداره $1A$ وتوجد الأسلاك في الزوايا الأربع لمربع طول ضلعه $a=3.7cm$ ويحمل سلكان منهما التيار إلى داخل الصفحة ، بينما يحمل الاثنان الآخران التيار خارج الصفحة ما مركبة المجال المغناطيسي العمودية (BY) في مركز المربع ؟



أولاً .. محصلة المجالات على محور $x = 0$

$$\sum B_x = 0$$

ثانياً .. محصلة المجالات على محور y

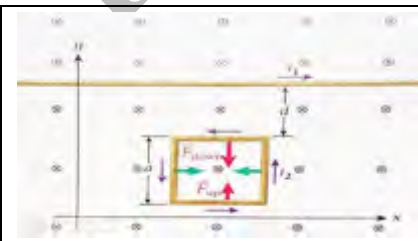
$$\sum B_y = 4 B_y = 4 B_y \cdot \sin \theta$$

$$= 4 \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{i}{d} \cdot \sin \theta$$

$$= \frac{4 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1.85 \times 10^{-2}}{2\pi \times 2.6 \times 10^{-2} \times 2.6 \times 10^{-2}}$$

$$\sum B_y = 2.2 \times 10^{-5} T$$

★ القوة المغناطيسية المبذولة على حلقة يمر بها تيار كهربائي



② يحمل سلك طويل مستقيم تياراً مقداره $i_1 = 5A$ باتجاه اليمين وتوضع حلقة مربعة يبلغ طول ضلعه $a=0.25m$ بحيث تكون أضلاعها كما في الشكل والمسافة $d=0.1m$ من السلك وتحمل الحلقة المربعة تياراً مقداره $i_2 = 2.2A$ بعكس اتجاه عقارب الساعة. ما محصلة القوى المغناطيسية المؤثرة في الحلقة المربعة؟

$$F_2 = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2\pi(d + a)}$$

$$F_2 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 2.2 \times 0.25}{2\pi \times (0.01 + 0.25)}$$

$$= 1.57 \times 10^{-6} \text{N لأعلى}$$

$$F_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2\pi \cdot d}$$

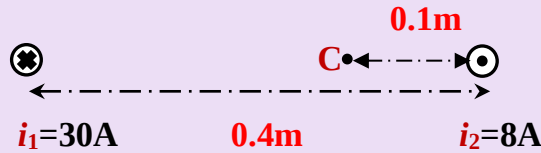
$$F_1 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 2.2 \times 0.25}{2\pi \times 0.01}$$

$$= 5.5 \times 10^{-6} \text{N لأسفل}$$

$$F_3 = F_4 = B \cdot i \cdot L$$

$$F_{\text{net}3,4} = 0$$

$$F_{\text{net}} = (5.5 - 1.57) \times 10^{-6} = 3.93 \times 10^{-6} \text{N لأسفل}$$



3 سلكان مستقيمان طويلان عموديان على الصفحة كما بالشكل المقابل احسب شدة المجال المغناطيسي عند النقطة C .

$$B_{\text{ت نفس الاتجاه}} = B_1 + B_2$$

$$= (2 + 1.6) \times 10^{-5}$$

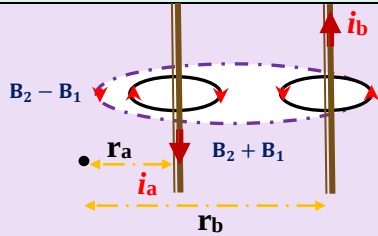
$$B_{\text{ت نفس الاتجاه}} = 3.6 \times 10^{-5} \text{T للأسفل}$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1}{2\pi \cdot r_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 30}{2\pi \times 0.3}$$

$$B_1 = 2 \times 10^{-5} \text{T لأسفل}$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot i_2}{2\pi \cdot r_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 8}{2\pi \times 0.1}$$

$$B_2 = 1.6 \times 10^{-5} \text{T لأسفل}$$



4 سلكان مستقيمان متوازيان تفصل بينهما في الفراغ مسافة 1m ويحملان تيارين متعاكسين فإذا كانت $i_a = \frac{1}{3} i_b$ فأوجد بعد النقطة التي تكون عندها محصلة المجال المغناطيسي تساوي صفر .

$$i_a = \frac{i_b}{3}$$

$$\frac{\mu_0 \cdot i_a}{2\pi \cdot r_a} = \frac{\mu_0 \cdot i_b}{2\pi \cdot r_b}$$

$$\frac{i_b}{3X} = \frac{i_b}{1 + X}$$

$$X = \frac{1}{2} \text{ m عن السلك a}$$

الحل: حيث أن التياران متعاكسان لذا فإن نقطة التعادل تقع خارج السلكين حيث المجالان متعاكسان وأقرب للسلك الذي به تيار شدته أقل.

$$B_a = B_b$$

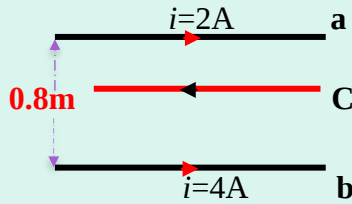
$$\frac{\mu_0 \cdot i_a}{2\pi \cdot r_a} = \frac{\mu_0 \cdot i_b}{2\pi \cdot r_b}$$

$$F_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2\pi \cdot d}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1 \times 1}{2\pi \times 1}$$

$$= 2 \times 10^{-7} \text{N}$$

الأمبير: هو التيار الذي إذا مر في موصلين متوازيين مستقيمين بطول لا نهائي وبيعدان عن بعضهما 1m في الفراغ سيؤثر كل منهما في وحدة الطول 1m من الآخر بقوة مقدارها $2 \times 10^{-7} \text{N}$



