المغناطيسية

طلاب الفرقة الاولى- تربية

اعداد

دكتور/ أبوالوفا أبوالمعارف محمد سالم

كلية العلوم

قسم الفيزياء

العام الجامعي

2023/2022

المغناطيسية

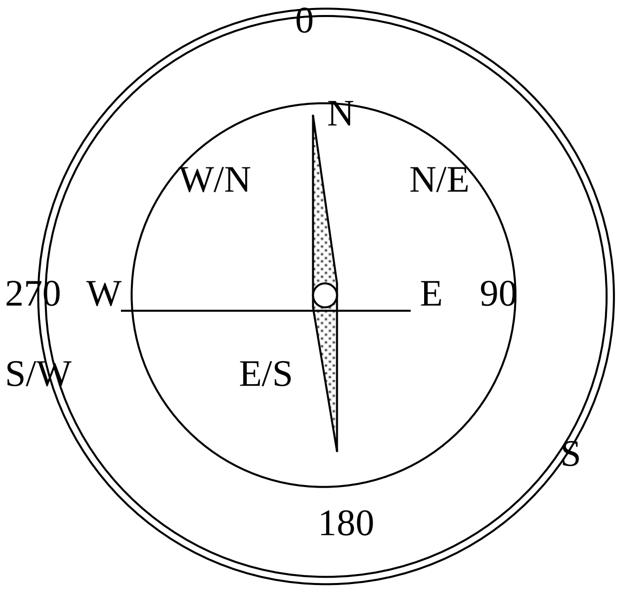
(1) المغناطيسية **Magnetism**

منذ زمن الإغريق أي قبل أكثر من ألفي عام اكتشف في منطقة مغنيسيا بوسط آسيا الصغرى أحجار طبيعية سوداء، وهي قطع من الصخور الحاملة للحديد*، لها القابلية والمقدرة على جذب بعض المعادن كقطع الحديد الصغيرة والقريبة منه ا، أطلق على هذه الأحجار اسم الأحجار المغ ناطيسية نسبة إلى اسم منطقة اكتشافه وفي أواخر القرن الثاني عشر للميلاد عرف لهذه الأحجار خاصية أخرى وهي أن الحجر المعلق من وسطه يميل عندما يترك حر الحركة بحيث أن طرفيه يشيران إلى اتجاهي كل من الشمال والجنوب الجغرافيين، وإذا غير اتجاه هذا الحجر المع لق ف انه يتحرك تلقائيا ليعود إلى وضـعه الأو ل. وقد أمكن نقل الخواص التي تتميز □ا تلك الأحجار إلى قطع من الحديد غير الممغنط وذلك بدلك قضيب من الحديد المطاوع بقطعة من هذه الأحجار لبعض الوقت في اتجاه واحد، فتنتقل بذلك بعض من القوى المغناطيسية الموجودة بالحجر المغن اطيسي إلى قضيب الحديد ويتحول بذلك إلى قضيب مغناطيس ي. وقد اس تعملت مثل هذه القضبان أو الإبر الحديدية المص □نعة □ذه الطريقة في تحديد اتجاهي الشمال والجنوب المغناطيسيين، وقد كانت هذه هي أول الطرق المستعملة لتصنيع البوصلة المغناطيسية (Compass). وبالطبع فقد تطور ت مثل هذه البو صلة البدائية حتى وصلت إلى شكلها الحالي المتطور كما في الشكل (1).

البوصلة المغناطيسية عبارة عن إبرة مغناطيسية رقيقة ترتكز عل محور من منتصفها ويحيط □ذه الإبرة تدريج دائري لتقدير الانحراف بالدرجات بالنسبة لاتجاهي الشمال والجنوب الجغرافيين حيث أن الإبرة المغناطيسية لا تشير تماما إلى اتجاهي الشمال والجنوب الجغرافيين ولكنها

تنحرف قليلا عن هذا الاتجاه ، ويطلق على الاتجاه الذي تشير إليه الإبرة المغناطيسية باتجاه الشمال والجنوب المغناطيسي.

* □يذ كر أن الحديد واحد من مواد قليلة إضافة إلى النيكل والكوبلت لها قابلية على التمغنط بشكل دائم وهذه المواد تسمى بالمواد الفيرومغناطيسية .



الشكل (12-1) : البوصلة المغناطيسية .

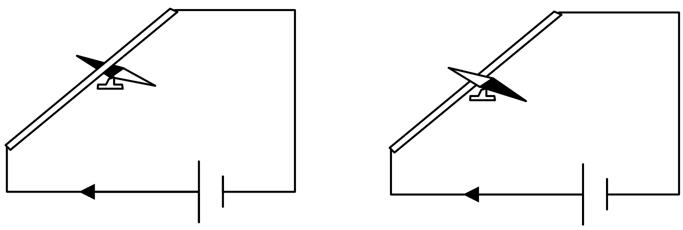
في عام 1820 اكتشف الدانماركي هانزكريستيان اورستيد (1770-1867) إن التيارات الكهربائية تولد مجالات مغناطيسية. فقد تحقق ذلك عندما كان يجري تجاربه الكهربائية ، وكان بجوار السلك الذي يمرر فيه تيار كهربائي إبرة مغناطيسية تدور حرة الحركة، فلاحظ عند غلق الدائرة

الكهربائية ومرور التيار في السلك انحراف الإبرة في اتجاه كما في الشكل (12-2$_a$)، وعندما غ□ير من وضع السلك بحيث أصبح أسفل الإبرة كما في الشكل (12-2$_b$)، لاحظ انحراف الإبرة بعكس الاتجاه الأول. وقد علل السبب في ذلك إلى أن مرور التيار في السلك يتسبب في نشوء مجال مغناطيسي في المنطقة المحيطة بهِ .وهكذا فان التأثيرات المغناطيسية يمكن أن تنشأ من التأثيرات الكهربائية*. تلا ذلك سلسلة من الاكتشافات قام □ا علماء كثيرون تتعلق بالمغناطيسية وعلاقتها بالتيارات

وا□الات الكهربائية، أمثال الأمريكي جوزيف هنري Joseph Henry (1797-1878)، والدانماركي مايكل فاراداي Michael Faraday (1791-1867) حيث ب□ينت أعمالهما ، أن التيار الكهربائي يمكن توليده بواسطة مغانط متحركة. و□يذكر □

* إن الترابط الوثيق بين الكهربائية والمغناطيسية حمل بعض المفكرين إلى اعتبارهما وجهين لعملة واحدة.

إن فاراداي كان قد نشر اكتشافاته رسميا بعد اثني عشر□ عاما من اكتشاف اورستد في حين كان هنري قد توقع اكتشافات فاراداي قبل عام من نشرها.



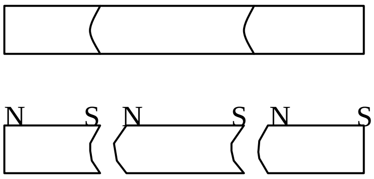
I I

-a- -b-

الشكل (12-1) : a- السلك فوق الإبرة المغناطيسية.
b - السلك أسفل الإبرة المغناطيسية.

(2-12) الأقطاب المغناطيسية والقوى المغناطيسية
Magnetic Poles and Magnetic Forces

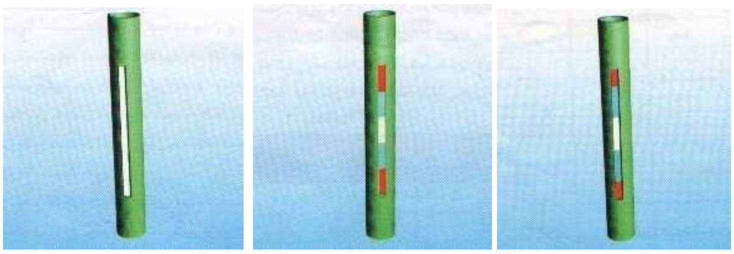
عند تعليق قضيبا مغناطيسيا تعليقا حرا من وسطه، فان أحدى □ ايتيه تتجه نحو الشمال الجغرافي والأخرى نحو الجنوب الجغرافي وعليه سميت النهاية الأولى للمغنـاطيس الباحثة عن الشمال على الكرة الأرضية بالقطب الشمالي للمغناطيس والنهايـة الثانيـة الباحثة عن الجنوب على الكرة الأرضية بالقطب الجنوبي للمغناطي س. ولقد أوضـح ت الاختبارات العلمية أن أقطاب المغناطيس لا يمكن فصلها عن بعضـها الـبع ض. فمـن المعروف، عند كسر قضيب مغناطيسي وفصله إلى أجزاء كما في الشكل (3-12)، فان كل واحدة منها تصبح قضيبا مغناطيسيا متكاملا جديدا له قطب شمالي N وآخر جنوبي S



الشكل (3-12) : الاقطاب المغناطيسية.

وهذا يعني إن الاستمرار في تقطيع المغناطيس إلى أجزاء اصغر فأصغر ستتوصل في الأخير إلى أن الذرة، ما هي سوى قطب مغناطيسي متناهٍ في الصغر من المغناطيس الأصلي. أن القوة المغناطيسية بين قطبين مغناطي سيين هي ذلك التأثير المتبادل بين القطبين سواء بالتنافر إذا تشابه القطبان أو بالتجاذب إذا اختل فا. و□تق □در هذه القوة غـير المرئيـة بوحدة يطلق عليها النيوتن حسب نظام الوحدات SI وفي نظام cgs للوحدات هناك وحدة اصغر هي الداي ن. ولكي نبين مستوى ذلك التأثير تجريبيا ، نأتي بشريحة من الورق المقوى وقضيبين مغناطيسيين متماثلين في القوى المغناطيسية والأبعا د. نطوي الور قة

بحيث تأخذ شكل أنبوب اعرض قليلا من القضيب، ثم نعمل شقا طوليا على جانبي الأنبوبـة الورقية (شكل 4-12 a). نضع ال قضيبين في الأنبوبة الورقية على استقامة واحدة بحيث تكون الأقطاب المتشا□ة متقابلة، سنشاهد ارتفاع المغناطيس العلوي في الهواء مبتعدا عن المغناطيس السفلي لمسافة معينة (شكل 4-12 b). الآن إذا استبدلنا المغناطيسين السابقين بآخرين قو□ما المغناطيسية اكبر مع مراعاة أن يكون القطبان ألمتشا□ان متقابلين، سنشاهد ارتفاع المغناطيس العلوي مسافة اكبر (شكل 4-12 c). وهذا يعني انه كلما زادت القوة المغناطيسية زادت قوة التنافر بين الأقطاب المتشا□ ة. ن□ذكر هنا أن قوة التنافر بين الأقطاب المتشا□ة تشكل قوة هائلة يمكن اس تعمالها في رفع أجسام ثقيل ة. وقد اس تعمل العلماء هذه الظاهرة في المصانع لعمل ممرات مغناطيسية خاصة لنقل وتحريك المعدات الثقيلة بسهولة بدلا من السيور المتحركة، بل ذهب العلماء إلى ابعد من ذلك حيث اس تعمل هذا المبدأ في تسيير قطارات سريعة تسبح في الهواء ولا تسير على قضبان حديدية كما في القطارات العادية، وقد أطلق ع ليها اسم قطارات ماجلي ف.ألان لو أجرينا ا لتجربة نفسها في الحا لتين b و c ولكن بجعل القط بين المختلفين متقابلين، سنشاهد تلامسهما أي أن الأقطاب المختلفة تتجاذب وان قوة التجاذب تعتمد على مقدار القوة المغناطيسية للقضيبين.

