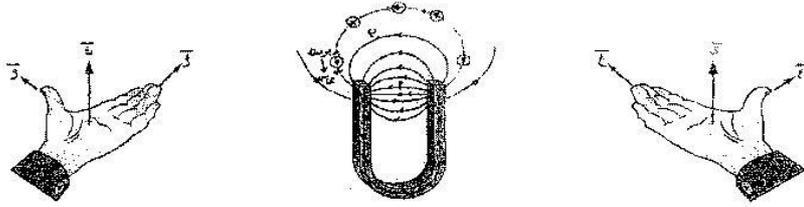


وما بكم من نعمة فمن الله ...

# الفيزياء

الجزء الثالث .net

## المجال المغناطيسي



إعداد

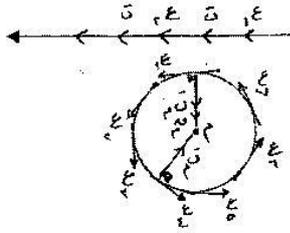
## محمد دودين

لا تجعل التاريخ يصنعك - بل اصنع تاريخك بنفسك


## مفاهيم معلومات أساسية في علم الحركة

### ١ قواعد لا تنسى (مسلماً في اتجاهات الحركة) :-

- ١- [ الأزاخة (ت) & الحركة (ع) السرعة ] ... متلازمان اتجاههما دائماً
- ٢- [ القوة (ق) & التسارع (ت) ] ... متلازمان اتجاههما ومقداراً دائماً
- ٣- [ التسارع (ت) & الحركة (ع) السرعة ] ... اتجاهها حالتين..



اولاً. التسارع موازي للسرعة (ت // ع) وهنا يعمل التسارع على:  
 تثبيت اتجاه السرعة لذلك يسلك الجسم مسار مستقيم  
 ثانياً. التسارع عمودي على السرعة (ت ⊥ ع) وهنا يعمل التسارع على:  
 تغير مستمر في اتجاه السرعة لذلك يسلك الجسم مسار دائري

### ٢ القوة الموازية & القوة العمودية :-

القوة الموازية تحدث تغير في الطاقة الحركية (زيادة أو نقصان)  $\Delta$  طح = صفر اي ان ش = صفر : awazel.net

$$\text{ش} = \text{ق} \cdot \text{ف} \cdot \text{جتا } \theta$$

- السحب . ش = ق ف جتا صفر = + ق ف (زيادة في الطاقة الحركية)
- الاحتكاك . ش = ق ف جتا 180 = - ق ف (نقصان في الطاقة الحركية)

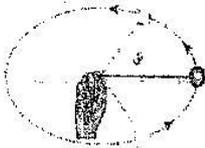
القوة العمودية لا تحدث تغير في الطاقة الحركية (لا زيادة ولا نقصان)  $\Delta$  طح = صفر اي ان ش = صفر:

الوزن (شرط عمودي على الحركة) . ش = ق ف جتا 90 = صفر (من المستحيل ان تتغير الطاقة الحركية)

### ٣ القوة المركزية :-

أي جسم يسلك مسار دائري . فإنه يتأثر بقوة مركزية عمودية حيث:

$$\text{ق} = \text{م} \cdot \text{ك} \cdot \text{ت} \cdot \text{م} \cdot \text{ع} \quad \text{حيث} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{ت} \cdot \text{م} \cdot \text{ع} = \frac{\text{ع}}{\text{نق}} \\ \text{ويعطى مقدار القوة المركزية بالقانون:} \end{array} \right.$$



١- لكي يتعرض الجسم لقوة مركزية ويسلك مساراً دائرياً يجب ان تحقق هذه القوة شرطين متلازمين :  
 ان تكون القوة دائماً ثابتة المقدار  
 ان تكون القوة دائماً عمودية (بحر المركز) على سرعة الجسم (او ازاخته)

$$\text{ق} = \frac{\text{م} \cdot \text{ع}^2}{\text{نق}}$$

خصائص القوة العمودية على اتجاه الحركة [ 90 =  $\theta$  ]:

- ١- لا تبدل شغل.
  - ٢- لا تغير من طاقة حركة الجسم.
  - ٣- لا تغير من مقدار سرعة الجسم.
  - ٤- تغير فقط اتجاه سرعة الجسم.
- كل القوة المركزية هي قوة عمودية لذلك تطبق عليها الخصائص الأربعة السابقة .

اتجاه (ق) عمودي على اتجاه (ع أو ف)

$$\begin{array}{l} \text{ش} = \text{ق} \cdot \text{ف} \cdot \text{جتا } \theta \\ \text{ق} \cdot \text{ف} \cdot \text{جتا } 90 = \\ \text{صفر} \quad \text{لكن ش} = \Delta \text{طح} \\ \Delta \text{طح} = \text{صفر} \quad \text{ع (ثابته)} \end{array}$$

## القسم الأول : القوة المغناطيسية

## المجال المغناطيسي .. وخصائصه

أولاً

awazel.net

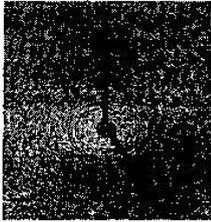
وضح المقصود بمخط المجال المغناطيسي؟

سؤال

[ هو المسار الذي يسلكه قطب شمالي (افتراضي) عند وضعه حراً في مجال مغناطيسي ] .

يخطط المجال المغناطيسي باستخدام برادة الحديد ويوصلات مغناطيسية. أذكر وظيفة كل منها؟

سؤال



برادة الحديد : لتحديد شكل خطوط المجال من خلال ترتيبها (على شكل : دوائر ، خطوط ، ...)

البوصلة : لتحديد اتجاه خط المجال من نقطة إلى أخرى داخل المجال المغناطيسي .  
لأنه يسهل اتجاه القطب الشمالي لبوصلته

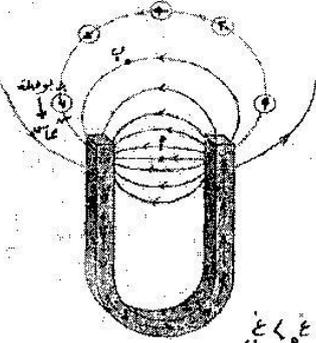
الإجابة

ما هي خصائص خطوط المجال المغناطيسي؟

سؤال

١- تخرج خطوط المجال المغناطيسي من القطب الشمالي وتدخل في القطب الجنوبي وتكمل دورتها من القطب الجنوبي إلى الشمالي داخل المغناطيس . لذلك :  
خطوط المجال المغناطيسي مغلقة .

الإجابة



٢- خطوط المجال المغناطيسي لا تتقاطع (لا يلامس) .

٣- يدل اتجاه المماس عند نقطة ما على اتجاه المجال المغناطيسي في تلك النقطة، ويستدل عليها تجريبياً من اتجاه القطب الشمالي لبوصلة في تلك النقطة.

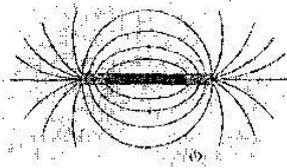
٤- تدل كثافة خطوط المجال المغناطيسي عند أي نقطة على مقدار المجال في تلك النقطة .

ما الفرق الرئيسي بين خطوط المجال المغناطيسي وخطوط المجال الكهربائي؟؟

سؤال

خطوط المجال المغناطيسي مغلقة في حين خطوط المجال الكهربائي غير مغلقة .

الإجابة



خطوط المجال المغناطيسي مغلقة في حين خطوط المجال الكهربائي غير مغلقة. علّل ذلك؟

سؤال

• ذلك لعدم إمكانية وجود قطب مغناطيسي مفرد، وهذا بخلاف الشحنات الكهربائية



التي يمكن أن تتواجد بصورة منفردة سواء كانت موجبة أو سالبة .

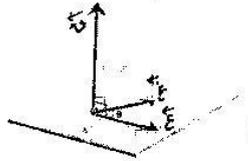
الإجابة



ثانياً القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية متحركة في مجال مغناطيسي.

1 تجربة عملية

\* إذا وجدت شحنة كهربائية (س) تتحرك بسرعة (ع) في مجال مغناطيسي منتظم (ع) باتجاه (لا يوازيه) فإن هذه الشحنة ..

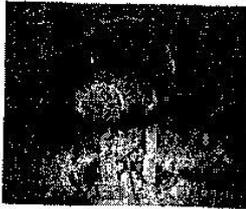


1- تتأثر بقوة مغناطيسية مقدارها  $[ ق = ص ع جا \theta ]$  حيث:

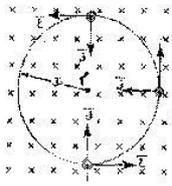
ق: القوة المغناطيسية (نيوتن) وهي (تتحقق شروط القوة المركزية) حيث:

1- ثابتة المقدار  
2- عمودية على اتجاه كل من ع و B (ق ⊥ ع و ق ⊥ B)

3- الرابطة المحصورة بين اتجاه المجال المغناطيسي (ع) واتجاه الحركة (ع).



حرفة هورث من الإنترنت في مجال مغناطيسي منتظم



2- تتأثر بقوة مركزية مقدارها  $[ ق = \frac{ك ع}{نق}$  ] تجعلها تسلك مسار دائرياً حيث

ق = ق دائماً ←  $ص ع جا \theta = \frac{ك ع}{نق}$

3- لا يُبدل عليها شغل من قبل القوة المغناطيسية لأنها قوة عمودية، لذلك

من المستحيل أن يحدث المجال المغناطيسي تغير في الطاقة الحركية للشحنة وبذلك تحافظ على سرعتها (ع = ص) لكن اتجاه السرعة يتغير.

ملاحظات

1- عند تمثيل خطوط المجال المغناطيسي، إذا كان:

- اتجاه المجال عمودياً على مستوى الصفحة نحو الداخل (بعيداً عن الناظر) محور (ز-) يعبر عنه بالرمز (X)
- اتجاه المجال عمودياً على مستوى الصفحة نحو الخارج (مقرباً من الناظر) محور (ز+) يعبر عنه بالرمز (O)

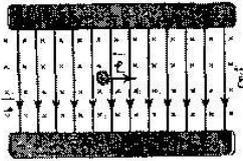
2- يؤثر المجال الكهربائي في الشحنات الكهربائية الموضوعة فيه بقوة تساوي (ص س)، ولو تحركت شحنة

داخل مجال كهربائي (ص) وآخر مغناطيسي (ع) فإنها تتعرض إلى قوة تسمى (قوة لورنتز). محصلتها مثلاً:

ق (محصلة) = ق (كهربائية) + ق (مغناطيسية)

ق (محصلة) = ص س + ص ع جا \theta = ص (س + ع جا \theta) وتسمى هذه القوة المحصلة

بـ (قوة لورنتز).



قوة لورنتز

وضح المقصود بقوة لورنتز؟



الرجاء

awa2el.net



متى تكون القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة كهربائية تتحرك في مجال مغناطيسي :

١- أكبر ما يمكن (قيمتها العظمى) ب- أقل ما يمكن (قيمتها الصغرى) ج- نصف قيمتها العظمى

سؤال  
٧

- ١- أكبر ما يمكن (ق =  $v \times B \sin \theta$ ) وذلك عندما تكون ( $\theta = 90^\circ$ ) أي عندما يكون اتجاه الحركة عمودياً على اتجاه المجال المغناطيسي (غ).  
٢- أقل ما يمكن (ق = صفر) وذلك عندما تكون ( $\theta = 0^\circ$  صفر أو  $\theta = 180^\circ$ ) أي عندما يكون اتجاه الحركة موازياً لاتجاه المجال المغناطيسي (غ).  
٣- نصف قيمتها العظمى (ق =  $\frac{1}{2} v \times B$ ) وذلك عندما تكون ( $\theta = 30^\circ$  أو  $\theta = 150^\circ$ ) حيث (جا  $30^\circ =$  جا  $150^\circ = \frac{1}{2}$ )، أي عندما تكون الزاوية مائلة بين اتجاه الحركة واتجاه المجال المغناطيسي (غ) ب  $30^\circ$  أو  $150^\circ$ .

.. ما الشغل الذي تبذله القوة المغناطيسية على شحنة متحركة في مجال مغناطيسي؟ فسر إجابتك.

