الفصل التاسع

الكهرطيسية

I – الحقل المغناطيسي:

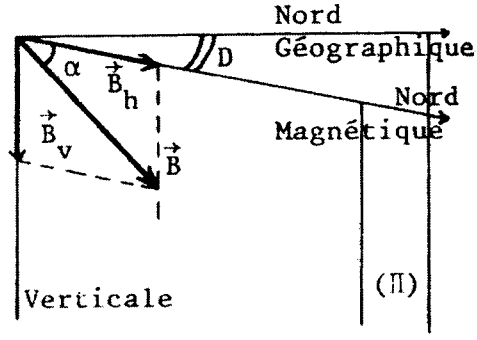
تمتلك بعض الفلزات كـــالحديد والكوبـــالت والمغنـــيز خاصيـــة جـــذب برادة الحديد أو تتسبب في انحراف حزمة الكترونية ومن جهة أخرى فهي لا تؤثـــر على نواس كهراكدي. وتدعى هذه الفلزات بالمغناطيس.

وكذلك يؤثر التيار الكهربائي المستمر الذي يجتاز سلكاً نـــاقلاً مســـتقيماً أو ملفوفاً (ملف وهو عبارة عن سلك ناقل مغطى بعازل ملفوف بشكل منتظم علـــى أسطوانة مستقيمة) على إبرة صغيرة ممغنطة أو على حزمة الكترونية تقع على جانبه.

إن انحرافات الإبرة الممغنطة والحزمة الإلكترونية متغيرة مع مكـــان وتوجـــه المغناطيس ومع جهة وشدة التيار المستمر.

وكذلك فالأرض توجه – وفق نفس المنحى – مختلف الأبر الممغنطة أو مختلف الوشائع الصغيرة التي يجتازها تيار كهربائي والمعلقة بخيط عديم الفتل.

يظهر هذا المنحى زاوية انحراف D بالنسبة لخط الزوال الجغرافي (π) وزاويـــة ميل بالنسبة للشمال المغناطيسي كما في (الشكل 1).



الشكل 1

الشكل 2

واصطلاحاً نطلق اسم القطب الشمالي على نهاية المغناطيس الموجه نحو الشمال المغناطيسي. والوجه الشمالي على سطح الوشيعة الموجه نحو الشمال المغناطيسي.

هكذا نرى بأن المغناطيس والتيار الكهربائي والأرض، تملك جميعها خاصيـــة توليد حقل مغناطيسي في نقطة من الفراغ المحيط بهم، يطبق قوة كهرطيسية على إبرة ممغنطة أو على جسيم مشحون متحرك أو على تيار كهربائي.

ويتم تمثيل هذا الحقل بالمتجهة $\vec{B}$ التي يعبر عنها بالتســـلا (T) في الجملـــة الدولية.

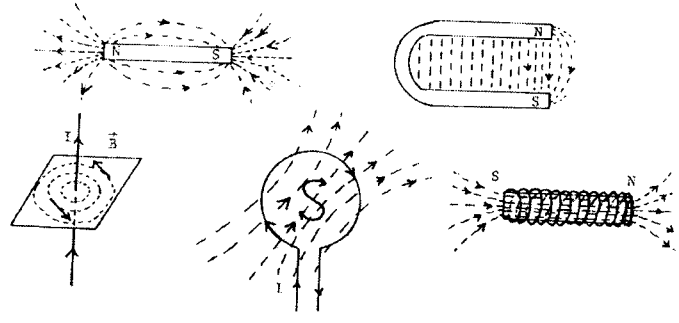
$$1(T) = \frac{\text{NewTon}}{\text{Amp.metre}} = \frac{\text{Weber}}{m^2}$$

بينما منحاها واتجاهها فهو عبارة عن منحى واتجاه المحور جنوب – شمال إبرة صغيرة ممغنطة موضوعة في هذه النقطة ويمكن تحديد ذلك بعدة طرق وهي:

- مراقب أمبير.
- قاعدة اليد اليمنى.
- قاعدة بزال ماكسويل.
- استخدام البدايات N أو S (شمال أو جنوب) من أجل تمييز أوجه الوشيعة كما في (الشكل 2).