5 في الشكل المقابل سلكين طويلين (a,b) وبينهما سلك ثالث (c) محوره يوازي محور السلكين فإذا كانت محصلة القوى المغناطيسية المؤثرة في السلك (c) تساوي صفر أوجد بعد السلك (a) عن السلك (c)

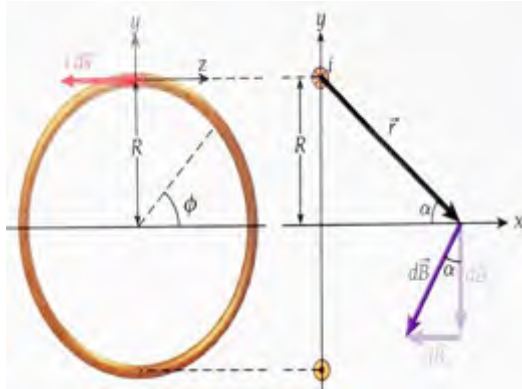
الحل :

$$F_{ac} = F_{bc}$$

$$\frac{\mu_0 \cdot i_a \cdot i_c \cdot L}{2\pi \cdot d_a} = \frac{\mu_0 \cdot i_b \cdot i_c \cdot L}{2\pi \cdot d_b}$$

$$d_a = \frac{i_b \cdot d_b}{i_a} = \frac{2 \times (0.8 - d_a)}{4} = 0.26 \text{ m}$$

6 المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار في حلقة سلك

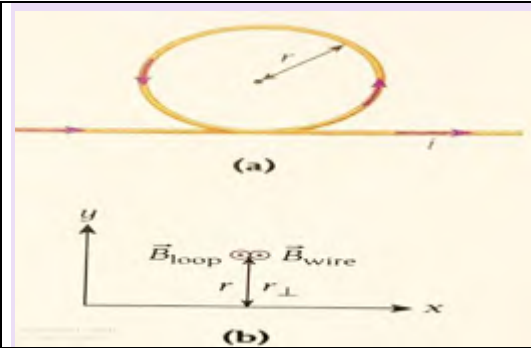


يمكن إيجاد المجال المغناطيسي على طول محور حلقة دائرية حاملة للتيار من خلال العلاقة التالية:

$$B_x = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot R^2}{2(X^2 + R^2)^{3/2}}$$

يمكن إيجاد المجال المغناطيسي في مركز حلقة سلك دائرية حاملة للتيار من خلال العلاقة التالية: [X=0]

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2R} \quad (\text{عند المركز})$$



6 تتكون حلقة يبلغ نصف قطرها $r = 8.3 \text{ mm}$ في منتصف سلك طويل ومستقيم معزول يحمل تياراً مقداره 26.5 mA ، ما مقدار المجال المغناطيسي عند مركز الحلقة؟

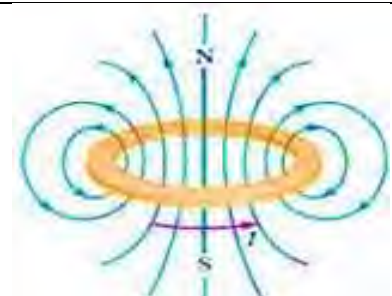
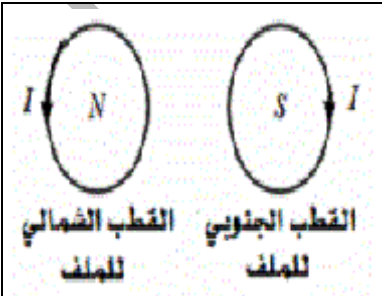
الحل :

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2R}$$

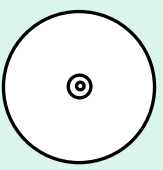
$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 26.5 \times 10^{-3}}{2\pi \times 8.3 \times 10^{-3}}$$

$$= 6.4 \times 10^{-7} \text{ T} \quad \text{للخارج}$$

7 وصف المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في ملف دائري

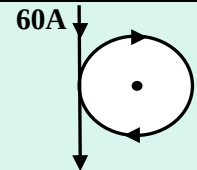


★ **شكل المجال :** عند مركز الملف يكاد يكون منتظم وخارج (غير منتظم) على شكل منحنيات مغلقة يشبه المجال المغناطيسي الناشئ عن قضيب مغناطيسي قصير

	7 ملف دائري نصف قطره 0.12m وعدد لفاته 150 لفة موضوع في مستوى الصفحة كما بالشكل مر تيار في الملف فولد مجالاً مغناطيسياً عند المركز مقداره $4.5 \times 10^{-4} \text{ T}$ باتجاه خارج من الصفحة احسب : 1- شدة التيار المار في الملف وحدد اتجاهه. 2- مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في بروتون لحظة مروره بمركز الملف بسرعة $7.4 \times 10^5 \text{ m/s}$ في مستوى الصفحة نحو اليمين.
---	---

الحل :
$$i = \frac{2RB}{\mu_0 \cdot N} = \frac{2 \times 0.12}{4\pi \times 10^{-7} \times 150} = 0.57 \text{ A}$$

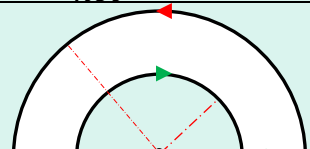
$$F_B = q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90 = 1.6 \times 10^{-19} \times 7.4 \times 10^5 \times 4.5 \times 10^{-4} \times 1 = 5.3 \times 10^{-17} \text{ N}$$

	8 سلك مستقيم طويل يحمل تيار شدته 60A تم لف جزء من السلك على شكل حلقة دائرية واحدة نصف قطرها 0.1m كما بالشكل المقابل: احسب شدة المجال المغناطيسي عند مركز الحلقة.
---	--