صفر. ذلك لأن القوة تؤثر دائماً باتجاه عمودي على حركة الشحنة وبالتالي عمودي على إزاحتها (ف) أي ان  $\theta = 90^\circ$

حيث : ش = ق ف جتا  $\theta =$  ق ف جتا  $90^\circ =$  صفر

سؤال  
٨

.. فسر تفسيراً وافياً لكل مما يلي؟

١- لا تبذل القوة المغناطيسية شغلاً (من المستحيل أن يحدث المجال المغناطيسي تغييراً في الطاقة الحركية لجسيم مشحون).

ذلك لأن القوة تؤثر دائماً باتجاه عمودي على حركة الشحنة وبالتالي عمودي على إزاحتها (ف) أي ان  $\theta = 90^\circ$

حيث : ش = ق ف جتا  $\theta =$  ق ف جتا  $90^\circ =$  صفر وبما أن  $\Delta طح = ش$  فإن  $\Delta طح =$  صفر

٢- عند وضع بروتون في حالة السكون في المجال الكهربائي يتأثر بقوة كهربائية بينما عند وضعه في حالة السكون في المجال المغناطيسي لا يتأثر بقوة مغناطيسية.

حسب العلاقة في (كهربائية) - م س ، القوة الكهربائية لا تعتمد على سرعة الشحنة، ولكن حسب العلاقة في (مغناطيسية) - م س ع جتا  $\theta$  القوة المغناطيسية تعتمد على سرعة الشحنة حيث إذا كانت ع = صفر (حالة السكون) فإن ق (مغناطيسية) = صفر.

٣- مسار الشحنة الكهربائية المتحركة في مجال مغناطيسي بسرعة ثابتة يأخذ شكلاً دائرياً.

awazel.net

قارن بين القوة الكهربائية & القوة المغناطيسية المؤثرة في جسيم مشحون.

القوة المغناطيسية	القوة الكهربائية	رقم
$ق = س ع جا \theta$	$ق = د س$	١
تؤثر دائماً باتجاه عمودي على خطوط المجال المغناطيسي وعمودية على اتجاه الحركة	تؤثر دائماً باتجاه يوازي خطوط المجال الكهربائي وموازية لاتجاه الحركة	٢
لا يمكنها ان تحرك الشحنات الساكنة	يمكنها ان تحرك الشحنات الساكنة	٣
لا يمكنها ان تغير من مقدار سرعة الجسيم المشحون وبالتالي لا تغير طاقته الحركية.	يمكنها ان تغير من مقدار سرعة الجسيم المشحون وبالتالي تغير طاقته الحركية.	٤
لا تبدل شغلاً	تبدل شغلاً	٥

ما هو الفرق الرئيسي بين القوة الكهربائية & القوة المغناطيسية المؤثرة في جسيم مشحون؟

ان القوة الكهربائية تبدل شغلاً على الجسيم المشحون في حين القوة المغناطيسية لا تبدل شغلاً على الجسم المشحون

awazel.net

قارن بين استخدام كل من المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي في المسارح النووية؟

\* المجال المغناطيسي : يستخدم لتوجيه الجسيمات المشحونة . \* المجال الكهربائي : يستخدم لتسريع الجسيمات المشحونة .

اثبت ان نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه جسيم مشحون يتأثر بقوة مغناطيسية يعطى بالعلاقة:  $\frac{ك ع}{س ع جا \theta} = \frac{ق}{س ع جا \theta}$

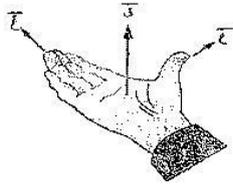
حركة الجسم المشحون في مسار دائري لا تكتم إلا بتأثير قوة مركزية وهي هنا القوة المغناطيسية : أي ان ق مغناطيسية = ق مركزية وبتطبيق قانون نيوتن الثاني : ق مغناطيسية = ك ت مركزي

صورة مائة  $\frac{ك ع}{س ع جا \theta} = \frac{ق}{س ع جا \theta}$  وعندما تكون الحركة عمودية على المجال  $\frac{ك ع}{س ع} = \frac{ق}{س ع جا \theta}$  صورة مائة

ما هي العوامل التي يعتمد نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه جسيم مشحون مقذوف عمودياً على اتجاه مجال مغناطيسي منتظم؟

- ١- كتلة الجسيم
  - ٢- سرعة الجسيم
  - ٣- شحنة الجسيم
  - ٤- شدة المجال المغناطيسي
- ما هي العوامل التي يعتمد اتجاه دوران جسيم مشحون مقذوف عمودياً على اتجاه مجال مغناطيسي منتظم؟؟
- ١- نوع الشحنة
  - ٢- اتجاه حركة الشحنة
  - ٣- اتجاه المجال المغناطيسي

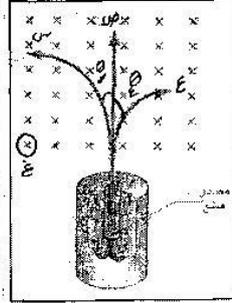
حدد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنة الموجبة باستخدام قاعدة اليد اليمنى حيث



- ١- تشير الأصابع الأربعة إلى اتجاه المجال (  $\vec{B}$  )
  - ٢- تشير الإبهام إلى اتجاه حركة الشحنة ( السرعة ) (  $\vec{v}$  )
  - ٣- تشير راحة اليد (باطن اليد) نحو الخارج إلى اتجاه القوة المغناطيسية (  $\vec{F}$  )
- حيث : إذا كانت الشحنة سالبة نظرف قاعدة اليد اليمنى ونعكس الاتجاه ..

مثال ١

يوضح الشكل المرسوم مصدر إشعاع أطلق منه ثلاث جسيمات هي: ألفا (+) ، بيتا (-) ، وغاما (متعادلة) فأحرقت في ثلاث مسارات من صن ع. اجب عما يلي



١- حدد أي من هذه الجسيمات (ألفا ، بيتا ، غاما)؟

ب- أي الجسيمات لها نصف قطر أكبر وأيها له زاوية انحراف أكبر.

١- المسار (م) : جسيم ألفا (شحنة موجبة) حسب قاعدة اليد اليمنى.

المسار (ص) : اشعة غاما (متعادلة) لا تتأثر بقوة.

المسار (ع) : جسيم بيتا (شحنة سالبة) حسب قاعدة اليد اليسرى.

ب- نفوس أكبر نصف قطر  $\alpha$  زاوية انحراف  $\beta$  أكبر انحراف.

مقدار الانحراف يختلف عن نصف القطر (مفهوم انحناء متعاكسان) حيث:

إذا انحرف الجسيم بدرجة كبيرة فإن نصف قطر الانحراف يكون صغيراً.

إذا انحرف الجسيم بدرجة صغيرة فإن نصف قطر الانحراف يكون كبيراً.

4/11

Drill

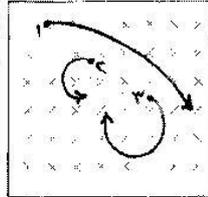
دخلت ثلاث جسيمات

متماثلة الشحنة والكتلة وتتحرك

بسرعات متفاوتة إلى مجال مغناطيسي

كما في الشكل. رتب سرعتها

تصاعدياً ثم بين نوع شحنة كل منها



\* بما أن  $\frac{K}{v} = \frac{mv^2}{v} = mv$  فالجسيم ذو السرعة الأكبر له نصف

القطر الأكبر (بعلاقة طردية) وذلك عند ثبات (سر ك غ) بوعليه فإن

ترتيب الجسيمات تصاعدياً : (٢) ، (٣) ، (١)

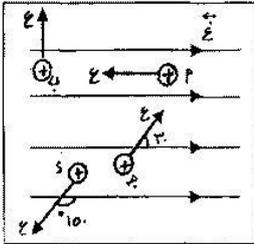
\* شحنة الجسيم (١) : شحنة سالبة حسب قاعدة اليد اليسرى .

شحنة الجسيم (٢) : شحنة موجبة حسب قاعدة اليد اليمنى.

شحنة الجسيم (٣) : شحنة سالبة حسب قاعدة اليد اليسرى.

مثال ٢

جسيم شحنته ٤ ميكروكولوم يتحرك بسرعة  $10 \times 10^6$  م/ث في مجال مغناطيسي منتظم مقداره ٤ تسلا إتجاه محور السينات الموجب.



١- احسب مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة في

كل من الحالات (أ) ، (ب) ، (ج) ، (د).

٢- إذا علمت أن كتلة الشحنة  $24 \times 10^{-14}$  كغ. احسب

نصف قطر المسار لها وتسارعها في حالة (ج).

نعم جداً

(١٨٠=٥)  $\Rightarrow \frac{4 \times 10^{-6} \times 10^7}{10^{-14}} = 4 \times 10^{17}$  نيوتن

(٩٠=٥)  $\Rightarrow \frac{4 \times 10^{-6} \times 10^7}{10^{-14}} = 4 \times 10^{17}$  نيوتن

(١٨٠=٥)  $\Rightarrow \frac{4 \times 10^{-6} \times 10^7}{10^{-14}} = 4 \times 10^{17}$  نيوتن

(٩٠=٥)  $\Rightarrow \frac{4 \times 10^{-6} \times 10^7}{10^{-14}} = 4 \times 10^{17}$  نيوتن

(١٨٠=٥)  $\Rightarrow \frac{4 \times 10^{-6} \times 10^7}{10^{-14}} = 4 \times 10^{17}$  نيوتن

(٩٠=٥)  $\Rightarrow \frac{4 \times 10^{-6} \times 10^7}{10^{-14}} = 4 \times 10^{17}$  نيوتن

(١٨٠=٥)  $\Rightarrow \frac{4 \times 10^{-6} \times 10^7}{10^{-14}} = 4 \times 10^{17}$  نيوتن

awaz el.net

$\frac{K}{v} = mv$  (مركبة)

$\frac{K}{v} = mv$  (مركبة)

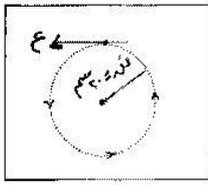
$\frac{K}{v} = mv \Rightarrow \frac{mv^2}{v} = mv$

\*  $\frac{K}{v} = mv$   $\Rightarrow \frac{mv^2}{v} = mv$   $\Rightarrow \frac{mv^2}{v} = mv$

$\frac{K}{v} = mv \Rightarrow \frac{mv^2}{v} = mv$

مثال ٣

يمثل الشكل مسار دقيقة مادية كتلتها  $10^{-8} \text{ كغ}$  شحنتها  $(2 \times 10^{-18} \text{ كولوم})$  بعد ان دخلت مجالاً مغناطيسياً منتظماً بسرعة مقدارها  $30 \times 10^3 \text{ م/ث}$ ، بشكل عمودي على هذا المجال. احسب مقدار واتجاه هذا المجال.



$$v = r\omega$$

$$r = \frac{mv}{qB} \Rightarrow \omega = \frac{qB}{m}$$

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

بشكل عمودي على هذا المجال. احسب مقدار واتجاه هذا المجال.

$$F = qvB \sin \theta$$

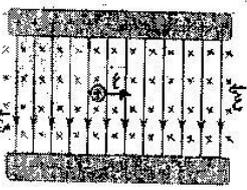
$$F = \frac{mv^2}{r}$$

$$q v B = \frac{mv^2}{r}$$

$$B = \frac{mv}{qr}$$

مثال ٤

في الشكل مجالين إحداهما مغناطيسي مقداره (٥) غاوس باتجاه عمودي على الصفحة للداخل والآخر كهربائي مقداره  $(\frac{4}{3} \times 10^{-3} \text{ نيوتن/كولوم})$  باتجاه (ص). إذا علمت أن شحنة كهربائية مقدارها (٣٠) ميكروكولوم دخلت هذه النقطة بسرعة مقدارها  $(4 \times 10^4 \text{ م/ث})$  باتجاه محور (س). أجب عما يلي.



أ- احسب مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة. وما هو اسم هذه القوة.