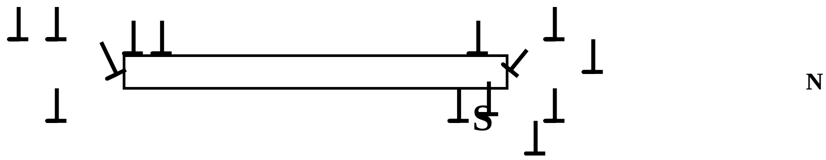


الشكل . -c- -b- -a-

(: القوة المغناطيسية بين قطبين مغناطيسيين4-12)

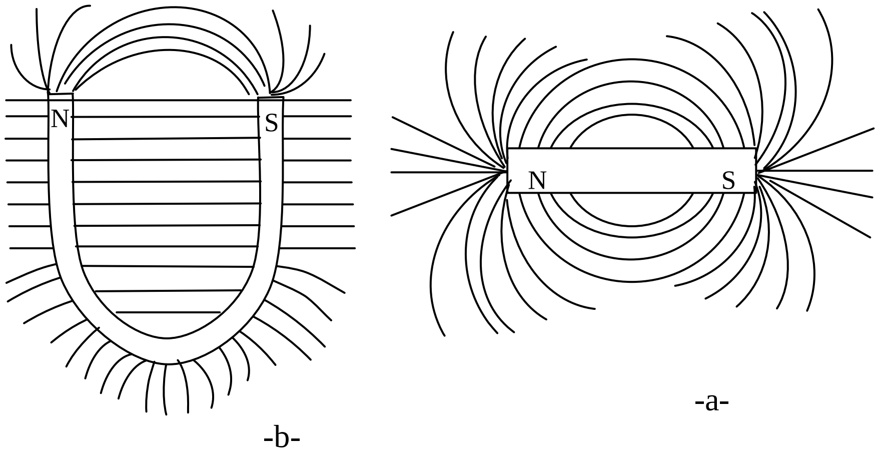
Appearance of Magnetic field : إظهار ا□ال المغناطيسي : (12- 3)

درسنا من قبل كيف أن الشحنات الكهربائية تؤثر على أي شحنة قريبة منها بقوة كهربائية، أي أن للشحنة الكهربائية مجالا يسمى با□ال الكهربائي. وبالمقارنة نتساءل هل المغناطيس أيضا يؤثر على المواد المغناطيسية القريبة منه بقوة أم لا ؟ لنتأمل مغناطيسا قد وضع أفق يا على قطعة خشبية وعلق مجموعة من الإبر المغناطيسية حوله، نجد أن المغناطيس سوف يؤثر على بعضها ولا يؤثر على البعض الأخر إذا كانت بعيد ة، أي أن قوة الجذب المغناطيسي تتركز في قطبية وتقل في المناطق الأخرى،كما مبين في الشكل (5).

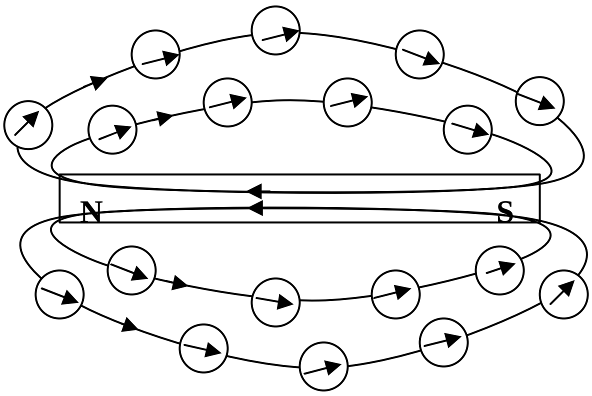


الشكل (5) : قوة الجذب المغناطيسي متركزة في قطبي المغناطيس وتقل في المناطق الأخرى .

من هذا يتبين هناك منطقة محيطة بالمغناطيس من جميـ ع الجهات وفي جميع المستويات يظهر فيها تأثير القوة المغناطيسية يطلق عليها اسم ا□ال المغناطيسي ، وبما أن ا□ال المغناطيسي غير مرئي لذلك يمكن إظهار أثره بواسطة برادة الحديد أو باسـ تعمال عدة بوصلات دقيقة الحجم كما في الأشكال (12-6) و(12-7) على التوالي.



الشكل (6) : انتظام جزيئات برادة الحديد على لوح من الزجاج لمغناطيس على هيئة قضيب (a)حدوة حذاء الفرس (b) مشكلا أنماط ا□الات المغناطيسية.



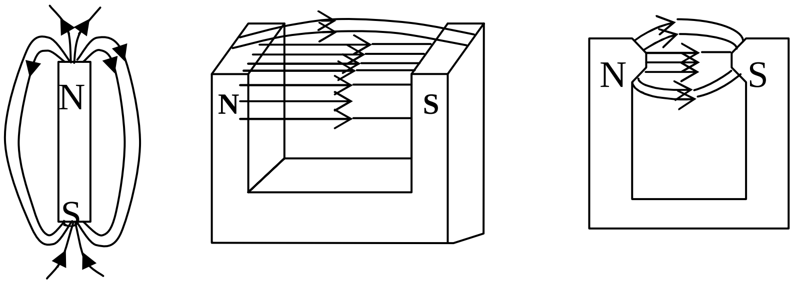
الشكل (7): إظهار نمط ا□ال المغناطيسي بجوار قضيب مغناطيسي باستعمال عدد كبير من أبر البوصلة المغناطيسية دقيقة الحجم.

(4) خطوط القوة المغناطيسية **Lines of Magnetic Force**

إن تأثير إبرة بوصلة مغناطيسية موضوعة في نقطة ما داخل مجال مغناطيسي تعطي طريقة لرسم خطوط القوة المغناطيسية بجوار قضيب مغناطيسي. فهي خطوط وهمية تبين المسار الذي يتخذه قطب

شمالي لو ترك حر الحركة في منطقة تأثير ا□ال المغناطيسي لقضيب مغناطيس ي. وحيث أن إبرة البوصلة المبينة في الشكل (12-7) تشير بعيدا عن القطب الشما ليN ونحو القطب الجنوبي S، فان خطوط القوة المغناطيسية تخرج وتتجه بعيدا عن القطب الشمالي وتصب وتتجه نحو القطب الجنوبي خارج المغناطيس، ثم من القطب الجنوبي إلى الشمالي داخ له.إن هذا يبين أن خطوط القوة المغناطيسية هي خطوط مغلقة وذلك لأنه لايمكن أن يوجد قط ب مغناطيس ي منفرد عمليا كما بي □نا سابقا، علـى عكس ا□ال الكهربائي الذي يمكن أن تتواجد فيه الشحنة الكهربائية منفردة حيث يكون خطا مفتوحا ينتهي نظريا في المالا□اية.

أن اتجاه خط القوة المغناطيسية في أي نقطة هو اتجاه ا□ال المغناطيسي من تلك النقطة، فإذا كان خط القوة منحنيا فان المماس عند نقطة ما فيـه يمثـل اتجـاه ا□ـال المغناطيسي وإذا كان مستقيما فان اتجاهه يمثل اتجاه ا□ال مباشرة . وتوضح المخططـات كالتي ترى في الشكل (12-8) خطوط القوة المغناطيسية لـثلاث مغناطيسات ذات أشكال مختلفة.

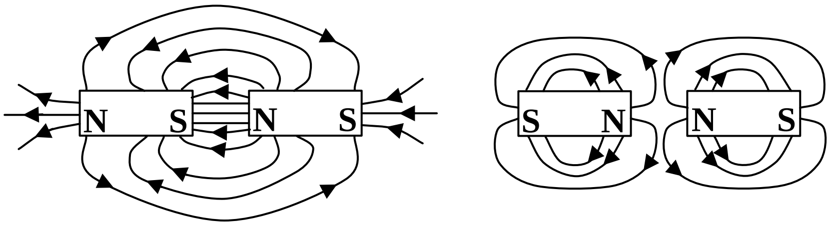


-a- -b- -c-

الشكل (12-8) : أتجاه ا□ال المغناطيسي.

يبدو واضحا من هذه المخططات إن خطوط القوة المغناطيسية لا تتقاطع مـع بعضها مطلقا (شأ□ا في ذلك شأن خطوط القوة الكهربائية)، لان تقاطعها في أي نقطة في ا□ال المغناطيسي يعني أن هناك أكثر من اتجا ه للمجال المغناطيسي عند تلك ا لنقطة وهذا مرفوض عمليا ، الأمر الذي يجعلنا أن نفترض صفة التنافر فيما بينه ا. إن خطوط القـوة المغناطيسية تكون أكثر تكدسا حيث يكون ا□ال المغناطيسي اشد ما يمكن.

نرى من المفيد هنا أن نعرض الكيفية التي تتنافر أو تتلاحم □ا خطوط الق ـوة المغناطيسية لقضيبين مغناطيسيين متقابل ين. ففي الحالة التي يكون فيها القضيبان المتشا□ان متقابلين، فان خطوط القوة المغناطيسية □تظهر تنافرا في ا□ال بجوار القطبين كما في الشكل (^{9} a-^{12})، أما في الحالة الأخر ى ال تي يكون فيها وضع القطبين المتواجهين مختلفين كما في الشكل (^{9} b-^{12})، فيبدو شكل خطوط القوة المغناطيسية كما لو كانـت لقطـب مغناطيسي واحد أي يكاد يشابه شكل خطوط القوة المغناطيسية في الشكل (^{6} a-^{12}).

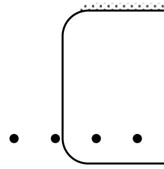


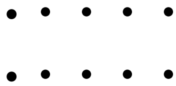
- b - - a -

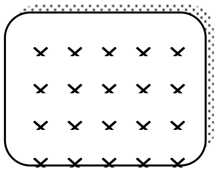
الشكل (^{9}-^{12}) : a- تنافر خطوط القوة المغناطيسية لقطبين مغناطيسيين متشا□ين.

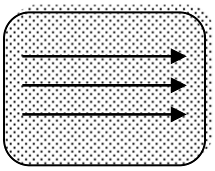
b- التحام خطوط القوة المغناطيسية لقطبين مغناطيسيين مختلفين.

□ترسم خطوط القوة المغناطيسية بحيث تعطي للقارئ فكرة عن طبيعة ا□ال المغناطيسي، فالنظر إلى الم خططات في الشكل (12-10$_{a,b,c,d}$) يعطينا انطباعا واضحا عن أن ا□ال في جميعها منتظما . فخطوط القـوة في a و b و c تظهر مستقيمة ومتوازية وتحصر فيما بينـها مسافات متساوية وفي نفس الاتجاه، وعلى هذا يكون ا□ال متساويا في المقدار والاتجاه عند جميع النقـاط، أمـا خطوط ا لقوة في d تظهر على شكل دوائر مغلقة منتظمة متحـدة في المركـز مركزها السلك وفي مستوي عمودي عل يه .أما صورة خطوط القوة في e تدل ل على أن ا□ال غير منتظم ، ففي 1 أشد مما هو عليه في 2.









خطوط القوة المغناطيسية منطبقة على الصفحة

خطوط القوة المغناطيسية عمودية على الصفحة داخلة

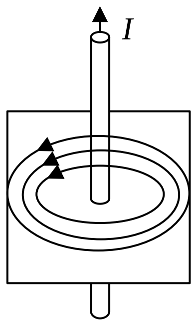
خطوط القوة المغناطيسية عمودية على الصفحة

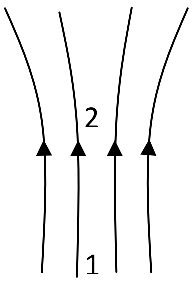
خطوط القوة المغناطيسية عبارة عن دوائر مغلقة منتظمة ومتحدة المركز

خطوط القوة المغناطيسية غير منتظمة الكثافة.

- e -

d





خارجة قريبا من القارئ.

مبتعدة عن القارئ.

باتجاه الشرق.

- b -

- c -

- a -

- -

الشكل (10) : مخططات ذات أشكال مختلفة لخطوط القوة المغناطيسية.

(5)شدة المجال المغناطيسي Magnetic Field Strength

ذكرنا في البند الأول من هذا الفصل أن الإبرة المغناط يسية تنحرف عند وضعها بالقرب من سلك يحمل تيارا كهربائيا، والتيار كما عرفنا ه هو نتيجة لحركة شحنات كهربائية وان انحراف الإبرة المغناطيسية هو بسبب تأثرها بقوة ا□ال المغناطيسي الذي أنتجته هذه الشحنات الكهربائية المتحركة. وهكذا ساد الاعتقاد منذ ذلك الوقت على أن جميع الظواهر المغناطيسية تتولد من قوى تنتج من شحنات كهربائية متحركة، لذا وجدنا من الأفضل البحث في ا□ال المغناطيسي المتولد في الفضاء حول شحنة متحركـة ثم في القوى التي يسلطها هذا ا□ال على شحنة أخرى تتحرك فيه.

