الفصل الثالث

III المغناطيسية في الفراغ

تعرف الظواهر المغناطيسية بين الجسيمات، و هي أقدم الظواهر التي عرفها الإنسان، فهي تختلف على الظواهر الكهربائية بين الشحن التي درسناها سابقا ، فقد لوحظ منذ قرون أن هناك مواد موجودة في الطبيعة لها خاصية جذب برادة الحديد، تدعى بالمغناطيس مثل : أكسيد الحديد : Fe_3O_6 . يمكن للجسم أن يكتسب الخاصية السابقة، جذب برادة الحديد عن طريق التأثير أو دلكه بمغناطيس، و يسمى في هذه الحالة جسما ممغنطا. تعني كلمة المغناطيس " السحر "و مصدرها من اسم مدينة في آسيا تدعى" مغنيزيا ."يختلف . التفاعل المغناطيسي تماما عن تفاعل الجاذبية و التفاعل الكهربائي.

III-1 : خصائص المغناطيس

أجريت عدة تجارب بينت أنه ليست كل مناطق الجسم الممغنط متساوية الأثر، بل تتمركز في قطبين يسميان القطب الشمالي و القطب الجنوبي، و تعود تسمية الأقطاب إلى أنه لو علق قضيب مغناطيسي من وسطه، و كان بإمكانه التحرك بحرية في مستوٍ أفقي، فإنه سيد ور باتجاه القطب الجغرافي الشمالي للأرض يسمى هذا القطب بالقطب الشمالي للمغنطيس ، و قطبه الثاني باتجاه القطب الجنوبي الأرضي يسمى هذا القطب بالقطب الجنوبي للمغنطيس. وأظهرت التجارب أن

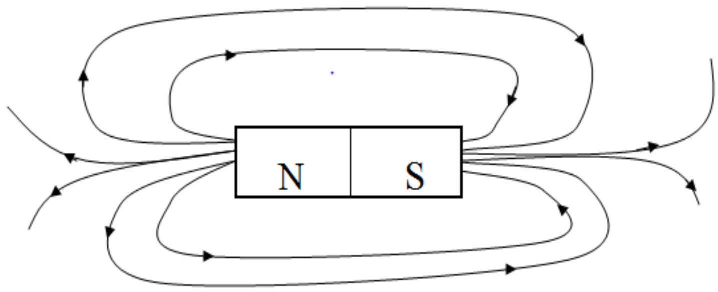
الأقطاب المتشابهة تتنافر, والأقطاب المختلفة تتجاذب.

و مهما كان عدد المرات التي تقسم فيها المغناطيس إلى قسمين فإن كل قطعة تمتلك دائما قطبا شماليا و آخر جنوبيا.

III- 2 الحقل المغناطيسي (Champ Magnétique)

يتميز الفضاء المحيط بالمغناطيس بحقل يدعى الحقل المغناطيسي يرمز له ب $\vec{B}$

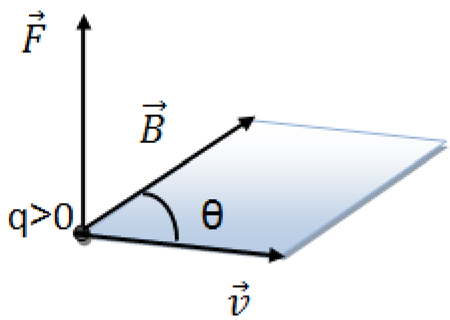
اتجاهه هو الذي تؤشر عليه البوصلة، و هو مماس في أي نقطة لخطوط الحقل المغناطيسي.



نتمكن من مشاهدة أهداب أو خطوط الحقل بنشر برادة الحديد حول المغناطيس، نلاحظ خطوط ا تشبه خطوط الحقل لثنائي القطب الكهربائي .إن دراسة التأثير المغناطيسي ليست من البساطة مثل دراسة التأثير الكهربائي، و سوف نبدأ بالحالة البسيطة دراسة شحنة منفردة متحركة ثم نعمم النتيجة على مجموعة من الشحنات متحركة، أي التيار.

III-3 القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة نقطية متحركة

أكدت التجارب التي أجريت على جسيمات مشحونة متحركة تخضع إلى حقل مغناطيسي $\vec{B}$ فإنها تتأثر بقوة $\vec{F}$ تسمى القوة المغناطيسية انظر الشكل.