إن مجموع مناحي متجهة الحقل المغناطيسي المتولدة في الفراغ المحيط تحدد لنا خطوط الحقل المغناطيسي وهي عبارة عن المنحنيات المماسية لمتجهة الحقل المغناطيسي ويتم إظهار خطوط الحقل بطريقة طيوف المغناطيس.

كما في (الشكل 3).



الشكل 3

ملاحظات:

a) الحقل المغناطيسي داخل الوشيعة منتظم.

b) الحقل المغناطيسي الأرضي $\vec{B}$ في نقطة ما محددة يمكن اعتباره كمجموع متجهتين، الأولى أفقية $\overrightarrow{B_h}$ شدتها $B\cos\alpha$ وهي قريبة من $2.10^{-5}T$ والأخرى شاقولية $\overrightarrow{B_v}$ شدتها $B\sin\alpha$ وهي قريبة من $4.10^{-5}T$.

c) الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار في نقطة محددة يكون:

- متناسباً طرداً مع شدة التيار.
- متناسبا عكسا مع بعد النقطة.
- يتعلق بهندسة الدارة الناقلة.

هكذا نرى أنه من أجل سلك مستقيم لا نهائي، تكون شدة $\vec{B}$ في نقطة تقع على بعد d مساوية إلى:

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi}.\frac{2I}{d}$$

حيث: μ_o هي نفوذية الفراغ وتساوي إلى $4\pi.10^{-7}\ Tm/A$

أما فيما يتعلق بلولب دائري نصف قطره R فإن شدة $\vec{B}$ في نقطة تقع على محوره وتبعد مسافة d عن o مركز اللولب فتعطى بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi}.\frac{2\pi IR^2}{\left(R^2+d^2\right)^{3/2}}$$

أما في المركز o فتساوي إلى:

$$B(o) = \frac{\mu_o I}{2R}$$

ولكن عند تنضد N لولب (وشيعة مستوية) فإن التأثيرات تجمع ومنه:

$$B = \frac{\mu_o N.I}{2} . \frac{R^2}{\left(R^2 + d^2\right)^{3/2}}$$

وإن:

$$B(o) = \frac{\mu_o N.I}{2R}$$

بينما من أجل ملف لولبي طوله ℓ أكبر بكثير من نصف قطر المقطع العرضي فإن شدة $\vec{B}$ في نقطة واقعة في الداخل هي:

$$B = \mu_o \, nI$$

حيث:

$n = \frac{N}{\ell}$ يمثل عدد اللوالب في واحدة الطول.

وإن واحدة:

B هي التسلا

I هي الأمبير

R أو d هي المتر.

وهناك علاقة هامة ما بين μ_o وς_o هي:

$$\mu_o \, \varsigma_o \, C^2 = 1$$

حيث:

C: سرعة الضوء في الفراغ وتساوي $3.10^8 \frac{m}{S}$

ς_o: سماحية الفراغ وقيمتها في الجملة الدولية تساوي $8,85.10^{-12} \frac{F}{m}$.

II – تأثير الحقل المغناطيسي على جسيم مشحون:

1 – قوة لورنتز:

يخضع الجسيم المشحون بشحنة q والمتحرك بسرعة $\vec{v}$ ضمن حيز حيث ينتشر فيه حقل مغناطيسي منتظم، إلى قوة لورنتز:

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

يتم تحديد منحى واتجاه $\vec{F}$ وفق قاعدة الجداء المتجه أو بالطرق التالية:

- قاعدة مراقب أمبير.
- قاعدة اليد اليمنى.
- قاعدة اليد اليسرى.

أما شدة متجهة قوة لورنتز فتساوي إلى:

$$F = vB|qSin\alpha|$$

حيث α الزاوية الواقعة بين V و B.

أو $F = |q|vB$ عندما $\vec{v} \perp \vec{B}$

وإن واحدة F هي النيوتن. وواحدة q هي الكولون.