الحل :
$$B_{\text{wire}} = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r} = \frac{2 \times 10^{-7} \times 60}{0.1} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ T} \quad \odot$$

$$B_{\text{loop}} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 60 \times 1}{2 \times 0.1} = 3.769 \times 10^{-4} \text{ T} \quad \otimes$$

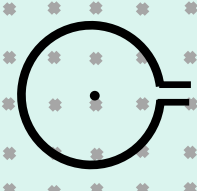
$$B_{\text{net}} = -3.769 \times 10^{-4} + 1.2 \times 10^{-4} = -2.6 \times 10^{-4} \text{ T}$$
 باتجاه الأكبر

	9 معتمداً على البيانات الواردة في الشكل المقابل احسب المجال المغناطيسي عند المركز (c) .
---	--

$$B_{\text{حلقة صغرى}} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 0.5}{2 \times 0.2} = 1.1 \times 10^{-5} \text{ T} \quad \otimes$$

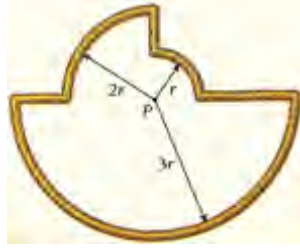
$$B_{\text{حلقة كبرى}} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 0.5}{2 \times 0.3} = 7.3 \times 10^{-6} \text{ T} \quad \odot$$

$$B_{\text{net}} = 1.1 \times 10^{-5} - 7.3 \times 10^{-6} = 3.7 \times 10^{-6} \text{ T}$$
 باتجاه الأكبر

	10 يظهر الشكل المقابل سلكاً لف على هيئة لفة دائرية واحدة ويمر بها تيار كهربائي شدته 5A ويؤثر في الملف مجال مغناطيسي منتظم مقداره $2 \times 10^{-5} \text{ T}$ إذا علمت أن محصلة المجال المغناطيسي عند مركز الملف = 0 - حدد اتجاه التيار الكهربائي المار في اللفة - احسب نصف قطر اللفة.
---	---

الحل : اتجاه التيار يكون في عكس عقارب الساعة

$$R = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2B} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 5}{2 \times 2 \times 10^{-5}} = 0.157 \text{ m}$$

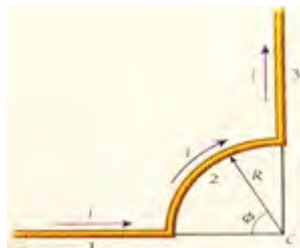


8.86 تحمل الحلقة الموضحة بالشكل تياراً مقداره 3.961A ويبلغ مقدار المجال المغناطيسي عند النقطة P داخل الحلقة $7.213 \times 10^{-7}\text{T}$. احسب مقدار (r) .

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot \left(\frac{1}{4}\right)}{2R} + \frac{\mu_0 \cdot i \cdot \left(\frac{1}{4}\right)}{2(2R)} + \frac{\mu_0 \cdot i \cdot \left(\frac{1}{2}\right)}{2(3R)}$$

الحل :

$$R = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3.961}{2 \times 7.213 \times 10^{-7}} \left(\frac{\left(\frac{1}{4}\right)}{1} + \frac{\left(\frac{1}{4}\right)}{2} + \frac{\left(\frac{1}{2}\right)}{3} \right) = 1.869 \text{ m}$$



8.13 يحمل السلك الموضح بالشكل تياراً i ويحتوي على جزء على شكل قوس دائري نصف قطره R وزاوية $2/\pi$ وقسمين مستقيمين متعامدين بشكل متبادل وفي حال تمديدتهما سيتقاطعان مع مركز القوس (c) ما المجال المغناطيسي عند النقطة (c) الناتج عن مرور التيار في السلك.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{8R} \quad \text{الحل :}$$

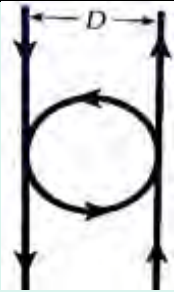
$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{8R} - b$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2R} - d$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{6R} - a$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{12R} - c$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{4R} - e$$



8.28 يحمل سلكان متوازيان تياراً (i) في اتجاهين متعاكسين ويبعدان عن بعضهما مسافة D كما بالشكل وتحمل حلقة دائرية نصف قطرها $R = D/2$ التيار نفسه الذي يتدفق في عكس اتجاه عقارب الساعة حدد مقدار واتجاه المجال المغناطيسي الناتج من الحلقة والسلكين المتوازيين عند مركز الحلقة بدلالة i, R

$$B_{\text{للسلك الأول}} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{i}{R}$$

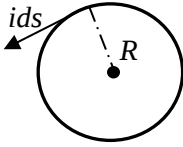
$$B_{\text{للسلك الثاني}} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{i}{R}$$

$$B_{\text{للسلكين}} = \frac{2\mu}{2\pi} \cdot \frac{i}{R}$$

$$B_{\text{للملف}} = \frac{\mu \cdot i}{2R}$$

الحل :

$$\sum B = \frac{\mu}{2R} \left\langle 1 + \frac{2}{\pi} \right\rangle \quad \odot \quad \text{محصلة المجالات للخارج}$$



11 استنتج علاقة المجال المغناطيسي عند مركز حلقة دائرية نصف قطرها (R) وتيارها (i) باستخدام قانون بيوسافار.