حيث

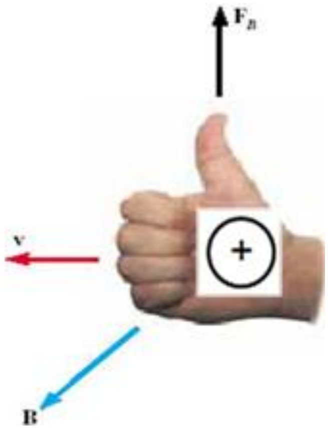
- القوة المغناطيسية تتناسب طردا مع الشحنة q والسرعة v والحقل المغناطيسي B

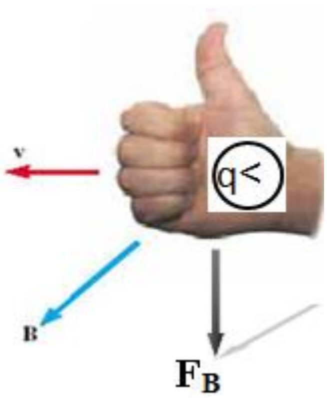
طويلة هذه القوة تعطى بالعلاقة التالية $F = q.v.B \sin(\theta)$

- القوة المغناطيسية F عمودية على شعاع السرعة v والحقل المغناطيسي B إذن القوة المغناطيسية هي عبارة على الجداء الشعاعي ل v و B

$$\vec{F} = q \, . \, \vec{v} \wedge \vec{B}$$

- لمعرفة اتجاه القوة نطبق قاعدة اليد اليمنى





- تبلغ القوة المغناطيسية قيمتها العظمى عند ما تكون $\theta = \frac{\pi}{2}$ ومنه $F = q.v.B$

- وحدة الحقل المغناطيسي في النظام الدولي هي التسلا حيث
- $T = N.s/m.C$

III-4 اختلافات بين القوة الكهربائية و القوة المغناطيسية .

- رغم أوجه الشبه الكبير بين القوة الكهربائية و القوة المغناطيسية إلا أنه أيضا هناك اختلاف.

- تعمل القوة الكهربائية باتجاه الحقل الكهربائي، بينما تعمل القوة المغناطيسية عموديا على الحقل المغناطيسي.
- تعمل القوة الكهربائية على جسم مشحون بغض النظر عن حركة أو سكون هذا الجسم، بينما تعمل القوة المغناطيسية على جسم مشحون فقط عندما يكون متحركا.
- تنجز القوة الكهربائية عملا في إزاحة الجسم المشحون، بينما لا تنجز القوة المغناطيسية للحقل المغناطيسي المستقر أي عملٍ عندما ينزاح الجسم.

ملاحظة :

- عندما يخضع جسم مشحون إلى حقل كهربائي و حقل مغناطيسي معا فسوف يخضع إلى قوة لورنتز.

$$\vec{F} = q\,.\vec{E} + q\,\vec{v} \wedge \vec{B}$$

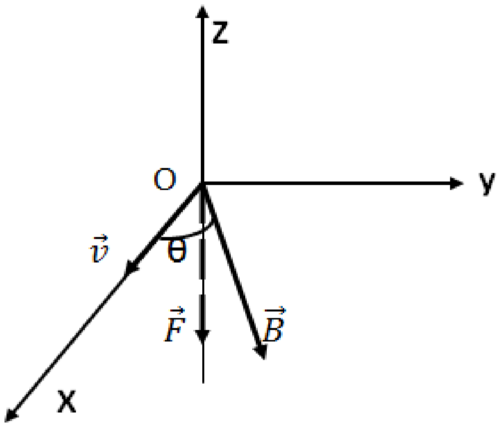
القوة المغناطيسية هي قوة مركزية .

$$F = \frac{mv^2}{\rho} = q\,v\,B \Longrightarrow \rho = \frac{m\,v}{q\,B} = \frac{v}{\omega}$$

إذن الحركة دائرية منتظمة نصف قطرها ρ وسرعتها الزاوية ω وتسمى تردد السيكلوترون

مثال-1 : القوة المغناطيسية المؤثرة على إلكترون.

لدينا إلكترون يتحرك على المحور $\overrightarrow{OX}$ بسرعة V = 4.108 m/s هذا الإلكترون أثناء حركته يتعرض لحقل مغناطيسي $\overrightarrow{B}$ في المستوي XOY ويصنع زاوية $\theta = \frac{\pi}{3}$ أنظر الشكل.