ب- إذا كانت القوتان متساويتان في المقدار فكيف تتحرك هذه الشحنة. وما الذي يجب توفيره حتى تستمر الشحنة في مسارها دون انحراف.

$$F_e = qE = 30 \times 10^{-6} \times \frac{4}{3} \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-8} \text{ نيوتن}$$

$$F_m = qvB = 30 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^4 \times 5 = 6 \times 10^{-8} \text{ نيوتن}$$

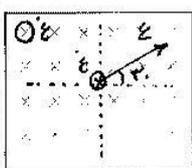
ب- إذا تسارعت المتحرك في المقادير، فإنه محصلة القوة المؤثرة في الشحنة تسارعه، فنضع الشحنة حرة. وتواجه سرعتها في ذلك مستقيم حده انحراف وبسرعة ثابتة. حيث  $v = \frac{F_e}{F_m} = \frac{4 \times 10^{-8}}{6 \times 10^{-8}} = \frac{2}{3} \text{ م/ث}$

Drill

تمتلك شحنة مقدارها  $10^{-11} \text{ كولوم}$ ، بسرعة  $10^2 \text{ م/ث}$  باتجاه يميل بزاوية  $30^\circ$  في مجال مغناطيسي مقداره  $30 \text{ غاوس}$  واتجاهه عمودي على الصفحة نحو الداخل.

أ- احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة.

ب- ما شكل المسار الذي تسلكه الشحنة؟

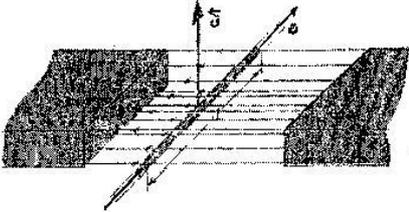


$$F = qvB \sin \theta = 10^{-11} \times 10^2 \times 30 \times \sin 30^\circ = 1.5 \times 10^{-9} \text{ نيوتن}$$

## القوة المغناطيسية المؤثرة في موصل (سلك) يسري فيه تيار

ثالثاً

تجربة عملية



تصور سلكاً يسري فيه تيار كهربائي (ت)، موضوعاً في مجال مغناطيسي منتظم (غ) بحيث يصنع السلك زاوية مقدارها  $(\theta)$  مع اتجاه المجال المغناطيسي فإن هذا السلك سيتأثر بقوة مغناطيسية.

فسر منشأ القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك الموضح في الشكل ؟

سؤال

٦  
١

من المعلوم لدينا أن المجال المغناطيسي يؤثر في الشحنة الكهربائية المتحركة فيه. وبما أن التيار الكهربائي عبارة عن شحنات كهربائية متحركة في اتجاه واحد فعند وضع السلك في مجال مغناطيسي فإن المجال المغناطيسي سيؤثر بقوة مغناطيسية في الشحنات المتحركة فيه فيتأثر السلك بمحصلة القوى المؤثرة في هذه الشحنات المتحركة.

أثبت أن القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك في الشكل الموضح تعطى بالقانون : [ق = ت ل غ جا  $\theta$ ] ؟

سؤال

٦  
٢

(مخ) = (مغ) x عند الاستناد الكلي المتحركة في وحدة الحجم (ت x ل) حيث  $l = 2$  عند السلك على السنتيمتر  
 ١.  $F = I L B \sin \theta$  حيث  $\theta$  زاوية بين اتجاه التيار و اتجاه المجال المغناطيسي  
 ٢.  $F = I L B \sin 90^\circ = I L B$  حيث  $\theta = 90^\circ$  حيث  $\theta$  زاوية بين اتجاه التيار و اتجاه المجال المغناطيسي  
 ٣.  $F = I L B \sin 0^\circ = 0$  حيث  $\theta = 0^\circ$  حيث  $\theta$  زاوية بين اتجاه التيار و اتجاه المجال المغناطيسي  
 ٤.  $F = I L B \sin \theta$  حيث  $\theta$  زاوية بين اتجاه التيار و اتجاه المجال المغناطيسي

ما هي العوامل التي تعتمد عليها القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي.

سؤال

٦  
٣

- ١- (ت) شدة التيار الكهربائي
- ٢- (ل) طول السلك.
- ٣- (غ) شدة المجال المغناطيسي
- ٤- (theta) الزاوية المحصورة بين اتجاه غ & ل (أو ت)

متى تكون القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي :

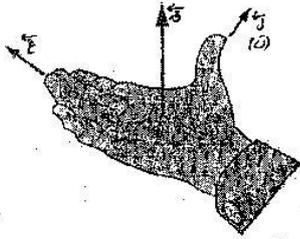
سؤال

٦  
٤

- ١- أكبر ما يمكن (ق = ت ل غ) عندما  $\theta = 90^\circ$  بين اتجاه المجال (غ) واتجاه التيار (ت)، (ت) عمودي على (غ).
- ب- أقل ما يمكن (ق = صفر) عندما  $\theta = 0^\circ$  صفر أو  $\theta = 180^\circ$  بين اتجاه غ & ت، (ت) موازي لخطوط المجال.
- ج- نصف قيمتها العظمى (ق =  $\frac{1}{2}$  ت ل غ) عندما  $\theta = 30^\circ$  ب أو  $\theta = 150^\circ$  بين اتجاه المجال (غ) & التيار (ت)

ملاحظات هامة...

١ - لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار نطبق حصريا قاعدة اليد اليمنى حيث:



- (١) - تشير الأصابع الأربعة إلى اتجاه المجال (غ).
- (٢) - يشير الإبهام إلى اتجاه التيار الاصطلاحي ( حركة الشحنات الموجبة ) (ت).
- (٣) - فتشير راحة اليد نحو الخارج إلى اتجاه القوة المغناطيسية (ق).

٢ - إذا طلب مقدار القوة المؤثرة في [ وحدة الطول من السلك ]

[ سلك دون أن يحدد طول السلك (ل) ]

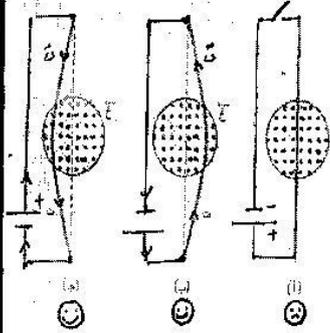
فإننا نعتبر  $l = 1$  متر ونطبق القانون على النحو التالي:

$$\left[ \frac{ق \cdot غ}{ل} = ت \cdot غ \cdot جا \theta \right] \text{ حيث وحدة القياس هنا ( نيوتن / م )}$$

awazel.net



١. أسئلة نظرية.
٢. تحديد اتجاه حركة سلك في مجال مغناطيسي
٣. حساب القوة المؤثرة على سلك يحمل تيار



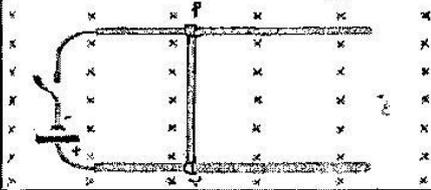
مثال ١  
في الشكل لماذا لم يتحرك السلك في الحالة (أ) وما سبب حركة السلك في الحالتين (ب) & (ج)؟

في الحالة (أ): لا يسري في السلك تيار (ت = صفر) وحسب

العلاقة  $ق = ت \cdot ل \cdot غ \cdot جا \theta = 0$  صفر. لذلك لم يتحرك

في الحالتين (ب) & (ج): يسري تيار (ت) لذلك  $ق = ت \cdot ل \cdot غ \cdot جا \theta \neq 0$  صفر لذلك سيتحرك السلك في الحالتين

مثال ٢  
في الشكل السلك (أ) حر الحركة في المجال المغناطيسي المبين عند إغلاق المفتاح (ج)، فإن السلك :



ب- سيتحرك إلى اليسار

أ- سيتحرك إلى اليمين

د- لن يتحرك.

ج- سيتحرك إلى اليسار ثم إلى اليمين



## عزم الازدواج المؤثر في ملف يمر فيه تيار كهربائي وموضوع في مجال مغناطيسي..

تابعاً

تجربة عملية ..

تقليد

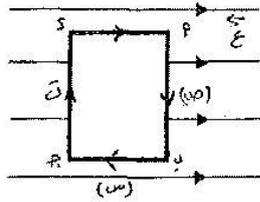
ك - عند وضع حلقة واحدة في مجال مغناطيسي كما في الشكل، بحيث يكون مستوى الحلقة موازياً لمستوى المجال المغناطيسي، ومرور تيار كهربائي في الحلقة فإن كل ضلع يتأثر بقوة يعطي مقلوعها بالقانون .. (ق = ت ل ج با  $\theta$ ) وعليه فإن:-

$$\text{ق ا د} = \text{ت ل ج با} = \text{صفر}$$

$$\text{ق ب ج} = \text{ت ل ج با} = 180^\circ = \text{صفر}$$

$$\text{ق ا ب} = \text{ت ل ج با} = 90^\circ = \text{ت ص غ}$$

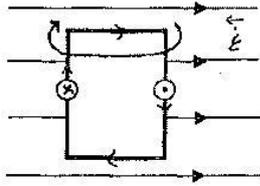
$$\text{ق ج د} = \text{ت ل ج با} = 90^\circ = \text{ت ص غ}$$



⊙ باتجاه عمودي على الصفحة

⊗ باتجاه عمودي على الصفحة

\* بما أن (ق ا ب) و (ق ج د) قوتان متساويتان مقداراً ومتعاكستان اتجاهاً وخطا عمليهما غير مشترك (متوازيان) فإنهما تحدثان ازدواجاً يؤثر على الحلقة ويجعلها تدور حيث:-



عزم الازدواج = إحدى القوتين × البعد العمودي بينهما

awazel.net

$$\text{ت ص غ ج با} \times \text{س}$$

$$\text{ت غ ص ص ج با} \theta$$

$$\text{ت غ ا ج با} \theta$$

ويشكل عام: إذا كان الملف مكوناً من عدة لفات (حلقات) عددها (ن) ويصنع مستواه زاوية مع المجال (غ) فإن:-

$$\text{عزم الازدواج} = \text{ت ا ن غ ج با} \theta$$

حيث  $\theta$  هي الزاوية المحصورة بين اتجاه (غ) واتجاه المساحة (ا) اتجاه العمودي على مستوى الملف. (السطح)

ما هي وحدة قياس عزم الازدواج المؤثر في ملف يمر فيه تيار كهربائي وموضوع في مجال مغناطيسي.. ؟

سؤال

يقاس عزم الازدواج دائماً بوحدة ( نيوتن . م )

١- يبلغ الازدواج قيمته العظمى عندما  $(\theta = 90^\circ)$  ( غ ) عمودي على العمودي - غ موازي لمسوى الملف.

٢- يبلغ الازدواج ٢/١ قيمته العظمى عندما  $(\theta = 30^\circ \text{ أو } 150^\circ)$  بين ( غ ) والعمودي أو  $60^\circ$  بين ( غ ) ومستوى الملف

٣- يتعلم الازدواج عندما  $\theta = 0^\circ = \text{صفر}$  ( غ ) موازي للعمودي - عمودي على مستوى الملف.

لاحظ أنه..



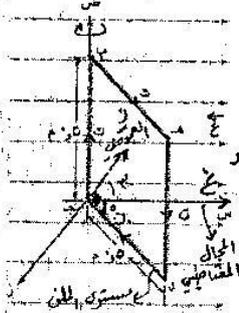
تعتبر المعلم

مثال ١

ملف مستطيل أبعاده (٢م × ٣م)، يتكون من سلك عدد لفاته ٥٠ لفة، مغمور في مجال مغناطيسي منتظم مقداره ٢٠ ملي تسلا، وقابل للدوران حول محور ينطبق على مستواه ويمر بمركزه وعمودي على المجال، إذا مر به تيار كهربائي مقداره ١٠ أمبير، أحسب عزم الازدواج في كل من الحالات:-  
 ١- عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط المجال.  
 ٢- عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط المجال.  
 ٣- عندما يكون مستوى الملف مائلاً والزاوية المحصورة بين المجال والعمودي على الملف ٣٠°.  
 ٤- عندما يكون مستوى الملف مائلاً والزاوية المحصورة بين المجال ومستوى الملف ٣٠°.