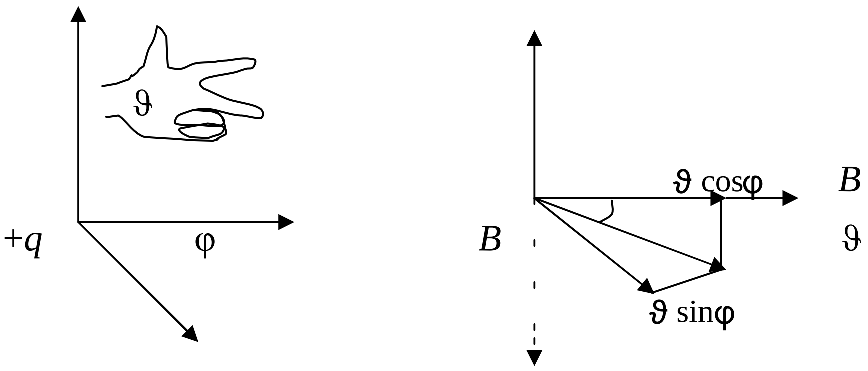
أن أي شحنة متحركة تولد مجالا مغناطيسيا في الفضاء المحيط □ا إلى جانـب ا□ال الكهربائي المحيط □ا في حالتي الحركة والسكو ن. وهنا لابد من الإشارة إلى أن أي شحنة كهربائية سواء كانت ساكنة أم متحركة داخل مجال كهربائي سوف تتأثر به بينما يشترط أن تكون هذه الشحنة متحركة لكي تتأثر با□ال المغناطيس ي. كمـ ا أن ا□ـال الكهربائي المتولد من الشحنات الكهربائية المتحركة أو من التيارات الكهربائية، غالبا ما يكون صغيرا بحيث يمكن إهمال القوة الكهربائية التي يسلطها هذا ا□ال علـى شـحنة متحركة إذا ما قورنت بالقوة المغناطيسية المؤثرة على تلك الشحنة.

تتأثر المواد الم غناطيسية (كإبرة البوصل ة) وكذلك الشحنات الكهربائية المتحركة بقوة ا□ال المغناطي سي عند تواجدها في ا□ال المؤثر لمغناطيس. فإذا ما تحركت شـحنة كهربائية خلال ذلك ا□ال لتأثرت بقوة جانبية بالإضافة إلى ما كان عليها مـن قـوى سابقة (إلا إذا كانت الشحنة الكهربائية متحركة باستقامة ا□ال حيث مقدار القوة المؤثرة عليها صفرا) تحرفها عن اتجاه حركتها الأصلي. أن هذه القـوة الـتي تـدعى بـالقوة المغناطيسية تبلغ أقصى قيمة لها عندما تكون حركة الشحنة الكهربائية باتجاه عمودي على ا□ال، أي الحالة التي تكون □ا سرعة الشحنة المتحركة ϑ تـصنع زاويـة مقدارها $\varphi = 90$ مع ا□ا ل. أما إذا كانت سرعة الشحنة ليست عمودية علـى اتجـاه ا□ـال المغناطيسي وإنما تصنع زاوية مقدارها $0 < \varphi < 90$ مع ا□ال فعندئذ يكون مقدار القوة المغناطيسية

يتناسب طرديا مع مر كبة السرعة العمودية على ا□ال ومقدارها $\vartheta_{sin}\theta$
إضافة إلى مقدار الشحنة q كما موضح في الشكل (11-12).

F F $F = q\vartheta B\sin\varphi$

B



F ϑ

الشكل (11): تحديد قيمة واتجاه القوة F المؤثرة على الشحنة q

.

وكما هو الحال في تعريف شدة ا□ال الكهربائي سوف نعطي تعريف لـشدة ا□ـال المغناطيسي B في أية نقطة بدلالة القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة متحركة في ا□ـال المغناطيسي وعلى النحو الآتي:

$$B = \frac{F}{q\vartheta\sin\varphi}$$ أو

$$F = B(q\vartheta\sin\varphi) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1\text{-}12)$$

ويمكن كتابة المعادلة (12-1) بجبر المتجهات على النحو الآتي:

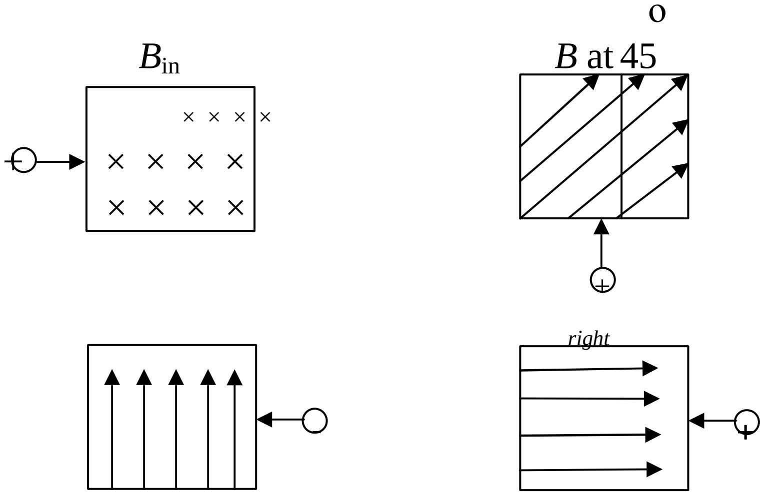
$$\vec{F} = q(\vec{\vartheta} \times \vec{B}) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2\text{-}12)$$

ومن خصائص هذه المعادلة أ ن القوة $\vec{F}$ تكون دائما عمودية على كل من B و ϑ. ويمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية باس تعمال قاعدة اليد اليسرى الموضحة في الـشكل (12-11)، حيث يشير الإ□ام إلى اتجاه F أما الإصبع الوسطى فيشير إلى اتجاه حركـة الشحنة أي السرعة ϑ فيما تشير السبابة إلى اتجاه ا□ال المغناطيسي B. ويجب الانتباه إلى أن هذه القاعدة تط □بق على الشحنات الموجبة، أما في حالة تطبيقهـا علـى الـشحنات المتحركة السالبة فيتحتم عكس اتجاه القوة كما ترى في الشكل (12-11). عند قياس F بالنيوتن و q بالكولوم و ϑ بـالمت ر/ثانيـة تـصبح وحـدة B آم./ أو ا وهـذا يساوي تسلا وفي نظام الوحدات cgs يقاس B بوحدة الكـاوس حيث أن 1 تسلا= 10^4 كاوس.

مثال (1)

ع□ين□ اتجاه انحراف الجسيمات المشحونة الداخلة إلى ا□ الات المغناطيسية كمـا تظهر في الحالات المبينة في الشكل (12-12) .

الحل:



-a-

-d-

B_{up} B

-b- -c-

الشكل (^{12}-^{12})

باستعمال قاعدة الكف الأيسر ينحرف الجسيم موجب الشحنة في a باتجـاه عمودي على ا□ال المغناطيسي نحو الأعلى. وفي b ينحرف الجسيم سالب الشحنة في اتجاه عمودي على ا□ال المغناطيسي نحو القارئ، حيث يتم عكس اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنة السالبة عند تطبيق قاعد ة الكف الأيـس ر عليهـ ا. وفي c لايحـصل انحراف وهذا واضح من تطبيق المعادلة $F = q\vartheta B\sin\varphi$ حيـث φ تـساوي 180 وعليه فان $F=_0$ أي أن الجسيم الموجب ا لمقذوف إلى ا□ال لا يتأثر بقوة ا□ال لـذا لا يعاني انحرا ف. وفي d ينحرف الجسيم الموجب الشحنة في اتجاه عمودي علـى ا□ـال المغناطيسي بعيدا عن القارئ.

مثال (2-12)

ما مقدار واتجاه القوة المؤثرة على إلكترون يتحرك بسرعة $12\times m/\sec 10^{5}$ شاقوليا إلى الأعلى حال دخوله مجال مغناطيسي منتظم B=0.5T يؤثر باتجاه الغرب.

الحل : من المعادلة ($^{1-12}$) نجد أن مقدار القوة التي تؤثر على إلكترون هي :

$F = q\vartheta B \sin 90$

$= 1.6 \times 10^{19} \times 12 \times 10^{5} \times 0.5 \times 1$

$= 2.6 \times 10^{-14} N$

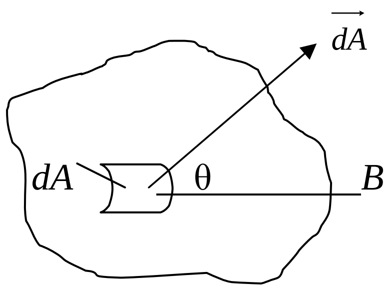
واتجاه القوة نحو الشمال.

(12-6) الفيض المغناطيسي **Magnetic Flux**

بامكاننا إعطاء تعريف لشدة ا□ال المغناطيسي في نقطة ما بدلالة خطوط القوة المغناطيسية كما فعلنا مع ا□ال الكهربائ ي. فعدد خطوط القوة المغناطيسية في وحدة المساحة التي تجتاز سطحا عموديا على مجال مغناطيسي قريب من نقطة ما تسمى بشدة ا□ال المغناطيسي في تلك النقط ة. وسوف نطلق على العدد الكلي لخطوط القوة المغناطيسية التي تجتاز السطح بفيض ا□ ال المغناطيسي φ. ويمكن التعبير عن الفيض المغناطيسي المخترق لسطح مساحته A بصيغة معادلة أسوة بنظيره الفيض الكهربائي وذلك بالرجوع إلى البند (8-6) من الفصل الثامن حيث نرى :

$$\varphi=\int B\cos\theta\, dA \qquad \text{.....................(3-12)}$$

والشكل (12-13) يمثل عنصر المساحة dA من سطح غير منتظم بحيث أن العمود على جزء السطح dA يصنع زاوية θ مع اتجاه ا□ال المغناطيسي B
.



الشكل (12-13) : ا□ال المغناطيسي يصنع زاوية مع العمود على عنصر المساحة.

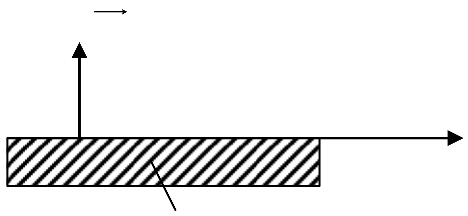
وإذا تأملنا الحالة التي يكون ف يها ا□ال المغناطيسي B منتظما عندئذ تصبح معادلة الفيض المغناطيسي φ:

$$\varphi= BA\cos\theta \qquad \text{...............(4-12)}$$

لنناقش الحالة التي يكون فيها متجه عنصر المساحة dA عموديا على متجه ا□ال B أي عندما $\theta= 90$ (انظر الشكل 12-14). عندئذ تكون قيمة

الفيض المغناطيسي صفرا، وذلك لعدم وجود خطوط قوة مغناطيسية تخترق المساح ة. بينما تكون قيمة الفيض المغناطيسي اكبر ما يمكن عندما تكون $0 or$ 180θ= وهنا أما أن يكون الفيض المغناطيسي موجبا أو سالبا، عندئذ تأخذ المعادلة (12-4) الصيغة الآتية :

$\varphi = {}^{m}BA$



……………………..(5-12)

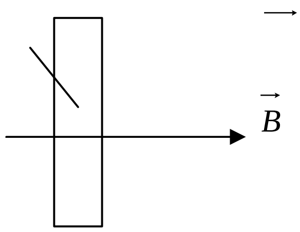
dA

B

dA

الشكل (12-14): عنصر المساحة dA باستقامة ا□ال المغناطيسي.

فالحالة التي يكون فيها الفيض المغناطيسي موجبا تشير إلى أن خطوط القوة المغناطيسية في اتجاه الخروج من السطح، أما إذا كانت إشارة الفيض المغناطيسي سالبة فهذا يشير إلى أن الخطوط داخلة إلى السط ح. وفي كلتا الحالتين فان المعادلة (12-5) تشير إلى الحالة التي يكون فيها ا□ال المغناطيسي منتظما وعموديا على السطح وبكلا م آخـ ر المتجـه $\vec{dA}$ يكون موازيا لمتجه ا□ال المغناطيسي $\vec{B}$ كما في الشكل (12-15).



dA

الشكل (12-15): $\overrightarrow{dA}$ يكون موازيا لاتجاه ا□ال المغناطيسي $\overrightarrow{B}$.