1- أحسب القوة المغناطيسية.

2- احسب تسارع ألإلكترون.

الحل

1- القوة المغناطيسية.

$$= q\ \overrightarrow{V} \wedge \overrightarrow{B}\overrightarrow{F}$$

بما إن q = -e إذن القوة تأخذ منحى المحور $\overrightarrow{OZ}$ واتجاهها عكس $\overrightarrow{OZ}$ كما هي معطاة في الشكل.   شدة القوة هي $F = e\ v\ B \sin\theta$

ت.ع $F = 1.6x10-19 \times 4x108 \times 0.04 \times \frac{1}{2}$

$$F = 64 \times 10-14\ N$$

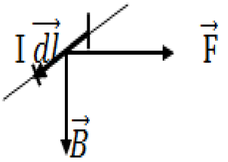
2- تسارع الإلكترون

لدينا $F = m\ a$ إذن $a = \frac{F}{m}$

ت .ع $a = \frac{64 \times 10^{-14}\ N}{9.11 \times 10^{-31}\ kg}$ $a = 7.02 \times 10^{17}\ m/s^2$

<u>5-III :القوة المغناطيسية المؤثرة على تيار كهربائى -قوة لابلاس:</u>

انتقال الإلكترونات عبر ناقل يسمى بالتيار الكهربائي ، إذا وضع هذا التيار تحت تأثير حقل مغناطيسي فسيعاني من قوة مغناطيسية إذا كان جزأ من الناقل طوله dl. فإن القوة التي يتأثر بها هذا الجزء من الناقل هي $d\vec{F}$ تعطى بالعلاقة التالية



$d\vec{F} = I.\,\vec{dl} \wedge \vec{B}$ بالتكامل

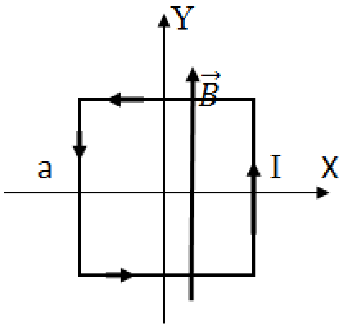
$$\vec{F} = I\int \vec{dl} \wedge \vec{B}$$

تسمى هذه العلاقة بقانون لابلاس.

ملاحظة :محصلة القوة المغناطيسية على أي دارة مغلقة موجودة تحت تأثير حقل مغناطيسي منتظم تكون معدومة.

مثال- 2 القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مربع.

سلك على شكل مربع مغلق ضلعه a يمر به تيار كهربائي شدته I يخضع لحقل مغناطيسي $\vec{B}$ موجه مع المحور $\overrightarrow{OY}$ انظر الشكل.



1- احسب القوة المغناطيسية المطبقة على كل ضلع.

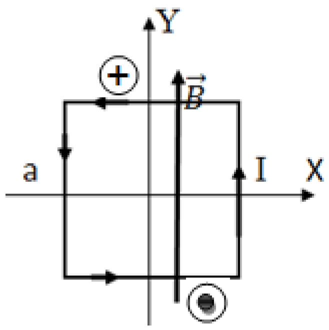
- احسب القوة المغناطيسية المطبقة على المربع.

الحل

1- حساب القوة المغناطيسية المطبقة على الضلع الموازي للمحور وفي الجهة الموجبة

ل OY .

لدينا $= I\,\vec{dl} \wedge \vec{B}df$ ومنه $\vec{F} =$ $dl\ (-\vec{i}) \wedge \vec{B}$



$= - a\,I\,B \sin\frac{\pi}{2}\vec{F}\ \vec{k}$ إذن $= - a\,I\,B\,\vec{F}.\vec{k}$

2- حساب القوة المغناطيسية المطبقة على الضلع الموازي للمحور $\overrightarrow{OX}$ وفي الجهة السالبة للمحور $\overrightarrow{OY}$.

لدينا $= I\,\overrightarrow{dl} \wedge \overrightarrow{Bdf}$ ومنه $\vec{F} = I\int_{+a/2}^{-a/2} dl\ (+\vec{i})\wedge\vec{B}$

$= + a\,I\,B \sin\frac{\pi}{2}\vec{F}\,\vec{k}$ إذن $= + a\,I\,B\vec{F}.\vec{k}$

- حساب القوة المغناطيسية المطبقة على الضلعين الموازيين للمحور $\overrightarrow{Oy}$ وفي الجهة السالبة والموجبة ل $\overrightarrow{Ox}$.