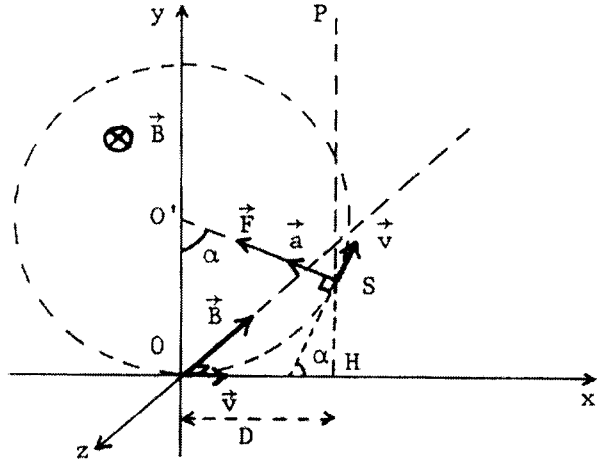
ملاحظة:

لا تغير القوة $\vec{F}$ المطبقة على الجسيم المشحون طاقته الحركية، وبالفعل فإن استطاعة القوة المغناطيسية معدومة؛ لأن $\vec{F}$ و $\vec{v}$ متعامدتين:

$$P = \vec{F}.\vec{v} = o$$

2 – مسار جسيم مشحون ضمن حقل مغناطيسي:

في هذه الدراسة، نفترض بأن الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ منتظم وعمودي على السرعة $\vec{v}$ للجسيم المشحون(q,m) والتي شدتها v ثابتة كما في (الشكل 4).



الشكل 4

لنطبق علاقة التحريك:

$$\vec{f} = \vec{F}$$

$$m\vec{a} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

$$ma = |q|.v.B$$

بما أن القوة المغناطيسية $\vec{F}$ مركزية؛ لذا فلها نفس اتجاه $\vec{a}$ وبالتالي فإن المسار يكون دائرياً ذات نصف قطر R بحيث إن:

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{|q|}{m}.v.B$$

ومنه نجد:

$$R = \frac{mv}{|q|.B}$$

3 – الانحراف المغناطيسي:

لنفترض بأن الحقل المغناطيسي مطبق في الحيز المحدد (OY, HP) بامتداد $OH = D$.

يخرج الجسيم من S بسرعة $\vec{v}$ بعد اجتيازه قوس الدائرة $\overset{\frown}{OS}$ وتكون حركته اللاحقة خطية منتظمة وفق منحى يصنع زاوية α مع $\overrightarrow{Ox}$.

وإنه عندما تكون α صغيرة نستطيع كتابة:

$$\overset{\frown}{OS} \approx OS \approx OH \approx R\alpha$$

ومنه:

$$\alpha = \frac{D}{R} = \frac{|q|DB}{mv}$$

III – تأثير الحقل المغناطيسي على عنصر من دارة ناقلة.

1 – قوة لابلاس

يجتاز التيار I عنصراً من دارة $d\ell$ موجود ضمن حقل مغناطيسي $\vec{B}$؛ لذا يخضع هذا العنصر إلى قوة لابلاس التالية:

$$d\vec{F} = Id\vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

أو

$$\vec{F} = I\vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

وإن اتجاه $\vec{\ell}$ هو اتجاه الشدة.

يتحدد منحى واتجاه $d\vec{F}$ (أو $\vec{F}$) بقواعد الجداء المتجه أو بالطرق المنوه عنها سابقاً.

تعطى شدة المتجهة $d\vec{F}$ (أو $\vec{F}$) بالعلاقة التالية:

$$dF = I.\, d\ell\, .\, B.\, Sin\alpha$$

أو

$$F = I.\ \ell\ .\, B.\, Sin\alpha$$

حيث:

α: الزاوية التي يصنعها اتجاه I مع $\vec{B}$

عندما

$$\alpha = \frac{\pi}{2}$$

نحصل على:

$$dF = B.I.\, d\ell$$

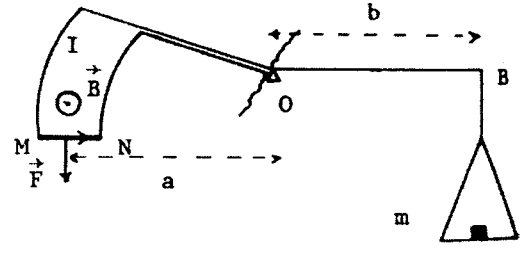
أو

$$F = B\, .\, I\, .\, \ell$$

2 – تطبيقات:

a) ميزان كوتون:

تؤثر قوة لابلاس $F = BI\ell$ على الجزء $MN = \ell$ الذي يجتازه تيار شدته I والموجود ضمن حقل مغناطيسي $\vec{B}$. وإن اتجاه كل من $\vec{B}$ وI هو بحيث أن القوة $\vec{F}$ تكون عمودية هابطة. ويتحقق التوازن بمساعدة كتلة m محددة بمساواة العزوم كما في (الشكل 5).