4.4 كهرمغنطيسية

مثل الشكل سلكاً على شكل مربع، مكون من ٢٠ لفة ويحمل تيار مقداره ١٠ أمبير ساط عليه مجال مغناطيسي مقداره (٤) تسلا باتجاه محور السينات الموجب، إذا كان السلك حر الحركة للدوران حول محور الصادات (+). أحسب عما يلي:  
 ١- جد مقدار عزم الازدواج المؤثر في الملف.  
 ٢- هل ستزداد الزاوية ٦٠° أم ستقل؟



عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 90^\circ = 800 a^2$   
 إذا كان السلك موازياً للمجال  $\theta = 0^\circ$   $\sin 0 = 0$   $\Rightarrow$  عزم الازدواج = 0  
 إذا كان السلك عمودياً على المجال  $\theta = 90^\circ$   $\sin 90 = 1$   $\Rightarrow$  عزم الازدواج =  $800 a^2$   
 إذا كان السلك مائلاً  $\theta = 30^\circ$   $\sin 30 = 0.5$   $\Rightarrow$  عزم الازدواج =  $400 a^2$

عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 30^\circ = 400 a^2$   
 عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 60^\circ = 692.8 a^2$   
 عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 90^\circ = 800 a^2$

4.4 Drill

سلك طوله (ل) يراد عمل ملف منه. أيهما سيحدث عزم ازدواج أكبر. إذا عمل على شكل لفة مربعة واحد أم على شكل لفتين مربعيتين. وضح إجابتك؟

عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 90^\circ = 800 a^2$   
 عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 90^\circ = 800 a^2$   
 عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 90^\circ = 800 a^2$

مثال ٢

يسري تيار مقدار ٧، ٠ أمبير في ملف دائري عدد لفاته ١٠ لفات، ونصف قطره ١١ سم، وقابل للدوران حول محور ينطبق على مستواه، إذا علمت أن النهاية العظمى لعزم الازدواج المؤثر في الملف هي  $10 \times 10^{-4}$  نيوتن.م عند غمره في مجال مغناطيسي منتظم. أحسب شدة هذا المجال.  
 عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 90^\circ = 800 a^2$   
 عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 90^\circ = 800 a^2$   
 عزم الازدواج =  $20 \times 10 \times 4 \times a^2 \sin 90^\circ = 800 a^2$

## القسم الثاني : مصادر المجال المغناطيسي

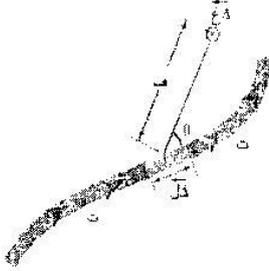
سؤال -

كيف يمكن الحصول على مجال مغناطيسي؟ وكيف يمكن حساب مقداره؟

إن لاكتشاف العالم أوتفد الدور البارز في التعرف إلى أهم مصادر المجال المغناطيسي وهو التيار الكهربائي حيث لاحظ أن مرور تيار كهربائي في موصل يولد حوله مجالاً مغناطيسياً وبذلك اكتشف العلاقة بين المغناطيسية والكهرباء. ولم بعد ذلك تطوير العديد من القوانين الرياضية التي تحكم العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي وكان بيرو و سافار و أمبير من أبرز العلماء الذين عملوا في هذا المجال.

## \* قانون بيرو - سافار

مثل الصورة الرياضية الآتية [  $\Delta \theta = \frac{\mu}{\pi r} \Delta l \sin \theta$  ] تعبيراً رياضياً في المغناطيسية. أجب عما يلي :



- 1- ما اسم القانون الذي تعبر عنه هذه الصورة . وفي ماذا يستخدم هذا القانون ؟
- 2- ما دلالة الرمز [  $\mu$  ] . وما هي وحدة قياسه [ اشتقها ] ؟
- 3- ما المقصود بكل من (  $\Delta l$  ،  $r$  ،  $\theta$  ) ؟
- 4- ما هي مزايا وخصائص المجال المغناطيسي (  $\Delta B$  ) الناشئ عن مرور تيار في موصل ما .
- 5- ما الزاوية المحصورة بين (  $\Delta B$  ) و كل من [  $r$  و  $\theta$  ] .

1- [ قانون بيرو - سافار ] .. يستخدم القانون لدراسة شدة المجال المغناطيسي عند نقطة بعدد مسافة (  $r$  ) عن موصل ما يسري فيه تيار كهربائي ثابت.

2-  $\mu$  : ثابت يسمى الثابت المغناطيسي ( في الفراغ ) حيث  $\mu_0$  : الثابت المغناطيسي في وسط ما.

من القانون :

$$\text{تسمى } \mu = \frac{\text{أمبير} \cdot \text{متر}}{\text{أمبير} \cdot \text{متر}} \text{ سمي } \mu = \frac{\text{تسلا} \cdot \text{م}^2}{\text{أمبير} \cdot \text{م}} \text{ لكنه تسمى } \mu_0 = \text{ديبير} \cdot \text{متر} \cdot \text{م}^2 \text{ (تسلا لاغياً)}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ تيسلا} \cdot \text{م}^2 / \text{أمبير} \cdot \text{متر}$$

توضيح:

$$\text{القدار } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ وبيرو / أمبير} \cdot \text{م} \text{ وبالتالي : الثابت } \mu_0 = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{\pi} \text{ وبيرو / أمبير} \cdot \text{م}$$

1-  $\Delta B$  : طول قسم من السلك  $r$  : البعد بين محور السلك والنقطة المراد حساب المجال عندها  $\theta$  : الزاوية المحصورة بين [  $\Delta l$  و  $r$  ]

2- الخصائص (المزايا، المبررات) : للمجال المغناطيسي (  $\Delta B$  ) الناشئ عن مرور تيار في موصل ما عند نقطة تبعد عن الموصل مسافة  $r$ .

1- يتناسب طردياً مع التيار الكهربائي المار في الموصل.

2- يتناسب عكسياً مع مربع الإزاحة (  $r$  )3- يتناسب طردياً مع جيب  $\theta$ 

4- يعتمد على نوع مادة الوسط الموجود فيه الموصل (علاقة طردية).

5- يكون المتجه (  $\Delta B$  ) عمودياً على كل من (  $\Delta l$  ) و (  $r$  )6- الزاوية هي (  $90^\circ$  ) .

awazel.net

سؤال

من خلال دراستك للمجال المغناطيسي اجب عمائلي:

اولا: اكتب صيغة رياضية تعبر فيها عن قانون (بيو - سافار) موضح دلالة كل رمز فيها  
ثانيا: استخدم هذه الصيغة الرياضية في إثبات أن المجال المغناطيسي الناشئ عن ملف دائري عدد

لفاته (ن) لفة ويسري فيه تيار (ت) يعطى بالمقدار:  $B = \frac{\mu_0 n I}{2r}$

اولاً: الصيغة الرياضية:  $B = \frac{\mu_0 n I}{2r}$

- $B$ : جزء من مقدار المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي ثابت في موصل ما.
- $\mu_0$ : النفاذية المغناطيسية.
- $n$ : عدد اللفات لكل متر من الموصل.
- $I$ : التيار الكهربائي الشاقب المار في الموصل.
- $r$ : مقدار جزء من الطول (مستم من الطول) للموصل الذي يمر منه التيار.
- $\theta$ : الزاوية المحصورة بين اتجاه (ال) واتجاه (ف).

ثانياً:  $B = \frac{\mu_0 n I}{2r}$  حيث  $n = \frac{N}{L}$   $I = \frac{Q}{t}$   $Q = n_e \cdot e \cdot A \cdot v$

$B = \frac{\mu_0 n_e \cdot e \cdot A \cdot v \cdot N}{2r \cdot L}$   $B = \frac{\mu_0 n_e \cdot e \cdot A \cdot v \cdot N}{2r \cdot L}$

$B = \frac{\mu_0 n_e \cdot e \cdot A \cdot v \cdot N}{2r \cdot L}$   $B = \frac{\mu_0 n_e \cdot e \cdot A \cdot v \cdot N}{2r \cdot L}$

$B = \frac{\mu_0 n_e \cdot e \cdot A \cdot v \cdot N}{2r \cdot L}$   $B = \frac{\mu_0 n_e \cdot e \cdot A \cdot v \cdot N}{2r \cdot L}$

تعليق

يصعب استخدام قانون بيو - سافار والتطبيق عليه للموصلات التالية: [السلك المستقيم والملف اللولبي والموصلات التي شكلها الهندسي غير منتظم] حيث نواجه صعوبة في تحديد كل من  $\theta$ ,  $L$ ,  $r$ ,  $A$  ولذلك تحتاج هذه الموصلات الى علم التكامل [علم الرياضيات تكاملات خاصة وصعبة] وهو ليس موضوع دراستنا والمطلوب فقط التطبيق على القوانين الثلاثة التالية:

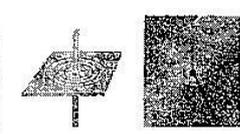
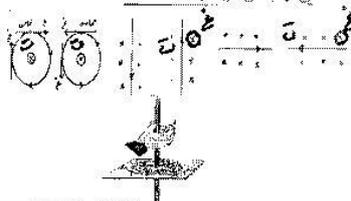
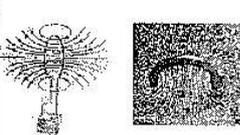
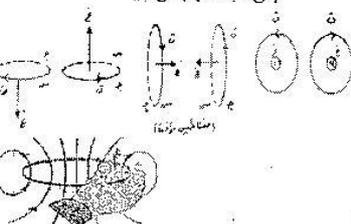
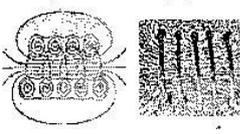
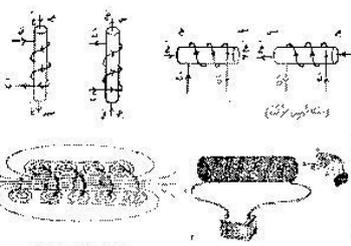
\* يحفظ القانون ولا يشتق لانه يحتاج علم التكامل  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

awazel.net

\* يحفظ القانون ويشق من قانون بيو - سافار لسهولة تحديد كل من  $\theta$ ,  $L$ ,  $r$ ,  $A$   $B = \frac{\mu_0 n I}{2r}$

\* يحفظ القانون ولا يشتق لانه يحتاج علم التكامل  $B = \frac{\mu_0 n I}{L}$

ملخص مصادر المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في موصل

شكل الموصل	شكل خطوط المجال (وصف)	تحدد اتجاه المجال المغناطيسي	قانون المجال (ب) [ مقدار ]
<p>1 سلك مستقيم لانتهائي الطول</p> <p>مكان الدراسة المطلوب أي نقطة حول السلك المغناطيسية وتبعد عن محوره مسافة (r)</p>	<p>هوائك تقع مركزها على محور السلك وفي مستوى متعامد مع السلك</p> 	<p>نستخدم قاعدة قبضة اليد اليمنى بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه (يسار) ويشير الأصابع إلى اتجاه المجال (يمين) ويكون اتجاه المجال عند أي نقطة في المجال هو اتجاه المعاص عند تلك النقطة</p> 	<p>ش السلك = <math>\frac{\mu}{2\pi r}</math></p>
<p>2 ملف دائري</p> <p>مكان الدراسة المطلوب محصيا في مركز الملف الدائري</p>	<p>خطوط مستقيمة عمودية على مستوى الملف باتجاه مركزه من مركز الملف حيث تنتشر الخطوط بعيدا عن مركز الملف</p> 	<p>نستخدم قاعدة قبضة اليد اليمنى بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه (يسار) ويشير الأصابع إلى اتجاه المجال (يمين)</p> 	<p>ش تاري = <math>\frac{\mu N}{2r}</math></p> <p>awazel</p>
<p>3 ملف لولبي (حلزوني)</p> <p>مكان الدراسة المطلوب محصيا على طول محور الملف اللولبي (داخل الملف اللولبي)</p>	<p>داخل الملف خطوط مستقيمة متوازية / مجال منظم / خارج الملفات تكون الخطوط على شكل هوائك مركزها السلك في عند الأطراف تبدأ الخطوط بالانتشار في المنطقة الواقعة خارج الملف فيقل اتجاهها عند الطرفين</p> 	<p>نستخدم قاعدة قبضة اليد اليمنى بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه (يسار) ويشير الأصابع إلى اتجاه المجال (يمين)</p> 	<p>ش لولبي = <math>\frac{\mu N^2}{l}</math></p> <p>حيث N = <math>\frac{N}{l}</math> وتسمى هذه اللفات في وحدة الأطوال</p>

وصية قوية - في جميع المصادر يفلح المجال (غ = صفر) عند نقطة على نفس السلك أو الملف الناري أو اللولبي حيث تأثير المصدر على نفسه يساوي صفرا

## مسائل نظرية على مصادر المجال... هامة جداً

سؤال

ما هي العوامل التي يعتمد عليها المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في  $(\Delta)$  عند نقطة تبعد عن موصل ما مسافة  $(f)$ ؟

- ١- التيار الكهربائي المار في الموصل. [ بعلاقة طردية ]
- ٢- طول قسم من الموصل  $(\Delta)$  [ بعلاقة طردية ]
- ٣-  $(\theta)$ : الزاوية المحصورة بين اتجاه  $(\Delta)$  الذي يكون باتجاه التيار، واتجاه  $(f)$ . حيث [ يتناسب طردياً مع  $\cos \theta$  ]
- ٤- مربع الازاحة  $(f)$  حيث  $(f)$ : الازاحة من العنصر  $(\Delta)$  إلى النقطة  $(P)$  [ بعلاقة عكسية ]
- ٥- مادة الوسط الموجود فيه الموصل (النفاذية المغناطيسية:  $(\mu)$ ) [ بعلاقة طردية ].