في النظام الدولي SI للوحدات يع□بر□ عن الفيض المغناطيسي بوحدة الويبر (Wb)

نسبة إلى الفيزيائي الألماني ويبر W. E. Weber (1804-1891). ويتضح من المعادلة (12-5) أن الويبر يعادل تس لا.متر مر بع(Tm^2) وعلى هذا نجـد أن شـدة ا□ـال المغناطيسي الذي يقاس بوحدة التسلا يكون له وحدة مكافئة أخرى هي الـويبر لكـل مترمربع (Wb/m^2). وفي نظام آخر يسمى بالنظام الكهرومغناطيسي يع□بر□ عن الفيض المغناطيسي بوحدة الماكسويل عندئذ يكون لشدة ا□ال المغناطيسي تعـبير آخـر وهـو الكاوس، وهي عبارة عن ماكسويل لكل سنتمتر مربع (M/cm^2). وأخيرا تسمى أحيانا شدة ا□ال المغناطيسي بكثافة الفيض المغناطيسي أو كثافة التدفق المغناطيسي طالما أن شدة ا□ال المغناطيسي في نقطة ما تساوي الفيض في وحدة المساحة.

مثال (12-3)

سطح مستوي مساحته $600\,cm^2$ يخترقه مجال مغناطيسي منتظم $B=0.4T$.

جد الفيض المغناطيسي المخترق للسطح. 1- إذا كان ا□ال يؤثر بصورة عمودية على السطح، 2- إذا كان اتجاه ا□ال يصنع زاوية مقدارها 60^o مع اتجاه السطح.

الحل :

من المعادلة (12-4) نجد مقدار الفيض المغناطيسي المخترق للسطح في الحالتين:

-1

$$\varphi=BA\cos 0$$

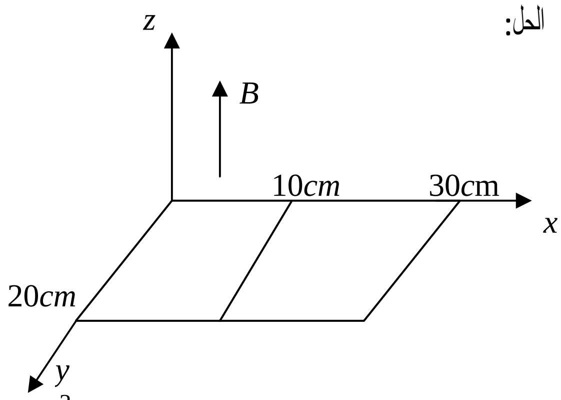
$$=0.4\times600\times10^{-4}\times1=24\times10^{-3}\ Wb$$

-2

$$\varphi= BA\cos 60$$

$$= 0.4\times600\times10^{-4}\times0.5$$

الحل:



$$\varphi = \int B dA \cos 0$$

$$\varphi = \int B dA$$

dxdy

$$\varphi = \int_0^{0.2}\int_{0.1}^{0.3} (3x^2 + 2) \quad = 12\times10^{-3} Wb$$

مثال (4-12)

الشكل (12-16) ا□ال المغناطيسي يوازي المحور z وتتغير شدته وفق المعادلة $B = (3x^2 + 2)T$. جد الفيض المغناطيسي المخترق للمستطيل المبين في الشكل.

2.0 33.03.0 الشكل (16-12).

$$\varphi = \int_0 (x \big| 0.1 + 2x \big| 0.1) dy$$

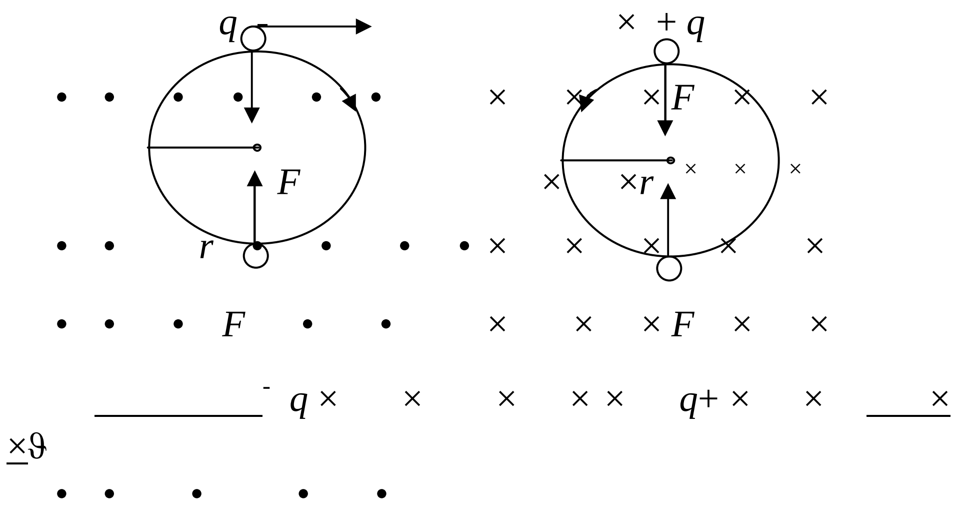
$$\varphi = \int_0^{0.2} (0.3)^3 - (2\times0.3 - 2\times0.1) \quad dy$$

$$\varphi = 0.0852 Wb$$

(12-7) حركة جسيم مشحون داخل مجال مغناطيسي منتظم Motion of Charged Particle in Organized Magnetic Field

يمثل الشكل (12-17) حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم B، في a من الشكل الجسيم يحمل شحنة موجبة $(+q)$، و فـي b يحمل شحن ـة سالب ـة قدرهـا($-q$)، وقد قذفا الاثنين بسرعة واحدة ϑ وباتجاه عمودي على ا□ال B.

• • • • • • ϑ × × × ×



-b- -a-

B مقتربا من القارئ B بعيدا عن القارئ

الشكل (12-17): دوران جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم.

من خلال الشكل نجد أن كلا الج سيمين المشحونين يتأثر بقوة مقدارها $q\vartheta B$ تكون دائما عموديا على كل من ϑ وB . وكما هو معروف من قوانين الميكانيك الكلاسيكي فان هذه القوة تعمل على تغيير اتجاه سرعة الجسيم المتأثر ◻ا فقط دون ت غيير قيمتها. وهكذا فمسار الحركة لكلا الجسيمين يكون دائريا طالما أن سرعة الجسيم المماسة للمسار تكون عمودية على خطوط ا◻ال . ومن الملاحظات الجديرة بالذكر هو أن الجسيم سالب الشحنة يدور بعكس اتجاه دوران الجسيم موجب الشحنة أي باتجا ه حركة عقارب الساعة، ويرجع ذلك الاختلاف إلى أن القوة المغناطيسية المؤثرة على الجسيم سالب الشحنة تكون بعكس اتجاه القوة المؤثرة على الجسيم مو جب الشحنة، وهذا ما تشير إليه طريقة اختيار اتجاه القوة المؤثرة على الجسيم بواسطة قاعدة اليد اليسرى سالفة الذك ر، وعلى هذا أصبح لدينا طريقة حاسمة لتعيين نوعية شحنة الجسيم، هي سالبة أو موجبة ،إذ يش ّكِّ ل اتجاه انحناء مسار الجسيم المشحون في

ا□ال المغناطيسي دليلا على ذلك. ويمكن حساب نصف قطر دوران الجسيم r بالطريقة الآتية :

لنعتبر الجسيم $(+q)$ في الشكل (16 a-12). m كتلته و ϑ سرعته، والقوة المغناطيسية المركزية $q\vartheta B$ تكون مساوية للقوة الطاردة $\frac{m\vartheta^2}{r}$، أي أن :

$$\frac{m\vartheta^2}{r}=q\vartheta B$$

ومنها

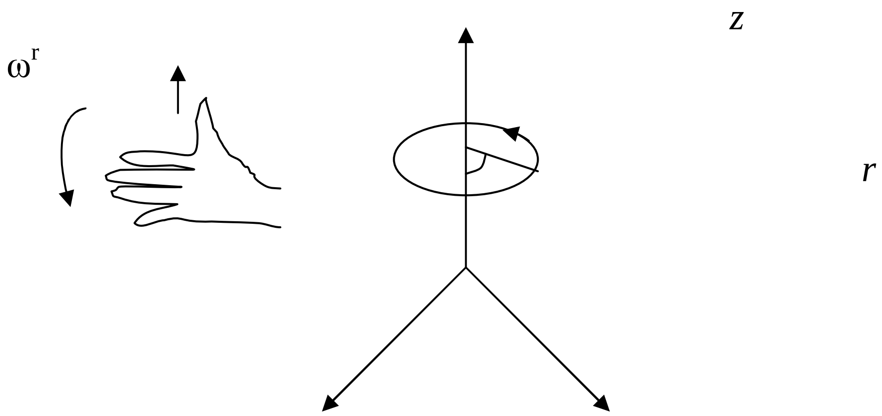
$$r=\frac{m\vartheta}{qB} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6\text{-}12)$$

من هذه المعادلة نستنتج أ ن r يعتمد على سرعة الجسيم المقذوف إلى مجال مغناطيسي منتظم، على افتراض أن قيمة ا□ال B وكتلة الجسيم m وشحنته q ثابتـ ة. وبدلالـة السرعة الزاوية ω يمكن كتابة المعادلة (6-12) على الوجه الآتي:

$$\omega=\frac{\vartheta}{r}=\frac{qB}{m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7\text{-}12)$$

ومن المهم أن نذكر أن اتجاه السرعة الزاوية يكون عادة عموديا على مستوي الحركة ويعين باس تعمال قاعدة الكف الأيمن، وذلك بلف أصابع اليد اليمنى الأربعة باتجاه حركة الج سيم على الدائرة، فيشير الإ□ام إلى اتجاه السرعة الزاويـة كمـا في الـشكل

.(18-12)



θ

y x

الشكل (12-18) : تحديد اتجاه السرعة الزاوية

أصبح بإمكاننا معرفة عدد الدورات التي يعملها الجسيم في الثانية الواحـدة f حسب المعادلة:

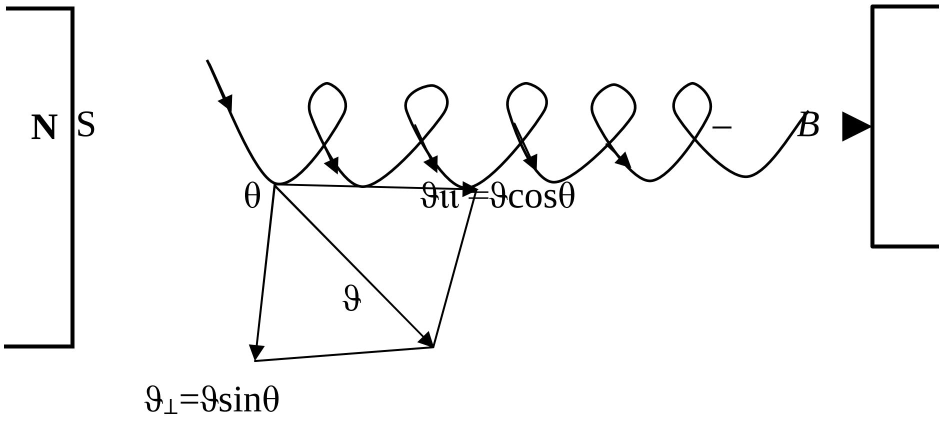
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{qB}{2\pi m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(8\text{-}12)$$

ومن هذه المعادل ة يتضح أن f مقدار ثابت لا يعتمد على السرعة فالجسيمات الـسريعة تدور في دوائر كبيرة بينما الجسيمات البطيئة تعمل دوائر صغيرة حيث أن نصف قطـر الدوران r يتناسب طرديا مع السرعة ϑحسب المعادلة (6-12).