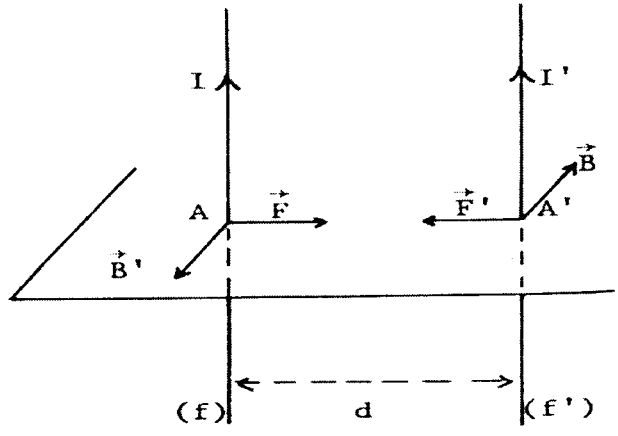
الشكل 5

$$mgb = Fa = BI\,\ell\,a$$

أو
$$B = \frac{mgb}{Ia\ell}$$

b) التأثير المتبادل ما بين تيارين مستقيمين لا متناهيين ومتوازيين:

لنعتبر سلكان مستقيمان (f) و(f′) لا متناهيين ومتوازيين، تفصل بينهما المسافة d يجتازهما تياران I و I′ لهما نفس الاتجاه مثلا. ينتج التيار I في A′ حقلا مغناطيسيا $\vec{B}$ شدته $B = \frac{\mu_o}{2\pi}.\frac{I}{d}$.



الشكل 6

يخضع السلك (f′) الذي يجتازه التيار I′ إلى قوة خلال واحدة الطول شدتها:

$$\frac{F'}{\ell} = I'.B = \frac{\mu_o}{2\pi}.\frac{II'}{d}$$

وبمناقشة مماثلة نتوصل إلى أن السلك (f) يخضع إلى قوة خلال واحدة الطول شدتها:

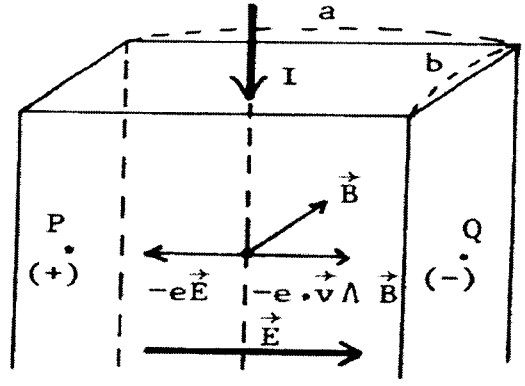
$$\frac{F}{\ell} = I.B' = \frac{\mu_o}{2\pi}.\frac{I.I'}{d}$$

وتكون هاتان القوتان متجاذبتين إذا كان للتيارين نفس الاتجاه ومتنافرتـــان في الحالة المعاكسة كما في (الشكل 6).

c) **مفعول هول:**

نضع السلك الناقل الذي مقطعه المستطيل S = a.b ويجتازه تيار مستمر شدته I ضمن حقل مغناطيسي $\vec{B}$ شاقولي على منحى I. يطبق الحقل المغناطيسي هذا علـــى كل الكترون من الكترونات الناقل ذات السرعة $\vec{v}$ (اتجاه معاكس لـــ I) قوة لورنـتز $-e\vec{v}\wedge\vec{B}$

تتحرك الإلكترونات تحت تأثير هذه القوة من وجه لآخر فينشحن أحد هـــذه الأوجه بشحنة موجبة بينما ينشحن الوجه الآخر بشحنة سالبة بحيث ينشـــأ حقـــل كهربائي $\vec{E}$ بينهما كما في (الشكل 7).