لدينا $= I\,\overrightarrow{dl} \wedge \overrightarrow{Bdf}$ ولكن $\vec{B}$ و $\overrightarrow{dl}$ متوازيان ومنه الجداء الشعاعي معدوم

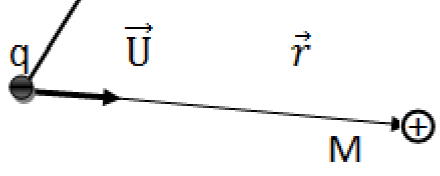
القوة الكلية المغناطيسية المطبقة على المربع بعد الجمع تكون معدومة.

III-6 : الحقل المغناطيسي الناشئ عن شحنة نقطية متحركة.

الحقل المغناطيسي الناشئ في النقطة M من طرف شحنة نقطية q تتحرك بسرعة $\vec{v}$

تعطى بالعلاقة التالية .

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0\, q\, \vec{v}\ \Lambda\ \vec{r}}{4\pi\ r^2}$$



$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 q \vec{v} \wedge \vec{u}}{4\pi r^3}$ حيث $\vec{u} = \frac{\vec{r}}{r}$

$\mu_0 = \pi 4 \times 10^{-7}\ T.m.A^{-1}$ ، μ_0 يسمى ثابت نفاذية الفراغ أو ثابت المساحية وله علاقة ب ε_0 حيث $\mu_0 \varepsilon_0 C^2 = 1$

III-7 : الحقل المغناطيسي الناتج عن مجموعة من الشحنات النقطية المتحركة.

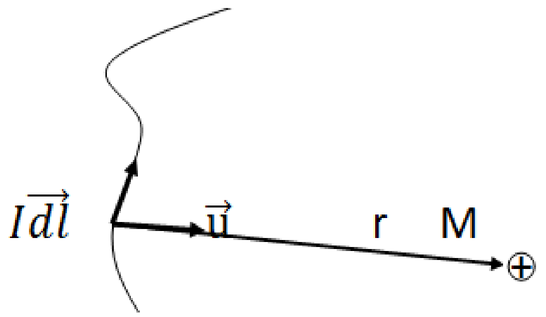
ليكن لدينا N شحنة نقطية qi تتحرك بسرعة $\vec{v}$ بتطبيق مبدأ التجميع ، يكون الحقل المغناطيسي الناتج في النقطة M نتيجة لهذه الشحن هو المجموع الشعاعي للحقول الناتجة عن كل شحنة ويعطى بالعلاقة التالية

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i \vec{v}_i \wedge \vec{u}}{r_i^2}$$

III-8 :الحقل المغناطيسي الناتج عن تيار كهربائي- قانون بيوت و سافار.

لتكن دارة كهربائية يمر فيها تيار كهربائي شدته I ليكن جزء من الدارة dl

فإن كمية الكهرباء تجري في هذا الجزء هي $I\vec{dl}$ فالحقل المغناطيسي الناتج عن هذا الجزء يعطى بالعلاقة التالية.



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\vec{dl} \wedge \vec{u}}{r^2}$$

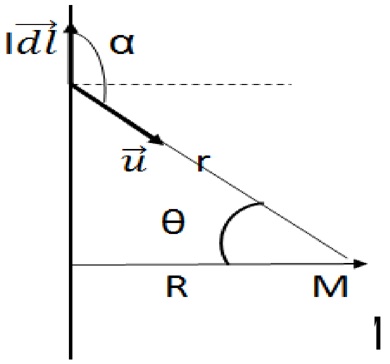
الحقل الكلي $\vec{B}$ الناتج عن الناقل

عند النقطة M التي تبعد عن الناقل مسافة r

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{دارة} \frac{I\vec{dl} \wedge \vec{u}}{r^2}$$

III-8 -1: الحقل المغناطيسي الناتج على سلك ناقل مستقيم لانهائي حامل للتيار.

ليكن لدينا سلك مستقيم لانهائي يمر به تيار كهربائي شدته I احسب الحقل المغناطيسي الناشئ عن السلك عند النقطة M التي تبعد مسافة عمودية R عن السلك انظر الشكل.