سؤال

ما هي العوامل التي يعتمد عليها المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في سلك مستقيم طويل ؟

- ١- نوع مادة الوسط الموجود فيه الموصل (النفاذية المغناطيسية:  $(\mu)$ ) [ بعلاقة طردية ].
- ٢- التيار الكهربائي المار في الموصل. [ بعلاقة طردية ]
- ٣- بعد النقطة (المسافة) عن محور السلك. [ بعلاقة عكسية ]

سؤال

ما هي العوامل التي يعتمد عليها المجال المغناطيسي في مركز ملف دائري الناشئ عن مرور تيار كهربائي فيه ؟

- ١- نوع مادة الوسط الموجود فيه الموصل (النفاذية المغناطيسية:  $(\mu)$ ) [ بعلاقة طردية ].
- ٢- عدد لفات الملف  $(N)$  [ بعلاقة طردية ].
- ٣- التيار الكهربائي المار في الملف الدائري. [ بعلاقة طردية ]
- ٤- نصف قطر الملف الدائري. [ بعلاقة عكسية ]

سؤال

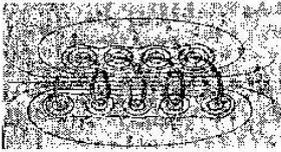
يثل الشكل المجال المغناطيسي لملف لولبي. تمعن الشكل ثم أجب عما يلي :

١- ما هي العوامل التي يعتمد عليها المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي. وهل تتغير قيمته من نقطة الى اخرى ؟ لماذا ؟

- ٢- علل كل مما يلي :
  - أ- المجال المغناطيسي خارج الملف الحلزوني يساوي صفراً
  - ب- إذا تحرك جسم على طول محور ملف حلزوني، فإنه لا يتأثر بقوة مغناطيسية
  - ج- إذا وضع سلك يحمل تيار كهربائي على طول محور ملف حلزوني، فإنه لا يتأثر بقوة مغناطيسية

awazel.net

- ١- نوع مادة الوسط الموجود فيه الموصل (النفاذية المغناطيسية:  $(\mu)$ ) [ بعلاقة طردية ].
  - ٢- عدد لفات الملف  $(N)$  [ بعلاقة طردية ].
  - ٣- طول الملف [ بعلاقة عكسية ]
  - ٤- التيار الكهربائي المار في الملف اللولبي. [ بعلاقة طردية ]
- لا تتغير قيمته داخل الملف اللولبي. لأن المجال داخل الملف اللولبي منتظم تقريبا.



أ. لصغر قيمته مقارنة بقيمة المجال داخله.

ب: لأن اتجاه الحركة يكون موازياً لاتجاه خطوط المجال المغناطيسي ( $\theta = 0$  صفر أو  $180$ ) وحسب القانون ( $F = qv \sin \theta$ ) حيث ( $\theta = 0$ ) حيث ( $\theta = 0$  صفر)  $F = 0$  صفر.  
ج: لأن اتجاه التيار يكون موازياً لاتجاه خطوط المجال المغناطيسي ( $\theta = 0$  صفر أو  $180$ ) وحسب القانون ( $F = qv \sin \theta$ ) حيث ( $\theta = 0$ ) حيث ( $\theta = 0$  صفر)  $F = 0$  صفر.

تميز

Drill

دون استخدام الرسم. صف شكل خطوط المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في :

- (١) سلك مستقيم
- (٢) ملف دائري
- (٣) ملف لولبي.

وضح كيف تستخدم قاعدة قبضة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن سريان تيار كهربائي في:

- (١) موصل مستقيم
- (٢) ملف دائري
- (٣) ملف لولبي.

أمثلة متنوعة على حساب المجال المغناطيسي ...

- ١- مصدر واحد فقط
- ٢- مصدرين أو أكثر (متجهان)
- ٣- مصدر ومصدر خارجي جالفاً



مثال ١

سلك لا نهائي الطول يمر فيه تيار كهربائي شدته ٢٠ أمبير



كما في الشكل، أجب عما يلي.

أولاً: جد مقدار واتجاه المجال

المغناطيسي عند النقطة أ.

ثانياً: مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في إلكترون يتحرك

بسرعة ١٠ م/ث لحظة مروره بالنقطة (أ) في الحالات التالية:

(١) متجهاً نحو الشعاع (٢) متجهاً نحو الشرق (٣) مبتعداً عن الناظر.

ثالثاً: [وزيفة]. أعد حل السؤال عند النقطة (ب)

أولاً ..

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2\pi \times 0.1} = 4 \times 10^{-5} \text{ T}$$

ثانياً ..

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 4 \times 10^{-5} \times \sin 90^\circ = 6.4 \times 10^{-24} \text{ N}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 4 \times 10^{-5} \times \sin 90^\circ = 6.4 \times 10^{-24} \text{ N}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 4 \times 10^{-5} \times \sin 90^\circ = 6.4 \times 10^{-24} \text{ N}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 4 \times 10^{-5} \times \sin 90^\circ = 6.4 \times 10^{-24} \text{ N}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 4 \times 10^{-5} \times \sin 90^\circ = 6.4 \times 10^{-24} \text{ N}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 4 \times 10^{-5} \times \sin 90^\circ = 6.4 \times 10^{-24} \text{ N}$$

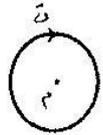
$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 4 \times 10^{-5} \times \sin 90^\circ = 6.4 \times 10^{-24} \text{ N}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 4 \times 10^{-5} \times \sin 90^\circ = 6.4 \times 10^{-24} \text{ N}$$

awazel.net

مثال ٢ ملف دائري مستواه منطبق على مستوى الصفحة

كما في الشكل يسري فيه تيار مقداره (١٠) أمبير، ونصف قطره (١١ × ١٠) م وعدد لفاته (٣٥٠٠) لفة. احسب ما يأتي:



أولاً: - المجال المغناطيسي في

مركز الملف مقداراً واتجهاً.

ثانياً: - القوة المغناطيسية التي يؤثر بها

المجال المغناطيسي في بروتون يتحرك نحو الشرق بسرعة

(١٠ × ١٠) م/ث لحظة مروره بمركز الملف (م) مقداراً واتجهاً.

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3500 \times 10}{2 \times 11} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3500 \times 10}{2 \times 11} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3500 \times 10}{2 \times 11} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 1.0 \times 10^{-3} \times \sin 90^\circ = 1.6 \times 10^{-22} \text{ N}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 1.0 \times 10^{-3} \times \sin 90^\circ = 1.6 \times 10^{-22} \text{ N}$$

$$F = qvB \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 1.0 \times 10^{-3} \times \sin 90^\circ = 1.6 \times 10^{-22} \text{ N}$$

4.4

تمرين (R)

ملف دائري نصف قطره ١١ سم وعدد لفاته ٣٥٠٠ لفة

يسري فيه تيار (١٠) أمبير. إذا علمت أن السرعة المغناطيسية

التي يؤثر بها المجال المغناطيسي (١٠ × ١٠) م/ث لحظة

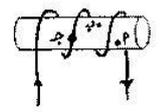
مروره بمركز الملف (٢) عمودياً على المجال

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3500 \times 10}{2 \times 11} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ T}$$

مثال ٣

ملف حلزوني عدد لفاته (٧٠) لفة، وطوله ٢٢ سم يحمل تياراً شدته (٥, ٠) أمبير، احسب

- ١- مقدار واتجاه المجال المغناطيسي (عند النقاط أ، ب، ج، د)
- ٢- القوة المؤثرة على إلكترون يتحرك بسرعة  $10^6$  م/ث لحظة مروره داخل الملف متجهاً نحو الشمال
- ٣- القوة المؤثرة على نيوترون يتحرك بسرعة  $10^6$  م/ث لحظة مروره داخل الملف متجهاً نحو الشمال



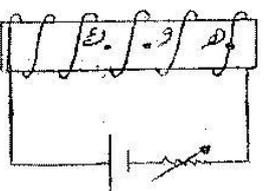
١.  $B = \mu_0 n I$   
 $B = (4\pi \times 10^{-7}) \times \frac{70}{0.22} \times 5 = 2.0 \times 10^{-2} \text{ T}$

٢.  $F = qvB \sin \theta$   
 $F = (1.6 \times 10^{-19}) \times (10^6) \times (2.0 \times 10^{-2}) \times \sin 90^\circ = 3.2 \times 10^{-15} \text{ N}$

٣.  $F = qvB \sin \theta$   
 $F = 0$  (لأن النيوترون متعادل كهربائياً)

نصائح

• يمثل الشكل المجاور ملف لولبي يحمل تياراً كهربائياً فإن



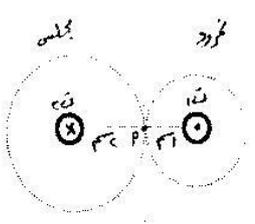
- أ.  $B_{داخل} = B_{خارج}$  ،  $B_{داخل} > B_{خارج}$
- ب.  $B_{داخل} > B_{خارج}$  ،  $B_{داخل} < B_{خارج}$
- ج.  $B_{داخل} < B_{خارج}$  ،  $B_{داخل} = B_{خارج}$
- د.  $B_{داخل} = B_{خارج}$  ،  $B_{داخل} < B_{خارج}$

توضيح

$B_{داخل} = \mu_0 n I$   
 $B_{خارج} = \frac{\mu_0 n I}{2}$

مثال ٤

سلكان طويلان يحملان تيارين  $I_1 = 4$  أمبير ،  $I_2 = 2$  أمبير. بالاعتماد على البيانات المبينة على الشكل



أولاً: احسب المجال المغناطيسي عند النقطة (أ) مقداراً واتجهاً  
 ثانياً: احسب القوة المؤثرة على إلكترون يمر بالنقطة (أ) بسرعة  $200$  م/ث باتجاه محور (س).

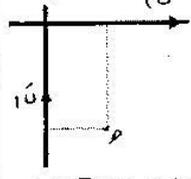
أولاً:  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$   
 $B_A = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} + \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2}$   
 $B_A = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4}{2\pi \times 0.02} + \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 0.04} = 10^{-4} \text{ T}$

ثانياً:  $F = qvB \sin \theta$   
 $F = (1.6 \times 10^{-19}) \times (200) \times (10^{-4}) \times \sin 90^\circ = 3.2 \times 10^{-23} \text{ N}$

تانياً:  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$   
 $B_B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} - \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2}$

نصائح

• بين الشكل التاليين طولين متعامدين في مستوى الصفحة إذا نشأ عن كل من التياران المبينان في الشكل عند النقطة (أ) مجالاً مغناطيسياً مقداراً واتجهاً فإن مقدار المجال المغناطيسي الناتج عن النقطة (أ) يساوي



- أ.  $2\sqrt{2} B$
- ب.  $2\sqrt{2} B$
- ج.  $0$
- د. صفر

توضيح

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$   
 $B_A = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} + \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2}$

مثال ٥

سلكان متوازيان مستقيمان يقعان في مستوى الصفحة، يحملان تياران متعاكسان في الاتجاه، بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل احس مقدار المجال المغناطيسي عند النقطة أ



صاك مؤثره للمجال المغناطيسي عند النقطة ب. وبالمتالي

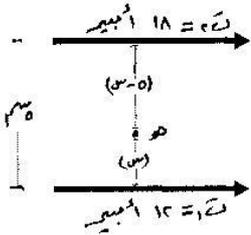
$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.03} = \frac{2 \times 10^{-5}}{0.03} = \frac{2}{3} \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.05} = \frac{2 \times 10^{-5}}{0.05} = \frac{2}{5} \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$B = B_1 - B_2 = \frac{2}{3} \times 10^{-4} - \frac{2}{5} \times 10^{-4} = \frac{2}{15} \times 10^{-4} \text{ T}$$

مثال ٦

في الشكل المجاور حدد موضع نقطة انعدام المجال المغناطيسي.