لنأخذ حالة جسيم مقذوف باتجاه غير عمودي عل ى ا□ا ل. عندئذ سيتحرك في مدار لولبي (شكل 12-19) المقطع العرضي له دائرة نصف قطرها يعطى بالمعادلة:

$$r = \frac{m\vartheta}{qB}\sin\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots....(9\text{-}12)$$

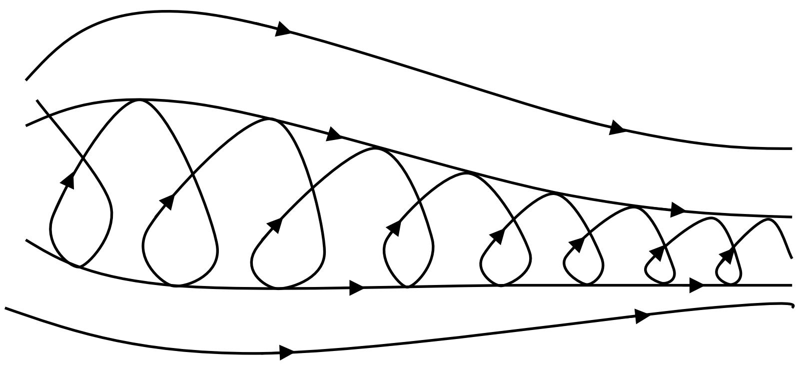
إذ أن θ هي الزاوية المحصورة بين اتجا ه B و ϑ ، و$\vartheta\sin\theta$ هـي مركبـة الـسرعة العمودية على ا□ال المغناطيسي المسؤولة عن تغيير اتجاه حركة الشحنة فقط دون قيمتها.



الشكل (12-19) : الحركة اللولبية لجسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم .

(12 - 8) حركة جسيم مشحون داخل مجال مغناطيسي غير منتظم
Motion of Charged Particle in-non-organized Magnetic Field

يبين الشكل(12-20) حركة جسيم مشحون داخل مجال مغناطيسي غير منتظم.



الشكل (12-20) : مسار لولبي لجسيم مشحون في مجال مغناطيسي غير منتظم.

أن نصف قطر المسار اللولبي الذي يسلكه الجسيم داخل ا□ال المغناطيسي سوف يتناقص كلما تقدم الجسيم باتجاه تزايد شدة ا□ال

المغناطيسي، وهذا يعني حصول تقارب في لفات المسار اللولبي أكثر فأكثر كلما تقدمنا نحو منطقة تناقص المجال المغناطيسي. أن ذلك يمكن استبيانه بالنظر إلى المعادلة (6-12)، حيث r (نصف قطر المسار اللولبي) تتناسب عكسيا مع B (شدة المجال المغناطيسي) وطرديا مع سرعة الجسيم ϑ ، وهذا يعني أن ديناميكية حركة الجسيم داخل المجال يصاحبها نقصان في مركبة السرعة الأفقية الموازية للمجال، ومتى ما اشتد المجال المغناطيسي إلى الحالة التي يكون فيها سرعة الجسيم قد انعدمت أي أصبحت صفرا، أنعكس الجسيم وأصبح يتقدم بالاتجاه المعاكس. وهكذا نستنتج أن المجال المغناطيسي عندما تزداد شدته يبدأ العمل كعاكس للجسيمات المشحونة ويدعى بالمرآة المغناطيسية Magnetic Mirror.

مثال (5-12)

تحرك بروتون من السكون خلال فرق جهد كهربائي مقداره $4\times10^{5}\,V$ ثم دخل بصورة عمودية في مجال مغناطيسي منتظم $B=0.4T$ ، جد نصف قطر دوران البروتون وسرعته الزاوية والتردد.

الحل :

$$r = \frac{m\vartheta}{qB}$$

وبالتعويض عن ϑ من معادلة الطاقة الحركية للبروتون وهي :

$$\frac{1}{2} m \vartheta^2 = qV$$

نحصل على :

$$r = \frac{m}{qB}\left(\frac{2qV}{m}\right)^{1/2}$$

1

$= 1.67 \times -1019 -27 \square \square 2\times1.6\times10-19 \times -274\times105 \square 2$

$\square$

$1.6\times10 \times0.4 \square \quad 1.67 \times10 \quad \square$

$= .0228m$

$= 22.8cm$

من المعادلة (12-7) نحسب سرعة البروتون الزاوية وهي:

$$\omega= \frac{qB}{m}$$

$$\frac{1.6 \times10^{-19} \times 0.4}{1.67 \times10} = \quad -27$$

$= 3.8 \times10^{7} \, rad / \sec$

ومن المعادلة (12-8) نحسب تردد البروتون f وهو:

$$f = \frac{qB}{2\pi m} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 0.4}{2\pi\times1.67 \times 10^{-27}}$$

$= 60 .99 \times 10^{5} \, HZ$

$= .6099 \, mHZ$

مثال (12-6)

بروتون يتحرك بانطلاق $2\times m/\sec 10^5$ داخل من طقة مجال مغناطيسي منتظم B=0.01T وباتجاه يصنع زاوية مقدارها 60^o مع اتجاه ا□ا ل. جـ د:1- نـصف قطـر الدوران، 2- المسافة التي يقطعها البروتون باستقامة ا□ال خلال مدة الدورة الواحدة.

الحل :

١- من المعادلة (12-9) نجد نصف قطر دوران البروتون وهو :

$m\vartheta \quad r \quad =$

$\underline{\quad}\sin$

60

qB

$$= \frac{1.67 \times10^{-27} \times 2 \times10^{5}}{-19} \quad \frac{\sqrt{3}}{} \times = .01807 \, m = 18 .07 \, cm$$

1.6 ×10 × 0.01 2

$x=\vartheta_{11}T$

$\vartheta_{11}=\vartheta\cos\theta=2\times10^{5}\cos60$

2− = 5

2×10 ×0.5

$=10^{5}m/\text{sec.}$

1 1 2πm

$T = = = f\ qB / 2\pi m\ qB$

$$=\frac{2\times3.14\times1.67\times10^{-27}}{1.6\times10^{-19}\times0.01}$$

$= 6.558\times10^{-6}\ \text{sec}$

$\therefore\ x=10^{5}\times6.558\times10^{-6}$

$= 0.655$

The Cyclotron (12- 9) السايكلوترون

من التطبيقات المثيرة للاهتمام هو اس تعمال الجسيمات المشحونة كالايونات أو البروتونات أو الالكترونات ذات الطاقات العالية جدا في التعرف على بعض التفاصيل الداخلية لتركيب النواة الذرية عن طريق قذفها ذه الجسيما ت. وقد أثار هذا الموضوع اهتمام علماء ثلاثينيات القرن العشرين، حيث كان من الأعمدة البحثية الفعالة في مجال الدخول إلى عالم الذرة.

في عام 1930 تمكن الفيزيائي الأمريكي لورنس (Lorentz) من تصميم جهاز سمي بالسايكلوترون تم صنعه في جامعة كاليفورنيا، تستعمل فيه القوة المغناطيسية للتحكم بمسار حركة الجسيمات المشحونة المتأثرة باال المغناطيسي المسلط والحصول على طاقات عالية للغاية لهذه الجسيمات، كما يوضح عمل الجهاز كيفية اس تعمال المعادلات (12-6) و(12-7) عمليا. يبين الشكل (12-21) رسما تخطيطيا لهذا الجهاز تظهر فيه الأجزاء الأساسية للسايكلوترو ن، حيث يتكون قلب الجهاز من زوج

من الحِ ج□ر□ المعدنية D_1 و D_2 المفرغة، تفصل هما فسحة مفرغة من الهواء أيضا. ويسلط علـى الحجـرتين وبشكل عمودي مجال مغناطيسي منتظم ينتج عن قطبين مغناطيسي ين. تربط الحجرتان إلى مصدر فرق جهد متناوب عالي التردد يصل إلى عدة ملايين ذبذبة في الثانية و□ذا تحصل الحجرتان D_1 و D_2 على شحنات سالبة وموجبة بشكل متناو ب. ت نبعث الجسيمات المشحونة (البروتونات) من المصدر S الكائن في مركز الفسحة بين الحجرتين. فإذا فرضنا أن هذه الجسيمات انبعثت من مصدرها في الوقت الذي كانت فيه الحجرة D_1 موجبـة الشحنة، عندئذ فان كل جسيم سوف يتعجل عبر ا لفسحة بين الحجرت ين بواسطة قـوة كهربائية تؤثر عليه بسبب ا□ال ا لكهربائي المتولد في ا لفسحة بين قطبي مصدر الفول تيـة المتناوبة، داخلا الحجرة D_2 سالبة الشحنة بسرعة معينة، وبما أن ا□ال المغناطيسي المسلط على الجهاز هو بمستوى سطح الحجرتين، لذا فان دخول الجسيم إلى D_2 سيكون عموديا على اتجاه ا□ال المغناطيسي، وستؤثر عليه قوة مغناطيسية تجعله ينجر في دائرة ويخرج من الغرفة D_2 في نفس اللحظة تماما التي تنعكس فيها الفولتية فينجذب إلى الغرفة D_1 بسرعة اكبر ويدور في دائرة اكبر (وهذا ما جرى الحديث عنه في البند 12-7 وهو تحقيق عملي للمعادلة 12-6). وهكذا تتكرر هذه العملية عدة مرات وفي كل م □رة □يع □جل الجسيم المشحون إلى سرعات اكبر فاكبر وكذلك نصف قطر دائرة دوران ه. وفي النهاية □تحر□ف □الجسيمات عن محيط السايكلوترون بواسطة مجال مغناطيسي آخر لتخرج على هيئة حزمة ذات طاقة عالية نحو الخارج من خلال المنفذ y □دف استعمالها في قصف هدف محدد.

ومن المعادلة (12-6) نجد:

$$\vartheta = \frac{qB}{m} r$$

وبما أن أقصى مسار دائري تستطيع أن تسلكه الجسيمات المشحونة بقدر نصف قطر يعادل نصف قطر السايكلوترون R لذا فان أقصى سرعة يمكن الحصول عليها للجسيمات هي:

$$\vartheta_{max} = \frac{qB}{m} R \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(10\text{-}12)$$

وان أقصى طاقة حركية تكتسبها هذه الجسيمات هي:

$$E_K = \frac{1}{2} m\vartheta_{max}^2 = \frac{B^2 q^2}{2m} R^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\text{..(11-12)}$$

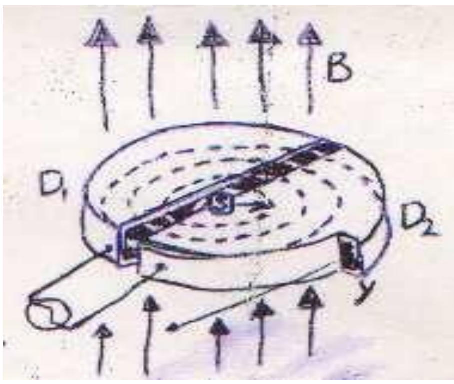
وتؤكد تجربة السايكلوت رون حقيقة أن الزمن الذي تستغرقه الجسيمات في إنجـا ز دورة كاملة هو نفسه لا يختلف أن كانت الدورة كبيرة أو صغيرة، بمعنى أن هذا الزمن المنجز يفترض أن لا يعتمد لا على سرعة الجسيمات ولا على نصف قطر المس ار الدائري فالزمن الدوري T هو:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{\vartheta} = \frac{2\pi r m}{qBr} = \frac{2\pi m}{qB} \qquad \ldots\ldots\text{(12-12)}$$

وهذا تحقيق عملي لما جاء في المعادلة (8-12). حيث التردد f هو:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

أخيرا نذكّر بملاحظة مهمة وهي يجب أن لا يذهب البعض إلى التفكير في محاولة زيادة نصف قطر المسار الدا ئري للجسيمات من خلال زيادة السرعة المكتسبة من قبل هذه الجسيمات ،وبالتالي الوصول إلى جسيمات ذات طاقة عالية غير محدود ة. أن هذا لا يمكن تقبله عمليا وذلك لان اقتراب سرعة الجسيمات من سرعة الضوء يصاحبها زيـادة مطردة في كتلتها (كما جاء ذلك في فرضيات النظرية النسب ية الخاصة لأينشتاين) ،وهذا يؤدي إلى عدم السيطرة عليها من قبل المجال الكهربائي المتغير أثناء وجودها داخل الفسحة بين قطبي مصدر الفولتية وكنتيجة لذلك لا يحدث أي زيادة في السرعة وك ذلك في الطاقة.