ليكن لدينا جزء من السلك dl حيث يمر به تيار I

فإن هذا الجزء ينتج حقل مغناطيسي $d\vec{B}$ عند M

حيث

$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\vec{dl}\wedge\vec{u}}{r^2}$ فإن $d\vec{B}$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL\ \sin\alpha}{r^2}$$

لدينا أيضا $\alpha = \frac{\pi}{2} + \theta$ ومنه $\sin\alpha = \cos\theta$

إذن $dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL\ \cos\theta}{r^2}$ عندنا $tg(\theta) = \frac{l}{R}$ و $\frac{R}{r} = \cos\theta$ ومنه

$r^2 = \frac{R^2}{\cos^2\theta}$ و $\frac{dl}{R} = \frac{d\theta}{\cos^2\theta}$ نعوض dl و r^2 بقيمتيها في dB

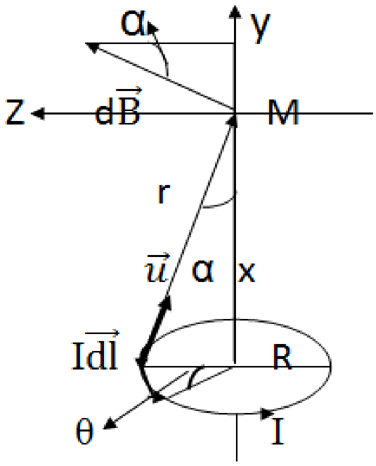
فتصبح $dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\cos\theta\ d\theta$ الحقل الكلي الناتج عن كل السلك

هي $\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}}\cos\theta\ d\theta$ $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}$ $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}.2$

الحقل المغناطيسي الناشئ عن السلك عند النقطة M هو $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}$

III-8 -2 : الحقل المغناطيسي المتولد عن حلقة تيار.

ليكن لدينا سلك دائري نضف قطرها R يمر بها تيار كهربائي شدته I احسب الحقل المغناطيسي الناشئ عن الدائرة عند النقطة M التي تبعد مسافة x تقع على محور الدائرة انظر الشكل.



جزء من الدائرة طوله dl يمر فيه تيار I هذا الجزء

عند النقطة M حقل مغناطيسي $d\vec{B}$ كما هو مبين

في الشكل.

$d\vec{B}$ له مركبتان

$$dBz = dB\cos(\alpha)$$

$$dBy = dB\sin(\alpha)$$

لدينا $dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL\sin\frac{\pi}{2}}{r^2}$ إذن $dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL}{r^2}$

$$r = (x + R)^{1/2} \qquad \sin\alpha = \frac{R}{r}$$

المركبة على المحور $\overrightarrow{OZ}$ معدومة بالتناظر.

تبقى المركبة على المحور $\overrightarrow{OY}$ حيث $\sin\alpha$ $dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{IdL}{r^2}$ نعوض $\sin\alpha$

بما يعادلها

فتصبح المركبة كالتالي $dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,R\,dL}{r^3}$

من الدائرة $dL = R\,d\theta$ ومنه المركبة $dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,R^2\,d\theta}{r^3}$

بتكامل طرفي معادلة المركبة نجد.

$$B = \frac{\mu_0\ I R^2}{4\pi(x+R)^{3/2}}\int_0^{2\pi} d\theta \Longrightarrow B = \frac{\mu_0\ I R^2}{2(x+R)^{3/2}}$$

ملاحظة

حساب الحقل المغناطيسي عند مركز الدائرة.

هذا يعني $X = 0$ ومنه الحقل

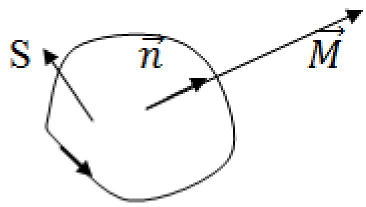
$$B = \frac{\mu_0 \ I R^2}{2(\ 0 + R)^{3/2}} \quad \text{إذن} \quad B = \frac{\mu_0 \ I}{2R}$$

إذا كانت لدينا وشيعة مسطحة عدد لفاتها هو N

الحقل المغناطيسي عند مركز الدائرة هو $B = \frac{\mu_0 \ N \ I}{2R}$

III-9: ثنائي القطب المغناطيسي.