الحل:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i \cdot ds \cdot \sin\theta}{r^2}$$

$$B = \int dB = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i \cdot ds \cdot \sin 90}{R^2} = \frac{\mu_0 \cdot i}{4\pi \cdot R^2} \int ds$$

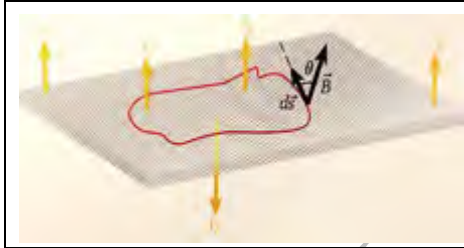
$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{4\pi \cdot R^2} (2\pi R) = \frac{\mu_0 \cdot i}{2R}$$

8.3 قانون أمبير

☆ **إستخدامه** : يستخدم لحساب المجال المغناطيسي الناتج عن توزيع عناصر التيار عندما يكون للتوزيع تماثل أسطواني أو غير ذلك من أنواع التماثل (يشبه لقانون جاوس في الكهربية الساكنة)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot i_{enc}$$

ملحوظة : i_{enc} تمثل التيار في السلك ضمن الحلقة الأمبيرية فقط ولا يمثل التيار الكلي فيه



مثال : تحصر الحلقة الأمبيرية الموضحة بالشكل التيارات (i_1, i_2, i_3) ونستبعد التيارات الأخرى لعدم وجودها ضمن الحلقة الأمبيرية وبذلك يصبح قانون أمبير كالتالي:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint \vec{B} \cos\theta \cdot d\vec{s} = \mu_0 (i_1 - i_2 + i_3)$$

حيث θ الزاوية بين اتجاه المجال $\vec{B}$ واتجاه عنصر الطول $d\vec{s}$ عند كل نقطة على طول الحلقة الأمبيرية

مراجعة المفاهيم 8.7

خيل الأسلاك الثلاثة صراعات بالمختار نفسه، i في الاتجاهات الموضحة في الشكل. وتظهر أربع حلقات أمبيرية (a)، (b)، (c) و (d). ما الحلقة الأمبيرية التي يكون فيها مقدار $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ عند أقصى قيمة له؟

(a) الحلقة (a)
(b) الحلقة (b)
(c) الحلقة (c)
(d) الحلقة (d)

(e) جميع كل الحلقات الأربع القيمة نفسها $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$

مراجعة المفاهيم 8.6

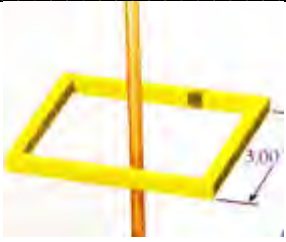
خيل حلقتان متماثلتان من السلك التيار نفسه، i كما يظهر في الشكل. ما اتجاه المجال المغناطيسي عند النقطة P؟

(a) لأعلى (باتجاه أعلى الصفحة)
(b) باتجاه اليمين
(c) لأسفل
(d) باتجاه اليسار
(e) المجال المغناطيسي عند النقطة P يساوي صفراً.

الإجابة : (d) الحلقة d حيث :

- الحلقة (a) $i+i-i$
- الحلقة (b) $i-i$
- الحلقة (c) i
- الحلقة (d) $i+i$

الإجابة : d اتجاه اليسار



8.34 يبلغ طول ضلع أميتر مربع 3cm وبإمكان أضلاعه قياس المجال المغناطيسي المعرض له وعندما يثبت الأميتر حول سلك يحمل تياراً مستمراً كما يظهر في الشكل تكون القيمة المتوسطة للمجال المغناطيسي المقيس على الأضلاع $3G$ ما مقدار التيار في الأسلاك؟

$$d\vec{s}_{\text{المحيط}} = 4 \times 0.03 = 0.12m$$

ملحوظة: $1G = 10^{-4}T$

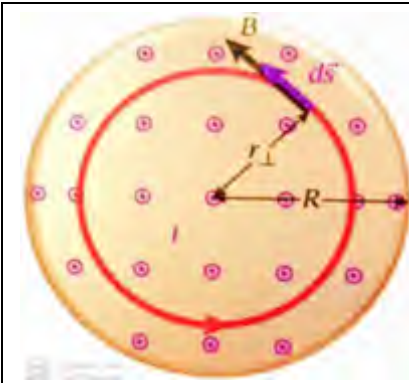
الإجابة:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot i_{enc}$$

$$(26.5 \times 10^{-3})(0.12) = 4\pi \times 10^{-7} \cdot i_{enc}$$

$$i_{enc} = \frac{3 \times 10^{-4} \times 0.12}{4\pi \times 10^{-7}} = 28.65 A$$

★ المجال المغناطيسي داخل سلك طويل مستقيم



في الشكل المقابل مقطع عرضي من سلك نصف قطره R يسري به تيار i موزع بانتظام على مساحة المقطع العرضي له. ولإيجاد المجال المغناطيسي الناتج عن هذا التيار عند أى نقطة نرسم حلقة أمبيرية عند النقطة المطلوبة نصف قطرها r

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \oint d\vec{s} = B \cdot (2\pi r) = \mu_0 \cdot i_{enc}$$

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi r} i_{enc}$$

يمكن حساب التيار داخل الحلقة الأمبيرية من العلاقة $i_{enc} = i \cdot \frac{A_{loop}}{A_{wire}} = i \cdot \frac{\pi r^2}{\pi R^2}$

وبدمج المعادلتين السابقين نتوصل إلى قانون المجال المغناطيسي داخل سلك طويل

$$B = \left[\frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi R^2} \right] \cdot r$$

أما على سطح السلك تماماً فتكون $R=r$ ويصبح القانون: $B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi R}$