الشكل 7

يخضع كل إلكترون من هذه الإلكترونات الناقلة إلى القوة:

$$\vec{F} = -e\vec{E} - e\vec{v} \wedge \vec{B}$$

الناتجة عن قوى متعاكسة، مغناطيسية $-e\vec{v} \wedge \vec{B}$ شـــدتها e.v.B وكهربائيـــة $-e\vec{E}$ شدتها eE

ويتحقق النظام المستمر في الناقل عندما $\vec{F} = \vec{o}$

حيث: $eE = evB$ أو $E = v.B$

وبما أن: $E = \frac{v_P - v_Q}{a}$ و $v = \frac{I}{n.eS}$

حيث n: يمثل عدد الإلكترونات في واحدة الحجم.

نستنتج فرق كمون هول:

$$v_P - v_Q = \frac{B.I}{n.e.b}$$

3 – عمل القوى الكهرطيسية:

لنفترض أن عنصرا ناقلا طوله L، يجتازه تيار مستمر I موجود ضمن حقـــل مغناطيسي $\vec{B}$ عمودي على منحى I. عندئذ يخضع العنصر الناقل إلى قوة لابلاس $\vec{F}$ شدتها.

$$F = BIL$$

وأن عمل القوة $\vec{F}$ أثناء الانتقال $d\ell$ الناظمي على $\vec{F}$ يساوي:

$$dw = BIL\, d\ell$$

أو $$W = BIL\, \ell$$

IV – التحريض الكهرطيسي:

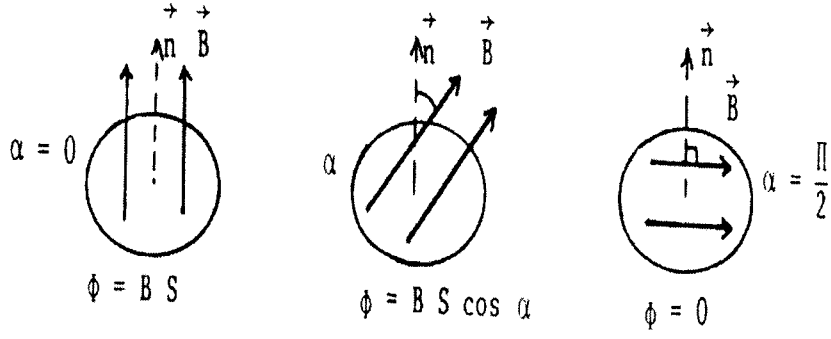
1 – تعريف التدفق المغناطيسي:

التدفق المغناطيسي الذي يجتاز سطحا مستويا مغلقا موجودا ضمن حقل مغناطيسي $\vec{B}$ يساوي إلى:

$$\phi = B.S.\cos\alpha$$

حيث:

$\alpha = \left(\vec{n}, \vec{B}\right)$: الزاوية الحاصلة ما بين $\vec{B}$ والناظم على السطح S. كما في (الشكل 8).

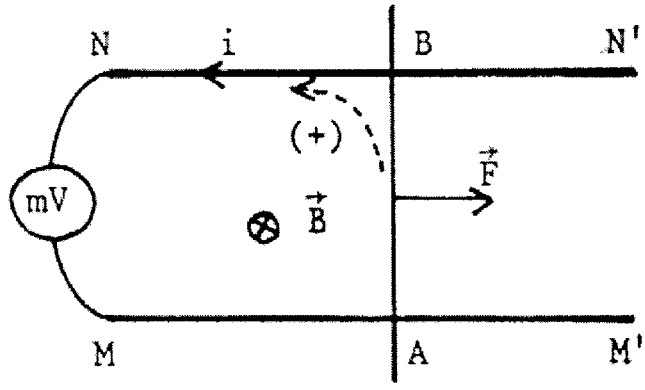


الشكل 8

ويعبر عن ϕ بالويبر (wb) إذا كانت $\vec{B}$ بالتسلا (T) و S بالمتر المربع(m^2).

2 – القوة المحركة الكهربائية التحريضية:

يتكون الجهاز كما في (الشكل 9) من قضيب أسطواني ناقل AB يستند على سكتين حديديتين ناقلتين ومتوازيتين NN′ و MM′ موصولتين بمقياس ميلي فولت mV والجملة بكاملها موضوعة ضمن حقل مغناطيسي منتظم $\vec{B}$ عمودي على مستوي السكتين.