مثال (7 12 -)

لوحظ أن جسيمات ألفا ت صنع دائرة نصف قطرها $4.m0$ قبل أن تخرج من جهاز السايكلوترون، فإذا علم أن تردد الفولتية المس تعملة هو $._H z_{10}{}^7$ احسب :1-شدة ا ال المغناطيس ي،2-سرعة جسيمات ألفا عند خروجها من الجها ز،3- طاقة جسيمات ألفا بوحدات الإلكترون فولت.علما بان كتلة جسيم ألفا هي $003.aum4$.
الحل:

-1

من المعروف أن نواة النظير الثاني لعنصر الهليوم $2_{He}{}^4$ يطلق عليها جسيمة ألفا وهي تحتوي على بروتونين و نيوترونين ويدور حولهما إلكترونان، لذا فان شحنة جسيمة ألفا تساوي ضعف شحنة الإلكترون أو البروتون، أي:

$$q=2\times1.6\times10^{-19}C=3.2\times10^{-19}C$$

ومن المعروف أيضا أن وحدة الكتلة الذرية aum تعادل $16604\times10^{-}kg^{27}$.. لذا فان كتلة جسيمة ألفا المعطاة في المثال تعادل :

$$.4003\times.16604\times10^{-27}kg = 6.64658\times10^{-27}kg.$$

وبتطبيق المعادلة:

$$B = \frac{2\pi\ fom}{q}$$

نجد شدة ا ال المغناطيسي، أي:

$$B = \frac{2\pi\times10^7 \times .664658 \times10^{-27}}{3.2 \times10^{-19}}$$

$$= 13.05 \times10^{-1}T$$

$$= 1.3T$$

-2

$$\vartheta_{max} = \frac{BqR}{m} = \frac{1.3\times3.2\times10^{-19}\times0.4}{6.64658\times10^{-27}}$$

$$= 25\times10^{6}\,m/\sec$$

-3

$$E_K = \frac{1}{2} m\,\vartheta_{max}^2 = \frac{B^2 q^2 R^2}{2m}$$

$$E_K = \frac{1.3\times(3.2\times10^{-19})^2\times0.4^2}{2\times.664658\times10^{-27}}$$

$$E_K = \frac{1.69\times10.24\times10^{-38}\times0.16}{13.29316\times10^{-27}}$$

$$E_K = 20.8294792\times10^{-13}\,J$$

$$E_K = \frac{20.8294792\times10^{-13}}{1.6\times10^{-19}} = 13\times10^{6}\,eV$$

حيث $1eV = 1.6\times10^{-19}\,J$

(12- 10) القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيارا كهربائيا

بين العالم اوريستد عام 1819 التأثير المغناطيسي لسلك يمر به تيار كهربـائي يؤثر على إبرة مغناطيسية موضوعة بجوار ه. أما العا لم ميشي ل فاراداي فقد بـ ين التـأث ير المعاكس لهذه الظاهرة وهي أن المغناطيس من خلال مجاله يمكن أن يؤثر بقوى مغناطيسية متساوية على السلك الموص ل. ولدراسة هذا الموضوع علينا أن نبدأ باس تعمال ما توصلنا إليه فيما يتعلق بالقوة المغناطيسية المؤثرة على جسيم مشحون يتحر ك بحريـة في مجـال مغناطيسي. ولكي نفعل ذلك نقيم تجربة تمكّ ن من تحقيقها فاراداي، أستعمل فيه ا سلكا مستقيما طوله L ومساحة مقطعه العرضي A ضمن دائرة مكونة من بطارية ومفتاح وقد وضع

السلك بصورة عمودية على مجال مغناطيسي خ ارجي منتظم بين فكي مغنـاطيس دائمي. فعندما ت كون دائرة السلك مفتوحة لا يبدي ا□ال المغناطيسي أي تـأث ير علـى السلك كما في الشكل (12a-22). ولكن عند غلق الدائرة يسري تيار من الـشحنات السالبة في السلك ويؤثر ا□ال عليه بقوة مغناطيسية تدفعه إلى الأسفل ⊗ كما في الشكل (12-b 22). وفي حالة عكس الفولتية ينعكس اتجاه التيار في السلك ليندفع إلى الأعلى Θبتأثير قوة ا□ال المغناطيسي كما في الشك ل (12-22c). نستنتج مما تقدم أن القوة المغناطيسية لا تؤثر على السلك نفسه إنما على الشحنات المتحركة داخله وبالتالي السلك.

لنفرض أن عدد الالكترونات المتحركة في وحدة الحجم من السلك هو n وان كلا من هذه الالكترونات تتأثر بقوة مغناطيسية يمكن إيجادها حسب المعادلة (12-1):

$$F = e\vartheta_d B$$

$$F = e\left(\frac{I}{neA}\right) B$$

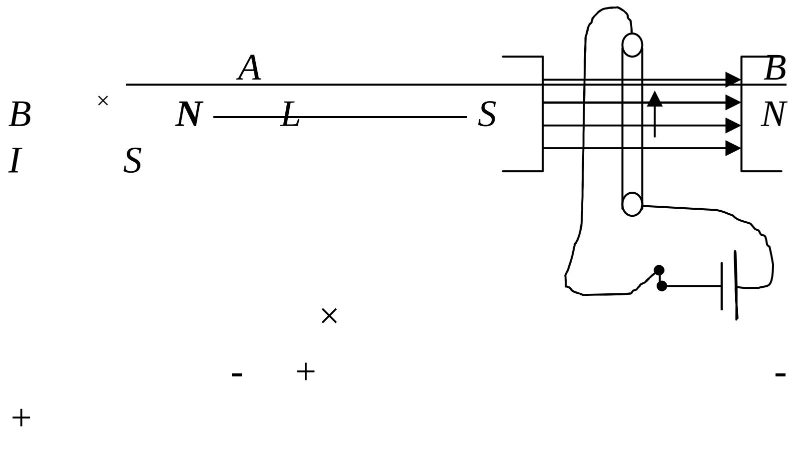
أما محصلة القوة الكلية التي تؤثر على جميع الالكترونات الطليقة في السلك فهي :

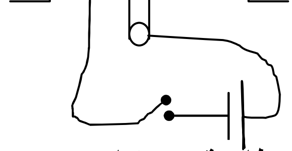
$$F = Nf = (nAL)\,\frac{eIB}{neA}$$

حيث $N=nAL$ وهو العدد الكلي للالكترونات الطليقة التي يحويها السلك بأكمله.

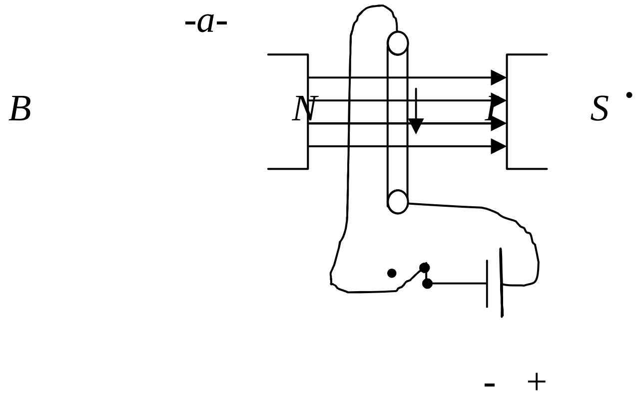
وبإجراء الاختصارات نجد القوة المؤثرة على السلك الذي طوله L وهي:

$$F = ILB \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(12\text{-}12)$$





-a- -b-



-c-

شكل (12-22): a-دائرة السلك مفتوحة ولا تأثير للقوة المغناطيسية، b-دائرة السلك مغلقة والقوة المغناطيسية تدفع السلك إلى الأسفل⊗، c- دائرة السلك مغلقة والقوة المغناطيسية تدفع السلك إلى الأعلى بسبب عكس أقطاب البطارية.

والآن لنأخذ الحا لة التي يكون فيها السلك وضع بزاوية مقدارها θ مع اتجـاه ا□ال المغناطيسي الخارجي. عندئذ تكتب المعادلة (12-12) بالصورة :

$$L = IBL \sin\theta \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(13\text{-}12)$$

وعند استعمال جبر المتجهات تكتب المعادلة (12-13) على النحو الآتي:

$$\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B}) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(14\text{-}12)$$

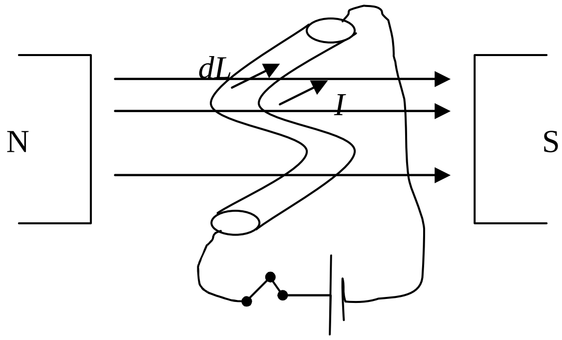
حيث $\vec{L}$ يشير إلى متجه الإزاحة الذي ينطبق على السلك باتجاه التيار I أمـا اتجاه القوة F فيمكن تحديد □ه بتطبيق قاعدة الكف الأيس ر على الضرب ألمتجهي للكميتين B و L مع الانتباه إلى أن الإصبع الوسطى يشير إلى اتجاه L.

في الحالة التي يكون فيها السلك غير منتظم كما في الشكل (12-23) يكون:

$$\vec{dF} = I(\vec{dL} \times \vec{B})$$

$$\therefore \vec{F} = I\int_a^b d\vec{L} \times \vec{B} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(12\text{-}15)$$

وهي القوة المغناطيسية الكلية المؤثرة على كل السلك .

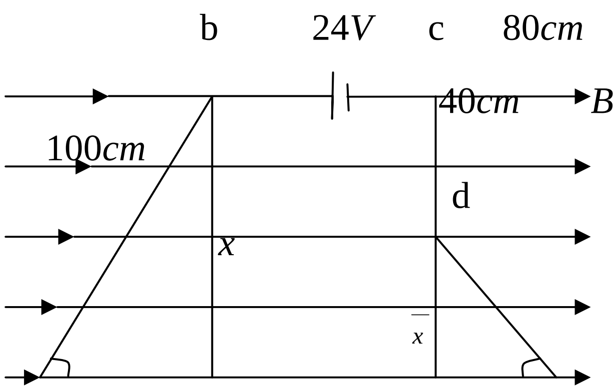


الشكل (12-23): تأثير القوة المغناطيسية على سلك غير منتظم يحمل تيارا كهربائيا.

مثال (12-8)

في الشكل (12-24) الدائرة الكهربائية واقعة في مستوي الصفحة والمجال المغناطيسي B=0.2T منتظم يؤثر في مستوي الصفحة وبالاتجاه المبين، جد مقدار واتجاه القوة على كل سلك علما بان مقاومة الدائرة تساوي 8Ω.

الحل :



53 o

45^o a

e . (^{24}-^{12}) الشكل

$F_{ab} = IBL \sin\theta$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{24}{8} = 3A$$

$\therefore F_{ab} = 3\times 0.2 \times 1\times \sin 53 = 0.48\ N$

باتجاه عمودي على الصفحة ومتجه نحو القارئ

وبسبب أن الزاوية ^{0} =θ وبالتالي ^{0} = 0sin فأن $F_{bc} = F_{ae} = 0$

$F_{cd} = IBL\sin\theta$

$= 3\times0.2\times0.4\sin90$

$= 0.24N$

باتجاه عمودي على الصفحة ومتجه بعيدا عن القارئ

$F_{de} = IBL\sin\theta$

x sin53 = _⇒

$x = 0.798m$

1

$\bar{x} = x - 0.4 = 0.798 - 0.4 = 0.398m$

$$\sin 45 = \frac{\bar{x}}{ed}$$

$$\therefore ed = \frac{0.398}{0.707} = 0.562\,m$$

$\therefore F_{ed} = 3\times0.2\times0.562 \times\sin 45$

$= 0.24\ N$

باتجاه عمودي على الصفحة ومتجه بعيدا عن القارئ.