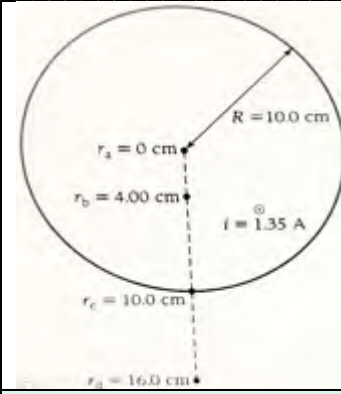
وبالنسبة لنقطة خارج السلك $r > R$ يصبح القانون: $B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r}$

8.11 افترض أنه يمكنك تمثيل صاعقة برق على هيئة تيار في خط مستقيم طويل إذا مرت شحنة مقدارها $15C$ بنقطة في زمن $1.5 \times 10^{-3}s$ فما مقدار المجال المغناطيسي على مسافة $26m$ من صاعقة البرق؟ (ملحوظة: تعتبر خارج السلك لأن الصاعقة تعتبر كتيار كهربائي)

$$i = \frac{q}{t} = \frac{15}{1.5 \times 10^{-3}} = 10000 A$$

الحل:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10000}{2\pi \times 26} = 7.69 \times 10^{-5} T$$

**8.47 الشكل المقابل يعرض مقطعاً عرضياً عبر قطر دائرة موصل**

أسطوانى طويل مصمت يبلغ نصف قطر الأسطوانة $R=10\text{cm}$ ،
يوزع تيار مقداره 1.35A بانتظام على الموصل ويتدفق خارجاً من
الصفحة احسب اتجاه ومقدار المجال المغناطيسي في المواقع التالية :

① $r_a = 0 \text{ cm}$

② $r_b = 4 \text{ cm}$

③ $r_c = 10 \text{ cm}$

④ $r_d = 16 \text{ cm}$

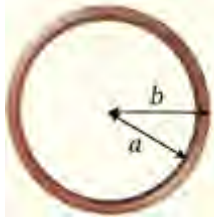
الحل :

① $B = \left[\frac{\mu_0 i}{2\pi R^2} \right] \cdot r_a = 0$

② $B = \left[\frac{\mu_0 i}{2\pi R^2} \right] \cdot r_b = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.35 \times 4 \times 10^{-2}}{2\pi \times (0.1)^2} = 1.08 \times 10^{-6} \text{ T}$

③ $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.35}{2\pi \times 0.1} = 2.7 \times 10^{-6} \text{ T}$

④ $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.35}{2\pi \times 0.16} = 1.687 \times 10^{-6} \text{ T}$

**8.82 أسطوانة موصلة طويلة ومجوفة نصف قطرها الداخلي a ونصف قطرها**

الخارجي b تحمل تياراً يتدفق خارجاً من الصفحة افترض أن $a=5\text{cm}$ ،
 $b=7\text{cm}$ وأن التيار $i = 0.1\text{A}$ موزع بانتظام على الجدار الأسطوانى بين
(b,a) أوجد مقدار المجال المغناطيسي في كل من المسافات التالية r من مركز
الأسطوانة

$r = 4 \text{ cm (a)}$

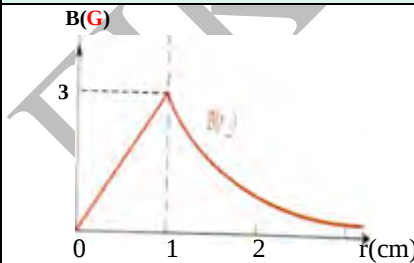
$r = 9 \text{ cm (b)}$

الحل :

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{enc}$

$$\text{a - } B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0}{2\pi \times 0.04} = 0 \text{ T}$$

$$\text{b - } B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0.1}{2\pi \times 0.09} = 2.2 \times 10^{-7} \text{ T}$$

**12 يمثل الرسم البياني المقابل تغيرات المجال المغناطيسي**

بتغير البعد عن مركز سلك مستقيم .ادرس الشكل ثم أجب:

(a) حدد شدة المجال المغناطيسي على سطح الموصل

(b) مقدار شدة التيار المار في السلك

(c) مقدار المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد 0.5cm عن
المركز (داخل السلك).

(d) مقدار المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد 2cm عن
المركز (خارج السلك).

(e) حدد العلاقة بين (B , r) داخل السلك وخارجه

الحل:

a - $B = 3G = 3 \times 10^{-4} \text{ T}$ السطح

b - $i = \frac{2\pi R \cdot B}{\mu_0} = \frac{2\pi \times 0.01 \times 3 \times 10^{-4}}{4\pi \times 10^{-7}} = 15 \text{ A}$

c - $B = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot r}{2\pi R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 15 \times 0.5 \times 10^{-2}}{2\pi \times 0.01} = 1.5 \times 10^{-6} \text{ T}$

d - $B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 15}{2\pi \times 2 \times 10^{-2}} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ T}$

e - داخل السلك العلاقة طردية $B \propto r$ وخارج السلك العلاقة عكسية $B \propto 1/r$

8.4 المجالات المغناطيسية الخاصة بالملفات اللولبية والحلقية

★ ملف هلمهولتز:

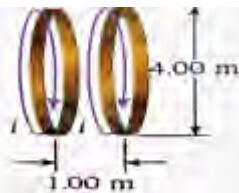


➤ يتكون من حلقتين محورتين من السلك بحيث كل حلقة تتكون من حلقات متعددة أو من لفات من سلك واحد.
➤ ينشأ عنه مجالات مغناطيسية منتظمة داخل الملف بين الحلقات ومجال غير منتظم خارج الملف.