ثنائي القطب المغناطيسي هو دارة صغيرة مساحتها S غير محددة الشكل يمر بها تيار كهربائي شدته I.



نسمي عزم ثنائي القطب المغناطيسي $\vec{M}$

$$\vec{M} = \ I \ \vec{S} \qquad \vec{M} = \ I \ S \, \vec{n}$$

III-9 - 1 عزم مزدوجة القوى المغناطيسية.

إذا وضعت هذه الدارة في مجال مغناطيسي $\vec{B}$ خارجي فإنها ستخضع لمزدوجة قوى مغناطيسية $\vec{L}$ يعطى عزمها بالعلاقة التالية.

هي ألجداء ألشعاعي بين $\vec{M}$ و $\vec{B}$

$$\vec{L} = \vec{M} \wedge \vec{B}$$

III-9 - 2 : الطاقة الكامنة للتفاعل بين هذه الدارة و الحقل المغناطيسي الخارجي:

هي الجداء السلمي بين $\vec{M}$ و $\vec{B}$ وتعطى بالعلاقة التالية

$$Ep = - \vec{M} . \vec{B}$$

ملاحظة.

1- يكون عزم ثنائي القطب المغناطيسي $\vec{M}$ طاقته الكامنة موجبة وتساوي

$$Ep = + M.B$$

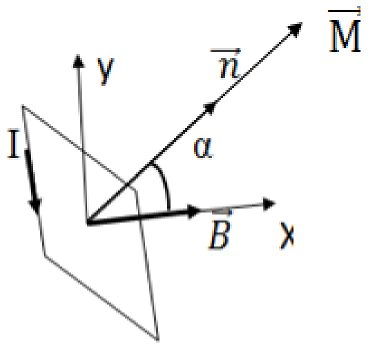
2- إذا كانت الدارة مكونة من N لفة كل واحدة يمر فيها نفس التيار ولها نفس المساحة فإن العز يعطى يصبح كالتالي.

$$= N\ \vec{M} \wedge \vec{B}\vec{L}$$

تمرين تطبيقي

سلك مربع يمر به تيار كهربائي شدته I ويتكون من أربعة لفات N=4 متماثلة فوق بعضها البعض ويمر بها نفس التيار. هذا المربع وضع حقل مغناطيسي B يصنع زاوية α = 30º مع ناظم السطح أنظر الشكل.

معطيات طول ضلع المربع هو b = 30 cm شدة التيار I = 3A شدة الحقل المغناطيسي B = 0. 4 Tesla



أحسب.

1- عزم ثنائي القطب المغناطيسي.

2- العمل اللازم لإدارة المربع إلى وضع الطاقة الصغرى.

الحل

1- حساب عزم ثنائي القطب المغناطيسي.

بما أن عدد اللفات N = 4 فإن عزم ثنائي القطب المغناطيسي $\vec{M} = NIS\vec{n}$

ت.ع $\vec{M} = 4x3x0.3x0.3\ \vec{n}$ بالإسقاط على المعلم

$\vec{M} = 1.08\ (\cos(30)\ \vec{i} + \sin(30)\ \vec{j}\ )$

$\vec{M} = 1.08\ (\frac{\sqrt{3}}{2}\vec{i} + \frac{1}{2}\vec{j}\ )$ ومنه $M = 1.08\ Am2$

عزم المزدوجة

عزم المزدوجة الناتج بين الدارة والحقل المغناطيسي .

$= 1.08 (\frac{\sqrt{3}}{2}\vec{i} + \frac{1}{2}\vec{j}) \wedge (0.4\vec{i}\vec{L})$ إذن $= \vec{M} \wedge \vec{B}\vec{L}$

$L = 0.216\ Nm$ $= -0.216\,\vec{k}$ $\vec{L}$

-2

- الطاقة الكامنة للتفاعل بين هذه الدارة و الحقل المغناطيسي.

$Epi = -1.08 (\frac{\sqrt{3}}{2}\vec{i} + \frac{1}{2}\vec{j}) . 0.4\,\vec{i}$ $Epi = -\vec{M} . \vec{B}$

$Epi = -0.37\ J$ -

الطاقة الكامنة الصغرى.

$Epmin = -1.08 \times 0.4 = -0.432\ J$ $Epmin = -M.B$

العمل ألازم لإدارة الدارة .

$W = -\Delta Ep = 0.062\ J$