حيث تكوند (هـ) نقطة انعدام المجال المغناطيسي لتدبير ام يكوند ...

$$\frac{I_1}{r_1} = \frac{I_2}{r_2}$$

$$\frac{18}{x} = \frac{12}{5-x}$$

$$18(5-x) = 12x$$

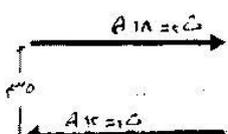
$$90 - 18x = 12x$$

$$90 = 30x$$

$$x = 3 \text{ cm}$$

نقطة

في الشكل ... حدد موضع نقطة التعادل.



الاجابة .. سن = 10 سم عند 10 سم من 10 سم عند 2 سم هـ: (في الخارج) واتركه ل (تد)

مثال ٧

سلكان مستقيمان متوازيان المسافة بينهما 10 سم. بالاعتماد على الشكل - احسب: شدة التيار المار في السلك (ب) حتى يكون المجال المغناطيسي عند (هـ) صفراً. وجود اتجاهه



حيث يكوند المجال المغناطيسي عند هـ يسوي صفرأ لتدبير ام يكوند ...

$$\frac{I_1}{r_1} = \frac{I_2}{r_2}$$

$$\frac{7}{3} = \frac{I_2}{5}$$

$$I_2 = \frac{7 \times 5}{3} = \frac{35}{3} \text{ A}$$

حيث = 3.5 أمبير. باتجاه يسار للسلك (ب). باتجاه يمنى

**نقطة التعادل (انعدام المجال)**  
هي النقطة التي تساوي محصلة المجالات المغناطيسية عندها صفراً حيث مجالات متساوية مقدارا [غ = غ] ومتعاكسة اتجاهاً.



عندهما يكون السلك متوازيه فإه نقطة التعادل تدرد على النحو التالي:

**الحالة الأولى** تياران في الاتجاه نفسه ...

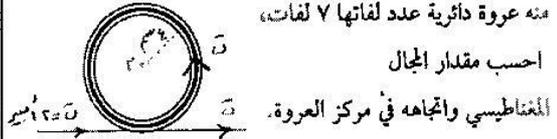
- تقع نقطة التعادل بينهما وأقرب إلى السلك الذي يحمل تيار كهربائي أقل مقدراً.  
- إذا كان مقدار التيارين متساويين فإن نقطة التعادل تقع في منتصف المسافة بينهما.

**الحالة الثانية** تياران في اتجاهين متعاكسين ...

- تقع نقطة التعادل خارجهما وأقرب إلى السلك الذي يحمل تيار كهربائي أقل مقدراً.  
- إذا كان مقدار التيارين متساويين فإن نقطة التعادل لا وجود لها.

مثال ٨

في الشكل سلك مستقيم طويل جداً يحمل تيار صنع في جزء منه عروة دائرية عدد لفاتها ٧ لفات،



احسب مقدار المجال المغناطيسي واتجاهه في مركز العروة.

هناك مركزان للمجال المغناطيسي عند مركز العروة، وبالتالي:

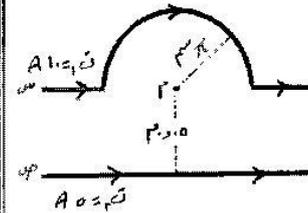
$$\text{مجال سلك} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (7 \times 1) I}{2\pi (0.05)} = \frac{28 \times 10^{-7} I}{0.1} = 2.8 \times 10^{-5} I \text{ تسلا}$$

$$\text{مجال دائري} = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (7 \times 1) I}{2(0.05)} = \frac{28 \times 10^{-7} I}{0.1} = 2.8 \times 10^{-5} I \text{ تسلا}$$

$$B_{\text{مجموع}} = B_{\text{سلك}} + B_{\text{دائري}} = 2.8 \times 10^{-5} I + 2.8 \times 10^{-5} I = 5.6 \times 10^{-5} I \text{ تسلا}$$

مثال ٩

بالاعتماد على المعلومات المثبتة على الشكل إذا علمت أن الأسلاك (س، ص) لا نهائية الطول، وتقع في مستوى الصفحة.



احسب المجال المغناطيسي في النقطة (م) مقداراً واتجاهاً.

المعطيات المستخدمة من السلك (س) لا يولد مجالاً مغناطيسياً في النقطة (م) لأنها تقع على امتدادها وبالتالي هي (مستقيمة مستقيمة) = صفر

هناك مركزان للمجال المغناطيسي عند النقطة (م) وبالتالي:

$$\text{مجال سلك} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (1) I}{2\pi (0.5)} = \frac{2 \times 10^{-7} I}{0.5} = 4 \times 10^{-7} I \text{ تسلا}$$

$$\text{مجال دائري} = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (1) I}{2(0.5)} = \frac{2 \times 10^{-7} I}{1} = 2 \times 10^{-7} I \text{ تسلا}$$

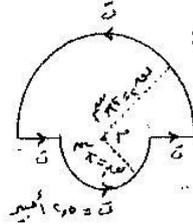
$$B_{\text{مجموع}} = B_{\text{سلك}} + B_{\text{دائري}} = 4 \times 10^{-7} I + 2 \times 10^{-7} I = 6 \times 10^{-7} I \text{ تسلا}$$

note: هنا مجال المنطق المزدوج على التآويل مع اعتبار له 1/2 حلقه

تقدير

دائرة/فضن العلم

اعتماداً على البيانات في الشكل المين:



احسب المجال المغناطيسي في النقطة (م).

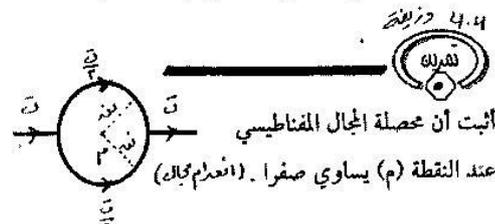
المعطيات المستخدمة على بحسب وعلى ليمار النقطة (م) لا يولد مجالاً مغناطيسياً عند النقطة (م) لأنها تقع على امتدادها أي هي (مستقيمة مستقيمة) = صفر

$$\text{مجال سلك} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) I}{2\pi (0.05)} = \frac{2 \times 10^{-7} I}{0.05} = 4 \times 10^{-6} I \text{ تسلا}$$

$$\text{مجال دائري} = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) I}{2(0.05)} = \frac{2 \times 10^{-7} I}{0.1} = 2 \times 10^{-6} I \text{ تسلا}$$

$$B_{\text{مجموع}} = B_{\text{سلك}} + B_{\text{دائري}} = 4 \times 10^{-6} I + 2 \times 10^{-6} I = 6 \times 10^{-6} I \text{ تسلا}$$

تذكر:  $r = 0.05 \text{ م}$  و  $r = 0.05 \text{ م}$



المعطيات المستخدمة على بحسب وعلى ليمار النقطة (م) لا يولد مجالاً مغناطيسياً في النقطة (م) لأنها تقع على امتدادها أي هي (مستقيمة مستقيمة) = صفر

$$\text{مجال سلك} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) I}{2\pi (0.05)} = \frac{2 \times 10^{-7} I}{0.05} = 4 \times 10^{-6} I \text{ تسلا}$$

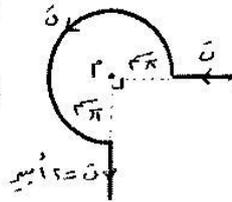
$$\text{مجال دائري} = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) I}{2(0.05)} = \frac{2 \times 10^{-7} I}{0.1} = 2 \times 10^{-6} I \text{ تسلا}$$

$$B_{\text{مجموع}} = B_{\text{سلك}} + B_{\text{دائري}} = 4 \times 10^{-6} I + 2 \times 10^{-6} I = 6 \times 10^{-6} I \text{ تسلا}$$

$$B_{\text{مجموع}} = B_{\text{سلك}} + B_{\text{دائري}} = 4 \times 10^{-6} I + 2 \times 10^{-6} I = 6 \times 10^{-6} I \text{ تسلا}$$

مثال ١٠

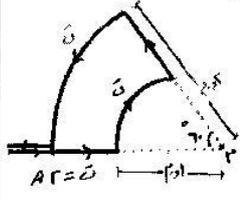
اعتماداً على البيانات في الشكل المين: احسب المجال المغناطيسي في النقطة (م).



المقطع المستقيم على يسار النقطة (م) لا يولد مجالاً مغناطيسياً عند النقطة (م) لأنها تقع على امتدادها (م).  
 ع (مستقيمة مستقيمة) = حيسر  
 حصاره مؤثر واحد للمجال المغناطيسي عند النقطة (م) وبالتالي  
 عجم (مقطع دائري) =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$   
 بوجه  
 تذكر:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$  (الحلقة المارونية)

مثال ١١

اعتماداً على البيانات في الشكل المين: احسب المجال المغناطيسي في النقطة (م).



المقطع المستقيم على امتداد النقطة (م) لا يولد مجالاً مغناطيسياً عند النقطة (م) لأنها تقع على امتدادها أي أنه ع (مستقيمة مستقيمة) = حيسر

ن = ؟  
 (١) لعم =  $\frac{I}{36}$  =  $\frac{I}{36}$   
 (٢) لعم =  $\frac{I}{36}$   
 حاصلة:  $\frac{I}{36} = \frac{I}{36}$

عجم =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$   
 (مقطع دائري) حاصلة

عجم =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$   
 (مقطع دائري) حاصلة

عجم = عجم - عجم =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  -  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$   
 دائري حاصلة

مثال ١٢

في الشكل المجاور:

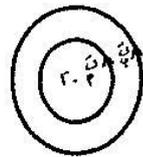
أ، ب ملفان دائريان متحدان في المركز والمستوى إذا علمت أن:

ت أ = ١٠ أمبير، ن أ = ١٥٠ لفه

تق أ = ١٥ سم

ت ب = ٢٠ أمبير، ن ب = ١٠٠ لفه

تق ب = ٢٠ سم



(١) احسب شدة المجال المغناطيسي عند المركز (النقطة م).

(٢) إذا عكس اتجاه التيار (١) احسب شدة المجال المغناطيسي عند المركز (النقطة م). (وطرفية)

awazel.net

١. حصاره مؤثره للمجال المغناطيسي عند النقطة (م) وبالتالي

عجم =  $\frac{\mu_0 I N}{2c}$  =  $\frac{\mu_0 (10) (150)}{2(0.15)}$  =  $\frac{\mu_0 (1500)}{0.3}$  =  $5000 \mu_0$   
 حاصلة

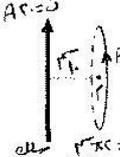
عجم =  $\frac{\mu_0 I N}{2c}$  =  $\frac{\mu_0 (20) (100)}{2(0.2)}$  =  $\frac{\mu_0 (2000)}{0.4}$  =  $5000 \mu_0$   
 حاصلة

عجم = عجم + عجم =  $5000 \mu_0 + 5000 \mu_0 = 10000 \mu_0$   
 حاصلة

عجم = عجم - عجم =  $5000 \mu_0 - 5000 \mu_0 = 0$   
 حاصلة

مثال ١٣

سلك لا نهائي الطول يقع على يمينه ملف دائري عمودي على مستوى الصفحة، بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل احسب المجال المغناطيسي في مركز الملف الدائري.