ملحوظة: المجال عند نقطة على محور الملف الدائري تحسب من العلاقة:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot N \cdot R^2}{2(X^2 + R^2)^{3/2}}$$

حيث X : البعد الرأسي عن مركز الملف



8.64 وضع ملفان مكونان من (50) لفة يبلغ قطر كل منهما 4m على مسافة 1m عن بعضهما كما بالشكل المقابل ويتدفق تيار مقداره 7A في أسلاك الملفين في اتجاه عقارب الساعة عند النظر إليهما من الجانب الأيسر. ما مقدار المجال المغناطيسي في منتصف المسافة بين الملفين

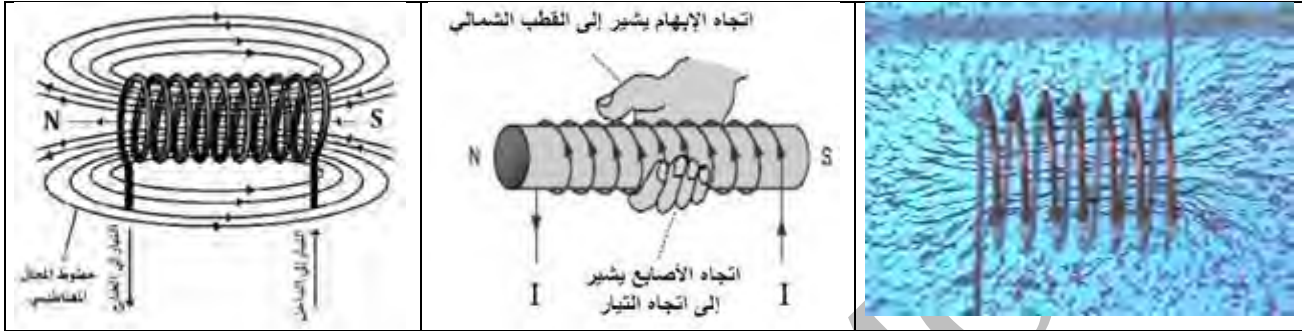
$$B = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot N \cdot R^2}{2(X^2 + R^2)^{3/2}}$$

الحل:

$$B_1 = B_2 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 50 \times (2)^2}{2((0.5)^2 + (2)^2)^{3/2}} = 1 \times 10^{-4} \text{ T}$$

☉ الملف اللولبي (الحلزوني)

★ وصف المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في ملف لولبي



★ **شكل المجال :** عند محور الملف يكون المجال منتظم وخارجه (غير منتظم) على شكل منحنيات مغلقة يشبه المجال المغناطيسي الناشئ عن قضيب مغناطيسي طويل.

★ **حساب شدة المجال المغناطيسي عند أي نقطة على محور الملف اللولبي :**

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{L}$$

$$\therefore n = \frac{N}{L}$$

حيث أن **n** : عدد اللفات في وحدة الأطوال

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot i$$

13 يحتوي الملف اللولبي النموذجي على 200 لفة لكل 1cm يتحرك الكترون بسرعة داخل الملف اللولبي في دائرة نصف قطرها 3cm متعامداً على محور الملف اللولبي. احسب شدة التيار المار في الملف.

الحل :

$$r = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

$$B = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot r} = \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 1.5 \times 10^7}{1.6 \times 10^{-19} \times B} = 2.84 \times 10^{-3} T$$

$$i = \frac{B \cdot L}{\mu_0 \cdot N} = \frac{2.84 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 200} = 0.11 A$$

⊙ الملف الحلقي (المغناطيس الحلقي)



هو ملف لولبي ثني بحيث يلتقي طرفاه معاً (على شكل دائرة)
ويعطى المجال المغناطيسي داخله بالعلاقة :

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



★ تحديد اتجاه المجال المغناطيسي للملف الحلقي

نستخدم قاعدة اليد اليمنى الرابعة الموضحة بالشكل المقابل

★ إيجاد عدد اللفات للملف الحلقي N

من خلال قسمة طول السلك L على محيط المقطع العرضي

$$N = \frac{L}{\pi d_{\text{القطر}}} = \frac{L}{2\pi r_{\text{نصف القطر}}}$$

8.50 يتدفق تيار مقداره 2A خلال ملف لولبي يحتوي 1000 لفة ويبلغ طوله 40cm ما مقدار المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي؟

الحل:
$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 1000}{40 \times 10^{-2}} = 6.28 \times 10^{-3} \text{ T}$$

14 مغناطيس حلقي مصنوع من سلك نحاس طوله 202m له القدرة على حمل تيار مقداره 2.4A ويبلغ متوسط نصف قطر المغناطيس الحلقي له 15cm ويبلغ قطر مقطعه العرضي 1.6cm ما أكبر مجال مغناطيسي عند مركز مغناطيس حلقي نصف قطره R ؟

الحل:
$$N = \frac{L}{\pi d_{\text{القطر}}} = \frac{202}{\pi \times 1.6 \times 10^{-2}} = 4018.7 \text{ لفة}$$

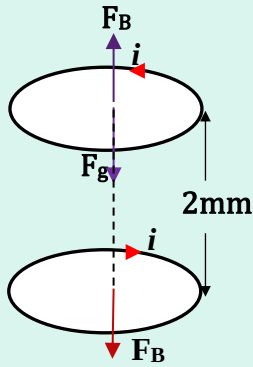
$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4018.7 \times 2.4}{2\pi \times 15 \times 10^{-2}} = 1.29 \times 10^{-2} \text{ T}$$

15 ملف لولبي يحتوي على 1000 لفة لكل متر من طوله ويمر به تيار 0.25A أدخل سلك مستقيم طويل يحمل تيار 10A على طول محور الملف اللولبي احسب مقدار المجال المغناطيسي عند نقطة على بعد 1cm من المحور