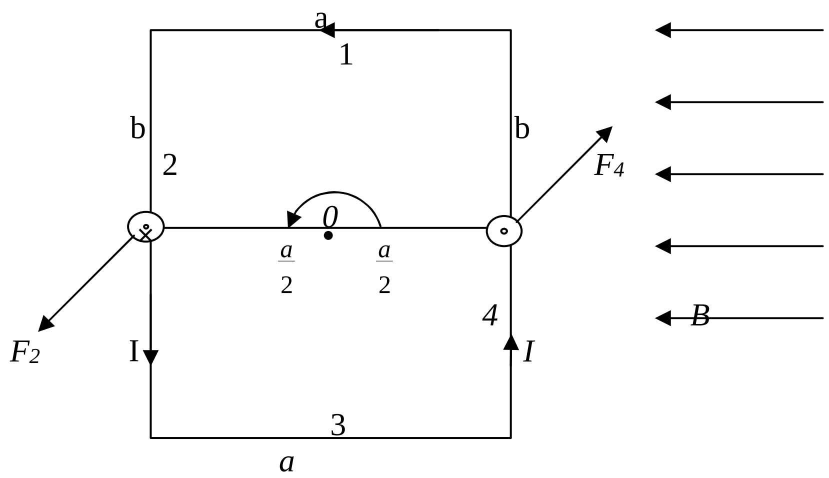
(^{12}- ^{11}) العزم المغناطيسي لملف

Magnetic Moment of Coil

نتأمل مل فا مستطيل الشكل يتكون من لفة واحدة، يحمل تيارا I وموضوعا في مجال مغناط يس منتظم موازي لمستوي الملف كما مبين في الشكل (12-25): الـضل عان 1و3 المؤش ران بالحر ف a لا يتأثران بقوة اال المغناطيسي كوما مـوازيين للمجـال المغناطيسي الخارجي وهذا واضح من خلال تطبيق المعادلة (12-13) وفق ما يأتي:

$$F = IBL\sin\theta$$

حيث الضلع 1 يصنع زاوية 0 مع اال المغناطيس ي، أما الضلع 3 فيصنع زاوية 180 مع اال المغناطيسي وعليه فان:



الشكل (12-25): العزم الدوراني المؤثر على ملف مستطيل الشكل لحالة مجال مغناطيسي موازي لمستوي الملف.

$$F = F_1 = F_3 = IBa\sin(0 or 180) = 0$$

أما الضل عان 2 و ٤ المؤش ران بالحرف b فيتأثران بقوة اال المغناطيسي إذ كل منـهما يصنع زاوية قائمة مع اتجاه اال المغناطيسي الخارجي، لذا فان القوة المؤثرة على كل من هذين الضلعين تساوي:

وحسب قاعدة ا لكف الأيسر ستكون القوتان المؤثرتان ع لى الـضلعين 2 وباتجاهين متعاك سين. فالقوة المغناطيسية F_2 المؤثرة على

$F = F_2 = F_4 = IBb\sin 90 = IBb$

$$\tau_{max} = F_2 \frac{a}{2} + F_4 \frac{a}{2} = IbB \frac{a}{2} + IbB \frac{a}{2} = IbaB \quad \ldots.(16\text{-}12)$$

حيث $\frac{a}{2}$ تمثل ذراع العزم حول o بكلتا القوتين F_2 وF_4.

لكن ba تساوي مساحة الملف المستطيل (A) لذا يمكن كتابة المعادلة أعلاه بالصيغة :

$$\tau_{max} = IAB \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(17\text{-}12)$$

أن τ_{max} هي أقصى قيمة للعزم الدوراني يمكن الحصول عليها فقط في الحالة التي يكون فيها ا□ال المغناطيسي موازيا لمستوي الملف. ومن المفيد أن نذكر بأنه في حالة عكس اتجاه التيار الكهربائي في الملف فان اتجاه القوى F_2 و F_4 سينعكس، وان اتجاه دوران الملف سيكون باتجاه حركة عقارب الساعة.

لنأخذ الحالة التي يكون فيها ا□ال المغناطيسي المنتظم يصنع زاوية $\theta < 90$ مع العمود المقام على مستوي ا لملف (شكل 12-26). من الملائم أن نختار B عمودي على الضلعين 1 و 3 عندئذ تكون القوة المغناطيسية المؤثرة على كل من هذين الضلعين هي :

$F = IaB$

في الحالة المعطاة تكون محصلة القوتين المتقابلتين F_2 و F_4 صفرا ،و لا يكون لهما تـأثير لأ□ما قو تان متقابل تان تعملان على خط العمل نفس ه.

الضلع 2 تكون باتجـاه نحـو الأسفل، أما القوة المغناطيسية F_4 المؤثرة على الضلع 4 تكون باتجاه نحو الأعلـى كمـا معلم ذلك على الرسم بالعلامة ⊗ و Θ على التوالي. وعلى الرغم من بقاء محصلة القوة المؤثرة على الملف صفرا□، فان القوتين المتعاكستين F_2 و F_4 وبسبب كو□ما لا تعملان على خط العمل نفسه سوف تجعل الملف تحت تأثير عزم دوراني حول o يجعل الملف يدور باتجاه عكس عقارب الساعة. أن قيمة هذا العزم ألدوراني τ_{max} يعطى بالمعادلة:

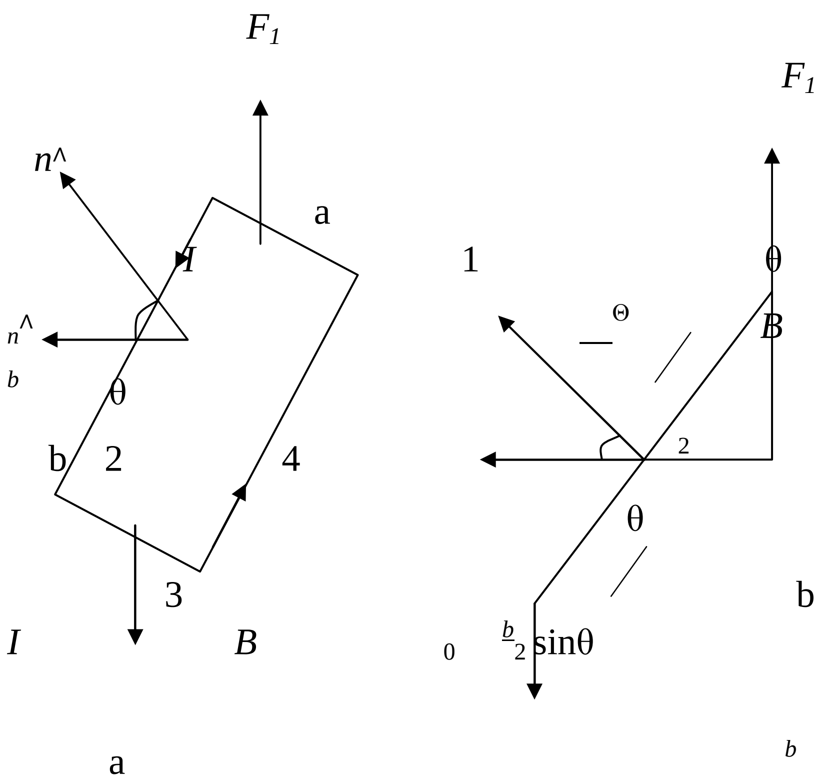
في حين أن القوتين F_1 و F_3 تشكلان ما يدعى بالمزدوج Couple الذي يسبب عزم دوراني حول أي نقطة.

ومما يلاحظ من الرسم التوضيحي في الشكل (^{12}-b ^{26})، حيث تظهر فيه القوتان F_1 و F_3 المؤثرتان على الضلعين ^{1} و ^{3}، أن ذراع العزم للقوة F_1 حول o هو $\frac{b}{2}\sin\theta$ ، وبطريقة مماثلة فان ذراع العزم للقوة F_3 حول o هو $\frac{b}{2}\sin\theta$ أيضا. عندئذ تكون محصلة العزم الدوراني حول o هي :

$$\tau = F_1\frac{b}{2}\sin\theta + F_3\frac{b}{2}\sin\theta$$

$$\tau = IaB\left(\frac{b}{2}\sin\theta\right) + IaB\left(\frac{b}{2}\sin\theta\right)$$

$$\tau = IabB\sin\theta = IAB\sin\theta \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1^8\text{-}12)$$



2

⊕

F_3 F_3

-a- -b-

(الشكل [12]-[26]): العزم الدوراني المؤثر على ملف مستطيل

مغناطيسي يؤثر بزاوية θ على مستوي الملف . الشكل لحالة مجال

هذه النتيجة تدل على أن أقصى قيمة للعزم الدوراني يمكن الحصول عليها عندما هذه النتيجة تدل على إن أقصى قيمة للعزم ألدوراني يمكن الحصول عليها عندما

90 =θ ويساوي صفرا عندما 0 =θ . ويمكن التعبير عن العزم الدوراني في المعادلـة

([12]-[18]) بصيغة جبر المتجهات بالمعادلة الآتية :

$$\vec{\tau} = I\,\vec{A} \times \vec{B} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1^9\text{-}12)$$

ولو كان الملف يتكون من N من اللفات فان العزم يتضاعف بقدر عدد اللفات ويصبح:

$$\tau = (NIA)B\sin\theta \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(2^0\text{-}1^2)$$

ومن المواضيع التي أصبح بمقدور الطالب إدراكها هي أن الملف ا لذي يمر فيـه تيار كهربائي ينشأ حوله مجال مغناطيسي، أي يمكن اعتباره مكافئا لقضيب مغناطيـسي وذلك بان نعتبر احد وجهيه بمثابة القطب الشمالي للمغناطيس والآخر القطب الجنـو بي. وهكذا يمكن أن نعتبر الملف في حالتنا هذه ثنائي قطب مغناطيسي Dipole Magnetic والعزم المغناطيسي له هو (NIA). وعليه فالعزم المغناطيسي M هو:

$$M = NIA \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(21\text{-}12)$$

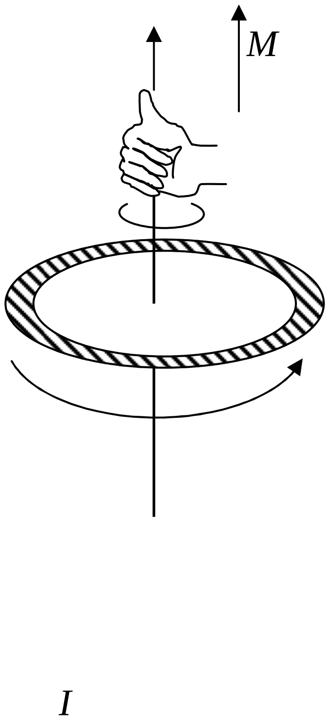
ووحدا□ا هي $amp.m^2$ وعليه فان المعادلة (2^1-0^2) تصبح :

$$\tau = MB\sin\theta \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots...(2^2\text{-}1^2)$$

أو

$$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2^3\text{-}1^2)$$

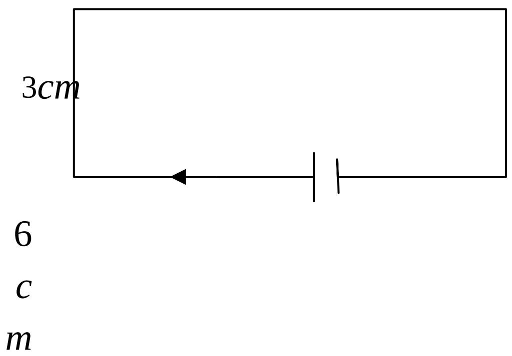
أما تجاه العزم المغناطيسي للملف فيمكن تحديده حسب قاعدة الكف الأيمـ ن حيث تشير لفة الأصابع إلى اتجـاه التيـار والإ□ـا م إلى اتجـاه العـزم المغناطيـس ي (شكل 12-27). المعادلة (12-23) تذكرنا بالمعادلة $\vec{\tau} = \vec{P} \times \vec{E}$ في فصل ا□ـال الكهربائي حيث P تمثل عزم ثنائي القطب الكهربائي.



الشكل (12-27): تحديد اتجاه العزم المغناطيسي .

مثال (12-9)

جد مقدار واتجاه القوة على كل ضلع من الشكل (12-28) عند تسليط مجال مغناطيسي منتظم b



c

B

$=$

0

.

5
T

-١ باتجاه عمودي على
السطح ومتجه نحو القارئ.

-[12]) الشكل a l=2A d
.([28]

$F_{ab} = F_{dc} = IlB \sin\theta$

$= 2 \times 3 \times 10^{-2} \times 0.5 \times \sin 90 = 0.03\ N$

في مستوى السطح نحو الداخل

$F_{bc} = F_{ad} = 2 \times 6 \times 10^{-2} \times 0.5 \times \sin 90$

$= 6 \times 10^{-2} = 0.06\ N$

في مستوي السطح نحو الداخل

-٢ باتجاه يوازي سطح المستطيل ويوازي الضلع ab:

$Fab = Fdc = 0$

$F_{bc} = 2 \times 6 \times 10^{-2} \times 0.5 \times \sin 90 = 0.06\ N$

باتجاه عمودي على السطح نحو القارئ .