الشكل 9

لنـــزيح القضيب الأسطواني على السكتين فينحرف مؤشر مقياس الميلي فولت وفق جهة انزياح القضيب AB وينعدم فور توقف الانزياح.

كما أن ظهور أو تغير التيار المسمى بالتيار التحريضي في الدارة ينتج من تغـير التدفق الكهرطيسي الذي يجتاز الدارة أثناء انزياح القضيب AB.

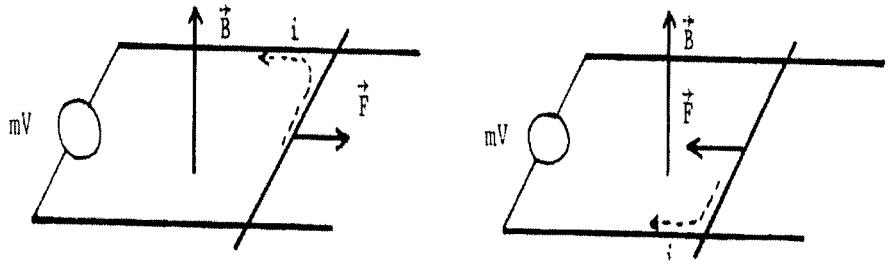
وينقطع هذا التيار بانعدام التأثير. إن هذه الدارة هي موضع القـــوة المحركـــة الكهربائية للتحريض الكهرطيسي المعاكسة لتغير التدفق المحرض.

تعطى علاقة القوة المحركة الكهربائية (Emf) التحريضية بقانون لينـــز

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \qquad e = Emf \quad \text{بالفولت}$$

$\frac{d\phi}{dt}$ تغير التدفق خلال واحدة الزمن ويعبر عنها $\frac{wb}{s}$

أما جهة التيار التحريضي i الذي يجتاز الدارة فهي بعكس تغير التدفق كما في (الشكل 10).



الشكل 10

3 – كمية الكهرباء التحريضية:

من العلاقات: $e = -\frac{d\phi}{dt}$ و $e-Ri = o$

حيث R المقاومة الكلية للدارة. نستنتج بأن:

$$i = -\frac{1}{R}\frac{d\phi}{dt}$$

إن كمية الكهرباء التحريضية التي تجتاز الدارة خلال الزمن dt هي:

$$dQ = idt = -\frac{1}{R}.d\phi$$

أو إنه أثناء الزمن Δt الموافق لتغير التدفق من ϕ_i إلى ϕ_f فإن كمية الكهرباء التحريضية تكون مستقلة عن الزمن.

$$Q = \frac{1}{R}(\phi_f - \phi_i) = \frac{\Delta\phi}{R}$$

V – التحريض الكهرطيسي الذاتي:

1 – التحريض الذاتي القوة المحركة الكهربائية ذاتية التحريض.

تولد الدارة التي يجتازها تيارا شدته I حقلا مغناطيسيا ويجتازها تدفق تحريضي وفق العلاقة التالية:

$$\phi = L.I$$

حيث L يسمى بمعامل التحريض الذاتي للدارة ويعبر عنه بالهنري (H) فعندما يتغير التيار مع الزمن (I = i) ينتج Emf ذاتية التحريض

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(L.i) = -L\frac{di}{dt}$$

عند تزايد i فإن $e < o$ وتلعب الدارة عندئذ دور آخذة ذات C.Emf (قوة محركة كهربائية عكسية) مساوية إلى e.

أما عندما تكون i متناقصة فإن $e > o$ وتلعب الدارة عندئذ دور مولدة ذات Emf مساوية إلى e.

2 – فرق الكمون بين طرفي وشيعة:

إن فرق الكمون بين طرفي وشيعة يجتازها تيار متغير i يساوي إلى:

$$V = ri - e = ri + L\frac{di}{dt}$$

3 ــ الاستطاعة والطاقة المتبادلة:

الاستطاعة الكهربائية المتبادلة بالوشيعة مع ما بقي من الدارة هي:

$$P = vi = ri^2 + Li\frac{di}{dt} = ri^2 + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li^2\right)$$

تمثل P مجموع حدين:

$P_j = ri^2$ الاستطاعة الكهربائية المستهلكة بفعل جول.

$$P_L = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li^2\right) = Li\frac{di}{dt}$$ الاستطاعة