الحل:
$$B_{\text{Solenoid}} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0.25 \times 1000}{1} = 3.14 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$B_{\text{wire}} = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.01} = 2 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$B_{\text{net}} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{(3.14 \times 10^{-4})^2 + (2 \times 10^{-4})^2} = 3.72 \times 10^{-4} \text{ T}$$



ملحوظة : اتجاه الـ F_B المؤثرة على الملف العلوي لأعلى لكي يبقى الملف مرفوعاً وبالتالي يمكن تحديد اتجاه التيار في الملف.
من الشكل نلاحظ أن الملف العلوي يتأثر بقوة F_B للأعلى والملف السفلي يتأثر بقوة F_B للأسفل مما يدل على أنها قوى تنافر مما يعني أن التيارين متعاكسين ، وللحفاظ على الملف العلوي مرفوعاً يجب أن يكون اتجاه F_g معاكسة لـ F_B .

16 ملفان محوريان متماثلان مصنوعان من سلك يبلغ نصف قطره 20cm وموضوعان فوق بعضهما مباشرة ويبعدان بمسافة 2mm يوجد الملف السفلي على منضدة مسطحة ويمر به تيار i في اتجاه عقارب الساعة بينما يحمل الملف العلوي تياراً مماثلاً وتبلغ كتلته 0.05kg .
• حدد اتجاه التيار في الملف العلوي للحفاظ عليه مرفوعاً على مسافة 2mm عن الملف السفلي.
• احسب مقدار التيار في كلا الملفين.

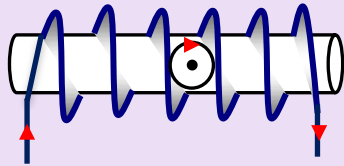
$$F_B = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2\pi \cdot d}$$

$$m \cdot g = \frac{\mu_0 \cdot i^2 \cdot L}{2\pi \cdot d}$$

$$0.05 \times 9.8 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times i^2 \times 1.25}{2\pi \times 2 \times 10^{-3}}$$

$$i = 62.64 \text{ A}$$

الحل :



17 ملف لولبي عدد لفاته 6 وطوله 0.2m بداخله ملف دائري نصف قطره 0.05m وعدد لفاته 5 فإذا كانت شدة التيار في الملف اللولبي 0.35 A وشدة تيار الملف الدائري 0.5A فاحسب محصلة المجال المغناطيسي عند مركز الملف الدائري

$$B_{\text{Solenoid}} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0.35 \times 6}{0.2} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ T} \quad \leftarrow$$

$$B_{\text{loop}} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0.5 \times 5}{2 \times 0.05} = 3.14 \times 10^{-6} \text{ T} \quad \odot$$

$$B_{\text{net}} = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{(3.14 \times 10^{-6})^2 + (1.3 \times 10^{-5})^2} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ T}$$

8.5 الذرات كمغناطيسيات

تحتوي الذرات التي تتكون منها كل مادة على إلكترونات متحركة حيث تكون الإلكترونات حلقات تيار وتنتج مجالاً مغناطيسياً.

فإذا كانت حلقات التيار :

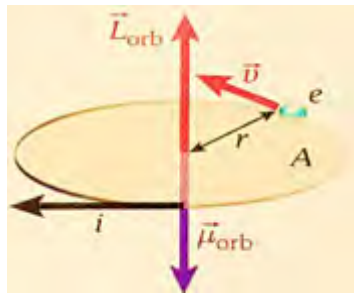
- ① مُوجهة بشكل عشوائي ستكون محصلة المجال المغناطيسي = 0.
- ② بمحاذاة بعضها البعض سيكون لها محصلة مجال مغناطيسي وتسمى **بالمواد المغناطيسية**

أى أن .. هناك نوعان من العزم المغناطيسي الذري

① عزم مغناطيسي مداري : ينشأ عن دوران الإلكترون حول النواة.

② عزم مغناطيسي مغزلي : ينشأ عن دوران الإلكترون حول نفسه.

أولاً : العزم المغناطيسي المداري :



يوضح الشكل المقابل نموذجاً مبسطاً للذرة : إلكترون يتحرك بسرعة ثابتة v في مدار دائري نصف قطره r وبالتالي يمكن اعتبار شحنة الإلكترون المتحركة تيار i . **شدة التيار :** هو مقدار الشحنة التي تمر بنقطة معينة خلال وحدة الزمن.

$$i = \frac{e}{T} = \frac{e}{2\pi r/v} = \frac{e \cdot v}{2\pi r}$$

✪ يمكن الحصول على مقدار **عزم ثنائي القطب المغناطيسي للإلكترون متحرك بمدار** حول النواة

$$\mu_{orb} = i \cdot A = \frac{e \cdot v}{2\pi \cdot r} (\pi r^2) = \frac{v \cdot e \cdot r}{2}$$

✪ يمكن الحصول على مقدار **كمية الحركة الزاوية (الزخم) المدارية للإلكترون**

$$L_{orb} = r \cdot P = r \cdot m \cdot v$$

☉ **العلاقة بين الزخم الزاوي (L_{orb}) وعزم ثنائي القطب المغناطيسي (μ_{orb})**

$$\mu_{orb} = -\frac{e}{2m} L_{orb}$$

يتم وضع الإشارة السالبة في الحل لأن : التيار يعرف بدلالة اتجاه تدفق الشحنة الموجبة.