حصاره مؤثره للمجال المغناطيسي عند (م) لذلك  $\mu_0 I R^2 = \mu_0 I R^2$

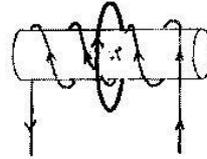
عجم =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$   
 حاصلة

عجم =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$   
 حاصلة

عجم =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$  =  $\frac{\mu_0 I R^2}{4c}$   
 حاصلة

مثال ١٥

ملفان أحدهما دائري والآخر حلزوني، متحددان في المركز، عدد لفات الدائري (١٠) لفات ونصف قطره  $\pi \times 10$  سم ويحمل تياراً (٤) أمبير وعدد لفات الحلزوني (٢٠) لفه وطوله  $(\pi \times 5)$  سم، ويمر فيه تياراً (٢) أمبير. أجب عما يلي:



- (١) - احسب المجال المغناطيسي عند مركز الملفين.
- (٢) - القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة سالبة مقدارها ٢ ميكروكولوم تتحرك بسرعة  $1 \times 10^6$  م/ث لحظة مرورها عند مركز الملفين أولاً: باتجاه الغرب . ثانياً: باتجاه الشمال.

١. هناك مؤثران للمجال المغناطيسي عند مركز الملفين (م) وبالعكس.

$$B_{\text{دائري}} = \frac{\mu_0 N I}{2r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (4)}{(2 \times \pi \times 10)} = 4 \times 10^{-5} \text{ تسلا باتجاه (س)}$$

$$B_{\text{لولبي}} = \frac{\mu_0 N I}{L} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (20) (2)}{(\pi \times 5)} = 1 \times 10^{-5} \text{ تسلا باتجاه (س)}$$

$$B_{\text{إجمالي}} = B_{\text{دائري}} + B_{\text{لولبي}} = 4 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-5} \text{ تسلا باتجاه (س)}$$

awazel.net

٢.  $F = qvB \sin \theta$   
 حيث  $\theta = 90^\circ$  لأن  $v \perp B$   
 $F = (2 \times 10^{-6}) (10^6) (5 \times 10^{-5}) = 0.1 \text{ نيوتن}$

تالياً

$$F = qvB \sin \theta$$

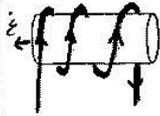
$$0.1 = (2 \times 10^{-6}) (10^6) (B) \sin 90^\circ$$

$$B = 0.05 \text{ تسلا باتجاه (س)}$$

فكر... نظرية لاندو إيسري

تمرين ١٤

ملف لولبي (حلزوني) يحتوي على ١٠٠ لفه لكل ١ سم من طوله، ويحمل تياراً باتجاه عقارب الساعة (عند النظر إليه من اليمين) مقداره ١٠٠ أمبير. احسب:



- (١) - مقدار المجال المغناطيسي داخل الملف على امتداد محوره.
- (٢) - مقدار واتجاه التيار اللازم إمراره في ملف لولبي آخر عدد لفاته ٤٠ لفه لكل سم من طوله، يحيط بالأول بإحكام ليصبح المجال المغناطيسي الكلي داخل الملف يساوي صفراً.

$$B = \frac{\mu_0 N I}{L} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (100) (100)}{(100)} = 4\pi \times 10^{-4} \text{ تسلا باتجاه (س)}$$

٢. حين يتقدم المجال المغناطيسي الكلي داخل الملف لا بد أنه يمر في الملف اللولبي الذي سيار كهربائي عكس اتجاه سيار الملف اللولبي الذي (أي عكس عقارب الساعة)

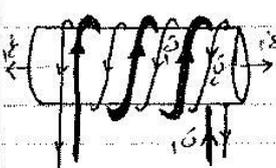
وحقيقة الصراط المستقيم

$$B_{\text{إجمالي}} = B_{\text{لولبي}} + B_{\text{دائري}} = 0$$

$$4\pi \times 10^{-4} + \frac{\mu_0 N I}{L} = 0$$

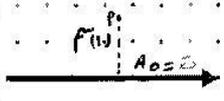
$$\frac{\mu_0 N I}{L} = -4\pi \times 10^{-4}$$

$$I = \frac{-4\pi \times 10^{-4} \times L}{\mu_0 N} = \frac{-4\pi \times 10^{-4} \times 100}{(4\pi \times 10^{-7}) \times 100} = -1 \text{ أمبير}$$



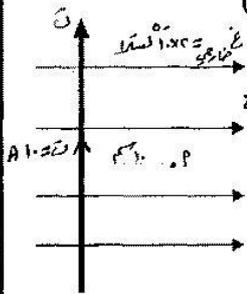
مثال ١٥

في الشكل سلك يحمل تيار كهربائي يمر كلياً في مجال مغناطيسي خارجي منتظم مقداره  $10^{-2}$  تسلا عمودي على الصفحة نحو الخارج بالاعتماد على الشكل احسب :  
 (١) - احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الطول من السلك  
 (٢) - المجال المغناطيسي عند النقطة أ  
 (٣) - القوة المغناطيسية المؤثرة على بروتون يمر بالنقطة أ بسرعة  $10^6$  م/ث متجهاً نحو الشمال .



مثال ١٦

في الشكل سلك مستقيم يحمل تيار كهربائي يمر كلياً في مجال مغناطيسي خارجي منتظم، بالاعتماد على الشكل احسب :  
 (١) القوة المؤثرة على السلك.  
 (٢) المجال المغناطيسي عند النقطة (أ)  
 (٣) القوة المغناطيسية المؤثرة على الكتروليم يمر بالنقطة (أ) بسرعة  $10^6$  م/ث متحركاً باتجاه المجال الخارجي .



١.  $F = I \times L \times B \sin \theta = 1 \times 1 \times 10^{-2} \times \sin 90 = 10^{-2}$  نيوتن باتجاه الشمال  
 ٢.  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1}{2\pi \times 1} = 2 \times 10^{-7}$  تسلا باتجاه الشمال  
 ٣.  $F = q \times v \times B \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 2 \times 10^{-7} \times \sin 90 = 3.2 \times 10^{-20}$  نيوتن باتجاه الشمال

١.  $F = I \times L \times B \sin \theta = 1 \times 1 \times 10^{-2} \times \sin 90 = 10^{-2}$  نيوتن باتجاه الشمال  
 ٢.  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1}{2\pi \times 1} = 2 \times 10^{-7}$  تسلا باتجاه الشمال  
 ٣.  $F = q \times v \times B \sin \theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 2 \times 10^{-7} \times \sin 90 = 3.2 \times 10^{-20}$  نيوتن باتجاه الشمال

awazel.net

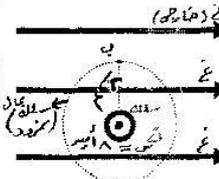
الفيزياء

محمد دودين

المجال المغناطيسي

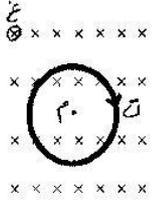
نقطة ٥  
سلكه في مجال خارجي (جهاز)

(س) سلك طويل مستقيم لانتهائي . يحمل تيارا كهربائيا مقداره (٨) أمبير باتجاه خارج من الصفحة مغموور كليا في مجال مغناطيسي خارجي مقداره  $(10 \times 10^{-6})$  تسلا كما في الشكل المجاور بالاستعانة بالقيم المثبتة عليه احسب :  
(١) - احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الطوال من السلك  
(٢) - المجال المغناطيسي عند النقطة ب  
(٣) - وزن جسيم شحنته  $(4 \times 10^{-9})$  كولوم لحظة مروره من النقطة ب محافظا على اتجاه حركته بسرعة  $10^6$  م/ث واتجاه عمودي على الصفحة للأعلى.



نقطة ٥  
ملف دائري في مجال خارجي (جهاز)

ملف دائري عدد لفاته (٧) لفات ، ونصف قطره  $(4 \times 10^{-2})$  م يمر فيه تيار كهربائي مقداره (٢) أمبير مغموور في مجال مغناطيسي خارجي مقداره  $(10 \times 10^{-6})$  تسلا كما في الشكل  
(١) . احسب مقدار واتجاه المجال في مركز الملف (م)  
(٢) ما اسم القاعدة التي استخدمتها لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي عند مركز الملف (م)  
(٣) احسب مقدار واتجاه القوة المؤثرة على شحنة مقداره  $(-10 \times 10^{-9})$  كولوم تتحرك بسرعة  $10^6$  م/ث نحو الشرق.



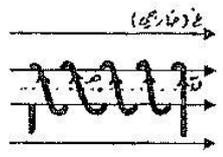
الإجابة :-  
١.  $\vec{B} = \mu_0 n I \vec{e}_z = 4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 2 \vec{e}_z = 1.76 \times 10^{-5} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع)  
٢. قاعدة قبضة اليد اليمنى  
٣.  $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = 1.76 \times 10^{-5} \times 10^6 \times (-10 \times 10^{-9}) \vec{e}_z = -1.76 \times 10^{-8} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع) . تذكر شحنة سالبة

نقطة ٥  
مؤثرات المجال المغناطيسي عند النقطة ب . وبالتالي

في مؤثر خارجي  $\vec{B} = 10^{-6} \vec{e}_x$  تسلا باتجاه (ع) . احسب ما يؤثر على سلكه  
 $\vec{F} = I \vec{L} \times \vec{B} = (10 \times 10^{-6}) \times 10 \vec{e}_y \times 10^{-6} \vec{e}_x = 10^{-11} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع)  
 $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = 10^{-9} \times 10^6 \times 10^{-6} \vec{e}_z = 10^{-9} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع)

نقطة ٥  
ملف حلزوني مغموور كليا في مجال مغناطيسي منتظم

مقداره  $9 \times 10^{-3}$  تسلا باتجاه يوازي محور الملف كما في الشكل . فإذا علمت أن عدد لفات الملف ٥٠ لفة وطوله ١١ م ، ويسري فيه تيار مقداره (٧) أمبير . فاحسب ما يأتي.  
(١) مقدار واتجاه المجال المغناطيسي الحاصل في النقطة (هـ) الواقعة على محور الملف.  
(٢) مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في إلكترون يتحرك بسرعة  $10^5$  م/ث لحظة مروره بالنقطة (هـ) نحو الشمال.



الإجابة :-  
١.  $\vec{B} = \mu_0 n I \vec{e}_z = 4\pi \times 10^{-7} \times 7 \times 50 \vec{e}_z = 3.5 \times 10^{-5} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع)  
٢.  $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^5 \times 3.5 \times 10^{-5} \vec{e}_z = 5.6 \times 10^{-20} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع) . تذكر شحنة سالبة

٣.  $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = 10^{-9} \times 10^6 \times 10^{-6} \vec{e}_z = 10^{-9} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع)  
سرعته  $10^6$  م/ث .  
 $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 10^{-6} \vec{e}_z = 1.6 \times 10^{-19} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع)

بوضوح . محافظا على اتجاه حركته مع حركة خط مستقيم وهذا يتفق مع لفظ معين كما في الرسم وعندنا يكونه  
 $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 10^{-6} \vec{e}_z = 1.6 \times 10^{-19} \vec{e}_z$  تسلا باتجاه (ع)

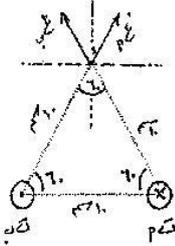
Arson

سلك مستقيم طوله (100) سم يراد عمل ملف حلزوني منه بحيث يون محيط اللفة الواحدة (200) سم وسمكها (1/4) سم . ثم لفت اللفات على اسطوانة بحيث كانت اللفات متصلة معا ووصلة اللفات مع بطارية تعطي تيار شدته 14/33 أمبير . احسب مقدار المجال المغناطيسي في داخله عند نقطة تقع على محوره .

الإجابة . غ = 17.1 تسلا

Drill

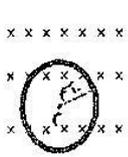
أ ، ب سلكان عموديان على مستوى الصفحة يسري فيهما على الترتيب تياران مقدارهما (20 ، 40) أمبير والمسافة بينهما (10) سم ، احسب مقدار واتجاه المجال المغناطيسي عند النقطة (د) والتي تبعد عن كل منهما 10 سم .



غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، كذا في الشكل  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، كذا في الشكل  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا

Drill

وضع ملف دائري في مجال مغناطيسي منتظم شدته 10 x π تسلا باتجاه عمودي على الصفحة للداخل جد مقدار واتجاه التيار الذي يجب أن يمر في الملف الدائري حتى يكون المجال المحصل في مركزه يساوي صفرا .  
 الإجابة .. ن = 1/8 (عكس عقارب الساعة)



يمثل الشكل المجاور سلكين مستقيمين معزولين متوازيين لا نهائيين في الطول، ومغمورين في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (10 x π) تسلا، يسري في كل منهما تيار كهربائي، فإذا علمت أن المجال المغناطيسي المؤثر في النقطة (أ) والناجم عن السلك (س) يساوي (10 x π) تسلا، مستعينا بالقيم المثبتة على الشكل احسب:  
 1. المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة (أ)  
 2. التيار الكهربائي المار في السلك (س)  
 3. القوة المغناطيسية المؤثرة في إلكترون يتحرك نحو الشرق بسرعة (10 م/ث لحظة مروره بالنقطة (أ)).

awazel.net  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، باتجاه ...  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، باتجاه ...  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، باتجاه ...  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، باتجاه ...  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، باتجاه ...

سلكان متوازيان لا نهائيان في الطول يقمان في مستوى واحد يحمل كل منهما تيار مقداره 2 أمبير . وضع في منتصف المسافة بينهما وبشكل موازي لهما ملف لولبي طوله π 10 م . وعدد لوفاته 100 لفة كما في الشكل . فإذا كان المجال المحصل عند النقطة أ الواقعة على محور الملف يساوي 16 x 10^-3 تسلا . احسب تيار الملف (ت) ...  
 صنا بوجد 3 مصادر لكم ...  
 مؤثر واحد فقط عند النقطة (أ) ...  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، باتجاه ...  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، باتجاه ...  
 غ = 1.0 x 10^-3 تسلا ، باتجاه ...

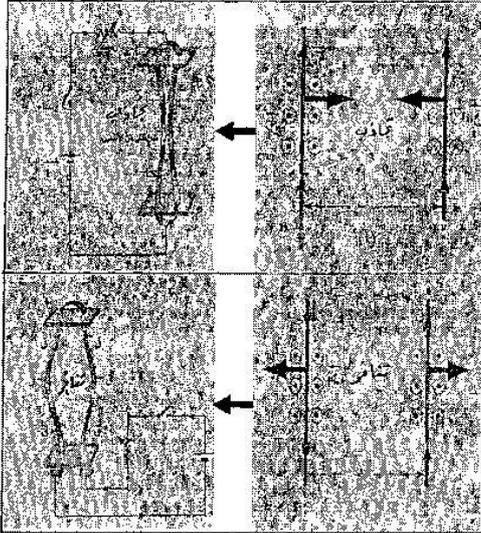
**القوة المغناطيسية المتبادلة بين سلكين مستقيمين متوازيين يقعان في مستوى واحد ويسري في كل منهما تيار كهربائي**

ثالثاً

قلميد-

إذا وضع سلكان متوازيان لانهائيان في مستوى واحد بحيث يسري في كل منهما تيار كهربائي فإنه :

- 1. ينشأ عن السلك الأول مجال مغناطيسي يؤثر على السلك الثاني فيكون السلك الثاني قد تأثر بقوة مغناطيسية ( اما بجاذب او تنافر )
- 2. ينشأ عن السلك الثاني مجال مغناطيسي يؤثر على السلك الأول فيكون السلك الأول قد تأثر بقوة مغناطيسية ( اما بجاذب او تنافر )



ينشأ عن السلكين قوة مغناطيسية متبادلة حيث انه :

- 1. إذا كان التياران بنفس الاتجاه تكون القوة المغناطيسية المتبادلة بين السلكين [ قوة تجاذب ] كما يوضح الشكل المجاور
- 2. إذا كان التياران متعاكسين في الاتجاه تكون القوة المغناطيسية المتبادلة بين السلكين [ قوة تنافر ] كما يوضح الشكل المجاور

يعطى مقدار القوة المغناطيسية المتبادلة بين سلكين مستقيمين متوازيين يقعان في مستوى واحد ويسري في كل منهما تيار كهربائي بالعلاقة :

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

**ملاحظات هامة...**

نظراً لأن السلكين لانهائيين فمن الأفضل حساب القوة المؤثرة على وحدة الأطوال من السلك، حيث مقدارها

يجسب على النحو التالي: 
$$f = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$
 وتقاس بوحدة (نيوتن/م).

لذا، يستخدم القانون السابق في تعريف الأمبير بناءً على نظام الوحدات العالمي. حيث :

awa2el.net

الأهبير،

التيار الذي إذا مرّ بسلكين رفيعين مستقيمين لانهائيين متوازيين ويقعان في مستوى واحد، البعد بينهما (1) متر في الفراغ، كانت القوة المتبادلة بينهما  $2 \times 10^{-7}$  نيوتن/م.

- أفكار المسائل
- 1 مسائل نظرية .
  - 2 مسلكين .
  - 3 ثلاث أسلاك .
  - 4 ميزان أمبير ( تطبيق عملي ) .

سؤال

ما هي العوامل التي تعتمد عليها القوة المتبادلة بين مسلكين متوازيين ويسري فيهما تيار كهربائي ؟

- 1- مقدار كل من التيارين [ بعلاقة طردية ]
- 2- الطول المشترك لكل من المسلكين الذي يؤثر به كل منهما على الآخر . ويفضل أن تكون وحدة الطول [ بعلاقة طردية ]
- 3- المسافة بين المسلكين [ بعلاقة عكسية ]
- 4- النفاذية المغناطيسية للوسط الموجود فيه الأسلاك [ بعلاقة طردية ]

awazel-net

سؤال

تستخدم العلاقة :  $[ ق = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot L}{\pi \cdot r} ]$  لحساب القوة المتبادلة بين مسلكين مستقيمين يمر بهما تيار كهربائي . أجب

- 1- ما الزاوية الواجب توافرها بين امتداد المسلكين لتطبيق هذه العلاقة ؟
- 2- إذا كان ( ل ) لا نهائي الطول ، فما وحدة قياس القوة المؤثرة على وحدة الأطوال من السلك .
- 3- كيف يمكن الحصول على قوة تنافر بين المسلكين ؟
- 4- ما اسم الجهاز الذي يعتبر تطبيقاً على القوة المتبادلة بين المسلكين ؟
- 5- اشتق علاقة القوة المتبادلة ووضح المقصود بـ [ الأمبير ] معتمداً على هذه العلاقة ؟

نيوتن / م

- ( صفر ) أو ( ١٨٠ ) أو المسلكين متوازيين

- ميزان أمبير

- إذا كان تيار المسلكين باتجاهين متعاكسين .

المجال المغناطيسي ( غ ) الناشئ عن تيار السلك الأول عند نقطة تقع على السلك الثاني :  $[ غ = \frac{\mu \cdot I_1}{\pi \cdot r} ]$

القوة التي يؤثر بها هذا المجال في طول مقداره ( ل ) من السلك الثاني  $ق_{١٢} = ق_{٢١} = غ \cdot I_2 \cdot L = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot L}{\pi \cdot r}$

ق = ق متعكسة

[ الأمبير ] . . التيار الذي إذا مرّ بمسلكين رفيعين مستقيمين لا نهائيين متوازيين ويقعان في مستوى واحد، البعد بينهما ( ١ ) متر في الفراغ، كانت القوة المتبادلة بينهما  $٢ \times ١٠^{-٧}$  نيوتن / م .

١. النقطة (س) نقطة القدم المجال (مقابل) وهذا يمكنه عندها.

$$M = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^2} \times \sin \theta$$

$$M = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^2} \times \sin 90^\circ$$

$$M = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^2}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 40}{4\pi \times (0.1)^2}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{4\pi \times 0.01}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{0.04}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{0.04}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{0.04}$$

تذكر... إذا لم يكن السلك (د) فبعضها م وكتبت لوجه الأطوار.

$$M = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^2} \times \sin \theta$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 40}{4\pi \times (0.1)^2}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{4\pi \times 0.01}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{0.04}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{0.04}$$

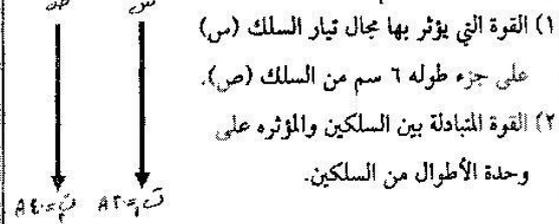
$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{0.04}$$

٢. القوة المغناطيسية المتبادلة بينهما والمؤثرة على وحدة الأطوال من السلكين.

٣. القوة المؤثرة في شحنة سالبة مقدارها (٢) ميكروكولوم عند مرورها بالنقطة (ب) باتجاه عمودي على المجال الحاصل عند النقطة (ب) بسرعة مقدارها ١٠ م/ث.

مثال ١

سلكان (س، ص) متوازيان طويلان جداً، والبعد بينهما (٢٠) سم، يحملان تيارين ٢٠ أمبير، ٤٠ أمبير على الترتيب في الاتجاه نفسه، كما في الشكل، احسب:



$$M = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi r^2} \times \sin \theta$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 40}{4\pi \times (0.2)^2}$$

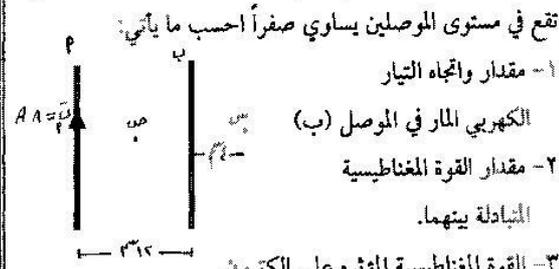
$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{4\pi \times 0.04}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{0.16}$$

$$M = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800}{0.16}$$

مثال ٢

يبين الشكل أ، ب موصلين مستقيمين متوازيين لا نهائيين في الطول وموضوعين في الهواء، بالاعتماد على المعلومات المثبتة عليه، وإذا علمت أن المجال المغناطيسي الناتج عن التيارين في النقطة (س) التي تقع في مستوى الموصلين يساوي صفراً احسب ما يأتي:



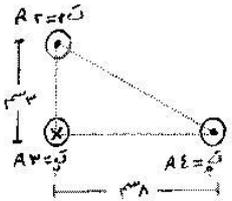
١- مقدار واتجاه التيار الكهربائي المار في الموصل (ب)

٢- مقدار القوة المغناطيسية المتبادلة بينهما.

٣- القوة المغناطيسية المؤثرة على الكترول.

مثال ٤

يمثل الشكل ثلاث أسلاك مستقيمة لا نهائية الطول يسري في كل منها تيار كهربائي بالاستعانة على البيانات المدونة على الشكل احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة أطوال السلك (ب).



صفاك حوسبه مؤثره على السلك (ب) وبالمتابع:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (10)}{2\pi (0.1)} = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

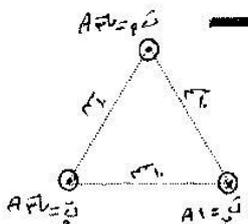
$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_2 I_3}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (10)}{2\pi (0.1)} = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_3}{2\pi (2r)} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (10)}{2\pi (0.2)} = 1 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$F_{\text{net}} = 2 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

مثال ٥

في الشكل احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الأطوال من السلك (ب).



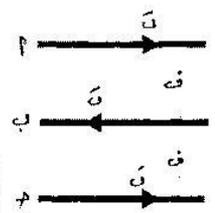
$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r_{12}} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (10)}{2\pi (0.1)} = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_3}{2\pi r_{13}} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (10)}{2\pi (0.2)} = 1 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$F_{\text{net}} = 2 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-4} = 1 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

مثال ٥

ثلاث أسلاك مستقيمة لا نهائية يحمل كل منهما تيارا (ت) باتجاه الموضح في الشكل. اذا كانت المسافة بين كل سلكين (ف) فاحسب القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الأطوال من كل سلك.



awazel = net

اسلك (ب) السلك (ب)

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi f} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (10)}{2\pi (0.1)} = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_2 I_3}{2\pi f} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (10)}{2\pi (0.1)} = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_3}{2\pi (2f)} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) (10) (10)}{2\pi (0.2)} = 1 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$F_{\text{net}} = 2 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

ثانياً... السلك (ب)

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi f} = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_2 I_3}{2\pi f} = 2 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_3}{2\pi (2f)} = 1 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$

$$F_{\text{net}} = 2 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-4} \text{ N/m}$$