– التي تتلقاها الوشيعة إذا تزايد i أي $\frac{di}{dt} > o$ (تلعب الوشيعة دور آخذة)

– التي تتركها الوشيعة إذا تناقص i أي $\frac{di}{dt} < o$ (تلعب الوشيعة دور مولدة)

وإنه خلال الزمن dt تتبادل الوشيعة الطاقة الكهربائية

$$dw = P.\ dt = ri^2\ dt + Lidi = dw_j + dw_L$$

وإنه خلال الزمن t فالوشيعة:

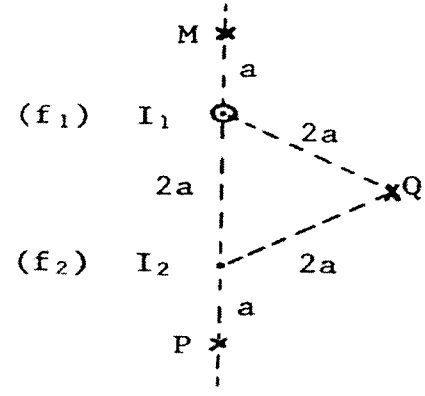
- تستهلك بفعل جول الطاقة $w_j = \int_o^t ri^2 dt$

- تختزن الطاقة $w_L = \frac{1}{2} Li^2$

لأن الشدة تزداد من o وحتى i وتعاد عند تناقص الشدة.

مسائل غير محلولة

- سلكان مستقيمان (f_1) و(f_2) طويلان ومتوازيان وأفقيان يبعدان عـــن بعضـــهما البعض مسافة $2a = 0,1m$ كما في الشكل.



يمر في السلك (f_1) تيار شدته $I_1 = 3A$ موجه نحو أمام الشكل.

1 – أوجد الشدة I_2 وجهة التيار المار في السلك (f_2) كي ينعدم الحقل في M.

2 – ما هو الحقل الناتج في P وفي Q.

- تعطى شدة الحقل المغناطيسي المتولد بوشيعة مستوية مكونة منN لولب دائـــري ذات نصف قطر R، في نقطة من محورها تبعد مسافة X عن O مركز الوشـــيعة بالعلاقة التالية:

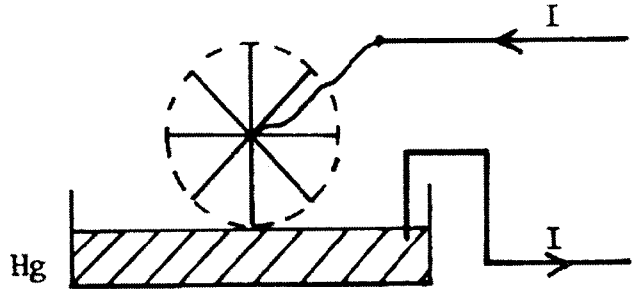
$$B(x) = \frac{\mu_0 IN}{2} \cdot \frac{R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}}$$

1 – احسب شدة الحقل المغناطيسي B(o) في المركز o.

2 – أوجد مكان النقطة M الواقعة على المحور والتي من أجلها يكون الحقل المغناطيسي مساويا إلى $\frac{B(o)}{2}$.

– دولاب نصف قطره R = 10 Cm موجود ضمن حقل مغناطيسي منتظم شدته B = 0,04T ومنحاه شاقولي على مستوى الدولاب.

تم تدوير هذا الدولاب بسرعة زاوية قدرها $2,5\pi\frac{rad}{s}$ كما في الشكل.



فإذا كانت الاستطاعة الميكانيكية P = 3 mW

1 – فسر لماذا يدور الدولاب وحدد جهة دورانه.

2 – أوجد عمل القوة $\overrightarrow{F}$ المطبقة في وسط نصف القطر والتي تدور الدولاب مدة دورة واحدة فقط. ثم استنتج شدة هذه القوة.

3 – احسب شدة التيار المار في الدولاب.

– أوجد علاقة معامل التحريض الذاتي لملف طوله ℓ تبايعية عدد اللوالب N ذات النصف قطر R.

تطبيق: $\ell = 0,8m$ ، R = 3 Cm ، لولب N = 6000

– أعد نفس السؤال السابق من أجل وشيعة مكونة من N لولب ذات نصف قطر R

تطبيق: N = 20 ، R = 0,1m