مثال : افترض أن ذرة الهيدروجين تتكون من إلكترون يتحرك بسرعة v في مدار دائري نصف قطره

r حول بروتون ثابت افترض أن قوة الجذب المركزي التي تحافظ على حركة الإلكترون في

مداره هي قوة كهروستاتيكية (نصف قطر مدار الإلكترون هو $5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$) ما مقدار

العزم المغناطيسي المداري لذرة الهيدروجين؟

$$F_c = F_e$$

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = k \frac{q^2}{r^2}$$

$$9.11 \times 10^{-31} \times v^2 = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{5.29 \times 10^{-11}}$$

$$v = 2.19 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$\mu_{\text{orb}} = \frac{v \cdot e \cdot r}{2} = \frac{2.19 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 5.29 \times 10^{-11}}{2} = 9.26 \times 10^{-24} \text{ A.m}^2$$

ثانياً : عزم مغناطيسي مغزلي (اللف المغزلي) :

لا يعد عزم ثنائي القطب المغناطيسي الناتج عن الحركة المدارية للإلكترونات المساهم الوحيد في العزم المغناطيسي للذرات حيث أن هناك جسيمات أولية أخرى لها عزم مغناطيسي مثل البروتونات والنيوترونات.

تُحدد الخاصية المغناطيسية لمعظم المادة بالعزم المغناطيسية للف المغزلي للإلكترون كما يرتبط العزم المغناطيسي لجسيم يتمتع بخاصية اللف المغزلي بكمية الحركة الزاوية للف المغزلي للجسيم S.

$$\mu_s = g \frac{q}{2m} S$$

حيث (g) كمية بلا أبعاد وتسمى **المعامل** وهي تساوي -2.0023×10^{15}

8.6 الخواص المغناطيسية للمادة

المغطة (M):

هي محصلة عزم ثنائي القطب الناتج عن عزوم ثنائيات أقطاب الذرات لكل وحدة حجم من المادة.

ملحوظة : يعتمد المجال المغناطيسي $\vec{B}$ داخل المادة على المجال المغناطيسي الخارجي $\vec{B}_0$ والمغطة $\vec{M}$.

حيث تحدث المغطة : عند تعرض المادة لمجال مغناطيسي خارجي $\vec{B}_0$.

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$$

حيث $\vec{B}$ شدة المجال المغناطيسي داخل المادة

$$\vec{H}_0 = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0} : (\vec{H}) \text{ حساب شدة المجال المغناطيسي الخارجي }$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M} = \vec{H}_0 \mu_0 + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 (\vec{H}_0 + \vec{M})$$

ملحوظة : وحدة المجال المغناطيسي $\vec{B}$ هي T ووحدة معامل النفاذية المغناطيسية μ_0 هي T.m/A .. بالتالي فإن وحدتي المغطة $\vec{M}$ وشدة المجال المغناطيسي $\vec{H}$ هي A/m.

١٠ المواد الدايامغناطيسية والبارامغناطيسية ١٠

تنقسم المواد من حيث مغنطتها إلى ثلاث أقسام:

① ديامغناطيسية ② بارامغناطيسية ③ فرومغناطيسية

☆ العلاقة بين المغنطة $\vec{M}$ وشدة المجال المغناطيسي الخارجي $\vec{H}$ للمواد الدايامغناطيسية والبارامغناطيسية

$$\vec{M} = X_m \vec{H}$$

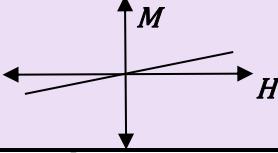
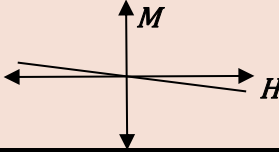
حيث X_m القابلية المغناطيسية للمادة (ثابت ليس له وحدة قياس)

معامل النفاذية المغناطيسية النسبي K_m : $K_m = 1 + X_m$

معامل النفاذية المغناطيسية للمادة μ : $K_m = \frac{\mu}{\mu_0}$

$$K_m = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{B}{B_0} = \frac{H}{H_0} = (1 + X_m) \quad \text{وبشكل عام نجد أن :}$$

١١ مقارنة بين المواد الدايامغناطيسية والبارامغناطيسية ١١

المواد البارامغناطيسية	المواد الدايامغناطيسية	
ثنائيات القطب تكون مرتبة عشوائياً ومحصلة المجال المغناطيسي داخلها $= 0$	ثنائيات القطب تكون مرتبة عشوائياً ومحصلة المجال المغناطيسي داخلها $= 0$	غياب مجال مغناطيسي خارجي
ثنائيات القطب ترتب نفسها باتجاه المجال الخارجي كما يستحث فيها مجال باتجاه المجال الخارجي	ثنائيات القطب ترتب نفسها عكس المجال الخارجي كما يستحث فيها مجال معاكس للمجال الخارجي	وضعها في مجال مغناطيسي خارجي
$X_m > 0$ موجبة	$X_m < 0$ سالبة	القابلية المغناطيسية
صغيرة وبنفس اتجاه المجال الخارجي $\vec{H}$	صغيرة ومعاكسة لاتجاه المجال الخارجي $\vec{H}$	المغنطة $\vec{M}$
تزول المغنطة	تزول المغنطة	ازالة المجال الخارجي
		العلاقة البيانية بين $\vec{H}$ ، $\vec{M}$
$M = \frac{c \cdot B}{T}$ قانون كوري C: ثابت كوري	المغنطة $\vec{M}$ لا تعتمد على الحرارة	المغنطة $\vec{M}$ ودرجة الحرارة
تتأثر بقوة باتجاه منطقة المجال الأكبر وتنجذب للمغناطيس المؤثر عليها	تتأثر بقوة باتجاه منطقة المجال الأقل وتتنافر مع المغناطيس المؤثر عليها	وضعها في مجال خارجي غير منتظم
العناصر الانتقالية و الأرضية النادرة	النحاس – الفضة – معظم العناصر	أمثلة لتلك المواد