$F_{da} = 2 \times 6 \times 10^{-2} \times 0.5 \times \sin 90 = 0.06\ N$

باتجاه عمودي على السطح مبتعدا عن القارئ.

-٣ جد عزم الازدواج في كل حالة.

- في الحالة الأولى:

$\tau = IAB \sin\theta$ $\tau = 2 \times (6 \times 3) \times 10^{-4}$
$\times 0.5 \times \sin 0 = 0$

- وفي الحالة الثانية:

$\tau = 2 \times (6 \times 3) \times 10^{-4} \times 0.5 \times \sin 90$

$= 0.0018\ Nm$

في مستوي السطح وباتجاه $\overrightarrow{bc}$

ملاحظة

حِل المثال أعلاه في حالة أن ا□ال المغناطيسي يؤثر بصورة موازيـة لـسطح المستطيل وباتجاه يصنع زاوية مقدارها ^{30} مع ab؟(يترك الحل للطالب)

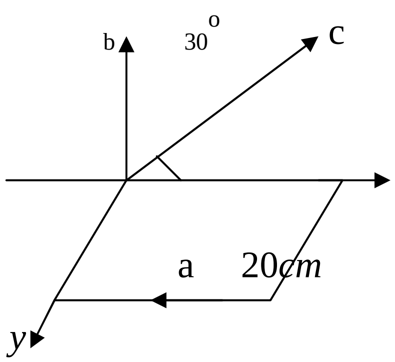
مثال(12_10)

في الشكل (^{12}-^{29}) مستطيل يمر خلال تيار كهربائي ثابت الشدة مقداره 1.2.A سلط على المستطيل مجالا مغناطيسيا منتظما $B=_{0.2}T$ بصورة موازيـة للـسطح $z\ x$ وباتجاه يصنع زاوية مقدارها ^{30} مع السطح $x\ y$ ،جد:

١- مقدار واتجاه القوة على كل ضلع.

٢- عزم الازدواج.

٣- الفيض المغناطيسي خلال السطح.



الشكل (12-29).

الحل:

1- d $1.2A$

$F_{ab}=IBL\sin 90$

−2

$=1.2\times0.2\times20\times10\ \times1=.0048N$

باتجاه يوازي السطح $z\ x$ ويصنع زاوية 06^{o}- مع محور x الموجب.

$F_{cd} = 0.048N$

باتجاه يوازي السطح $z\ x$ ويصنع زاوية 150 مع محور x الموجب.

$F_{bc} = 1.2 \times 0.2 \times 40 \times 10^{-2} \times \sin 30 = 0.048\ N$

باتجاه محور y الموجب.

$F_{ad} = 0.048N$

باتجاه محور y السالب.

٢- من المعادلة (12-18) نجد :

$$\tau = IAB \sin 60$$
$$= 1.2 \times 0.2 \times 0.4 \times 0.2 \times .0866$$
$$= .0016627\ Nm$$

٣- من المعادلة (12-4) نجد:

$$\varphi = BA \cos 60$$

$$= 0.2 \times 0.2 \times 0.4 \times 0.5 = .0008\ Wb$$

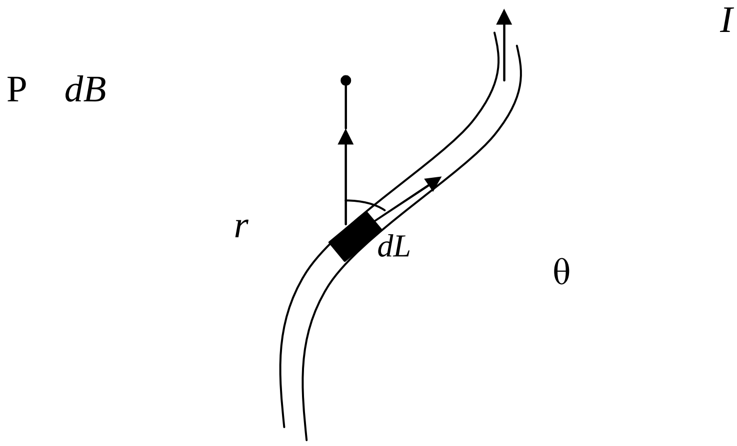
(12 -12) مصادر ا□ال المغناطيسي **Magnetic Field Generators**

درسنا حتى الآن تعريف ا□ال المغناطيسي وميزاته وتأثيره على الشحنات الكهربائية المتحركة في مجاله، وقد ح □ددنا اتجاه ا□ال المغناطيسي بدلالة سلوك البوصلة المغناطيسية. وأن سلكا حاملا للتيار الكهربائي إذا وضع في مجال مغناطيسي يتعرض لقوة مغناطيسية كما يتعرض لها ملف يمر به تيار و يؤثر عليه بازدوا ج. وقد عرفنا بعض الظواهر التي تشير إلى أن التيار مصدر للمجال المغناطيسي الذي يظهر تأثيره على بوصلة بجواره، لكننا لم نتع رض إلى دراسة تفصيلية لمصدر ا□ال المغناطيسي وكيفية حساب ه.وفي هذا البند سندرس قانونين نتعرف من خلالهما على العلاقة بين التيار المار في سلك وا□ال الناتج عنه عند أيه نقطة في الفراغ وهما قانون بايوت - سافارت وقانون أمبير.

(1-12-12) قانون بايوت وسافارت **Biot – Savart Law**

بعد اكتشاف اوريستد التأثير المغناطيسي لسلك يمر فيه تيار عام 1819، قام بايوت وسافارت بعدة تجارب كانت حصيلتها بناء علاقة رياضية بواسطتها يمكن حساب شدة ا□ال المغناطيسي عند أية نقطة في الفراغ حول سلك موصل يحمل تيارا كهربائيا.

لنتأمل سل كا طوله L يسري خلاله تيار كهربائي، وان ا□ال المغناطيسي لعنصر صغير من السلك طوله dL عند نقطة p في الفراغ يكون دائما عمودي على المستوي الذي يضم dL ومتجه الإزاحة r (شكل 12-30). ولقد وجد بايوت وسافارت أن مقدار dB يتناسب عكسيا مع مربع المسافة r وطرديا مع مقدار التيار المار في السلك.



الشكل (12- 30) : ا□ال المغناطيسي الناشئ من سلك حامل للتيار .

ولقد ع □بر العالمان عن هذه النتائج بقانون عرف باسميهما (على الرغم من أن بايوت لوحده صاحب المقترح الأول لهذا القانون) بالصيغة الآتية:

$$dB = k\frac{IdL\sin\theta}{r^2}$$ …………………..(12-24)

وبصيغة جبر المتجهات

$$\overrightarrow{dB} = k\,\frac{I\overrightarrow{dL}\times\vec{r}}{r^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(25\text{-}12)$$

من الصيغة r

الاتجاهية للمعادلة (12-24) يتبين أن θ هي الزاوية المحصورة بـين متجـه الإزاحة r وعنصر السلك dL.

يتبين مما تقدم أن مقدار k ووحدا□ا تعتمد على وحدات مكونـات المعادلـة (12-25) وعلى نوع الوس ط. فإذا كان نظام الوحدات المس تعمل هو النظـام الـدولي للوحدات SI وان الوسط هو الهواء أو الفراغ فان $k=10^{7} Wb/amp.m$.

وغالبا ما يستبدل الثابت k بالمقدار $\frac{\mu}{4\pi}$ حيث μ كميـة ثابتـة تـسمى بالنفوذية المغناطيسية Magnetic Permeability. فإذا كان الوسط هواءً أو فراغا فإ□ا

تأخذ الرمز μ_o وقيمتها $\mu_o = 4\pi k = 12.57\times10^{-7}\frac{Wb}{amp.m}$. وفي دراسـتنا لهـذا الموضوع سوف تكتب المعادلة (12-20) للوسط الهواء أو الفراغ بالشكل الآتي:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{I\,dL\sin\theta}{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots..(26\text{-}12)$$

وبصيغة جبر المتجهات:

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu_o I}{4\pi}\int\frac{\overrightarrow{dL}\times\vec{r}}{r^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(27\text{-}12)$$

واضح من ا لمعادلة (12-26) أن dB المتأتية من الجزء dL تأخذ أعلى قيمة لها في جميع النقاط الواقعة في المستوي (الفضاء) الذي يجمع متجه الإزاحة r بعنصر المسافة dL حيث $\theta = 90$. كما أن dB تساوي صفرا على جميع نقاط محور السلك طالما أن $\theta = 0$.

وبإجراء التكامل dB نحصل على B في النقطة p المتأتية من جميع أجزاء السلك ، أي :

$$B = \int dB = \frac{\mu_o I}{4\pi}\int \frac{dL\ \sin\theta}{r^2}$$ ……....(2^8-12)

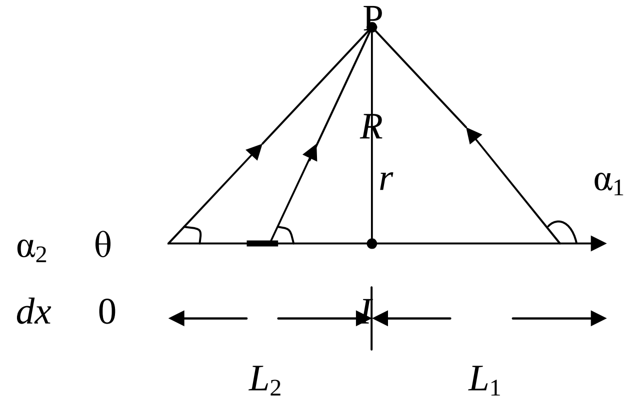
$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \frac{\mu_o I}{4\pi}\int \frac{\vec{dL}\times\vec{r}}{r^3}$$ ……..(29-12)

الآن علينا أن نجد وبدقة ا□الات المغناطيسية المتكونة من تشكيلات مختلفة من التيارات ولنبدأ بإيجاد ا□ال المغناطيسي الناشئ عن تيار يمر في سلك مستقيم طويل.

لو كان ل دينا سلك مستقيم طوله L يسري فيه تيار كهربائي I بالاتجاه الم ـبين بالشكل (31-12). والمطلوب إيجاد B في نقطة p التي تبعد عن السلك مسافة r.

سنفترض عنصرا تفاضليا من السلك طوله dx. نطبق عليه المعادلة (26-12) فنجد:

$$dB = \frac{\mu_o I\ dx\sin\theta}{4\pi\ r^2}$$



الشكل (31-12

.(

واضح أن المتغ يرات في هذه المعادلة هي فقط R و θ و x ، ولإجرا ء التبسيطات الرياضية نجد من الشكل أن:

$$x = -r\cot\theta, R = r\csc\theta$$

$$dx = r\csc^2\theta d\theta$$ وبالتعويض عن هذه المتغيرات في المعادلة أعلاه نحصل على:

$$dB = \frac{\mu_o I \, r\csc^2\theta \, d\theta}{4\pi (r\csc\theta)^2} \sin\theta$$

$$\therefore\ B = \frac{\mu_o I}{4\pi r}\int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \sin\theta \, d\theta = \frac{\mu_o I}{4\pi r}(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1) \qquad \text{...(30-12)}$$

$$\cos\alpha_1 = -\frac{L_1}{(L_1^2+r^2)^{1/2}}, \quad \cos\alpha_2 = \frac{L_2}{(L_2^2+r^2)^{1/2}}$$

وإذا كان السلك طويلا جدا أو أن النقطة P قريبة جدا من محور السلك فان :

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r} \qquad \text{............ (31-12)}$$

الآن لنفترض أننا قمنا بعمل حلقة دائرية من السلك تحمل تيارا I حيث تظهر الدوائر التي تمثل خطوط الفيض المغناطيسي تتزاحم بالقرب من السلك وتتباعد بتباعدها عنه كما موضح ذلك في الشكل (12-32). □يفهم من ذلك أن شدة ا□ال المغناطيسي للتيار تزداد بالاقتراب من السلك وتقل بالابتعاد عن ه. فإذا كان نصف قطر الحلقة a، يكون مقدار شدة ا□ال المغناطيسي أو ما يسمى بالحث المغناطيسي عند مركز الحلقة هو:

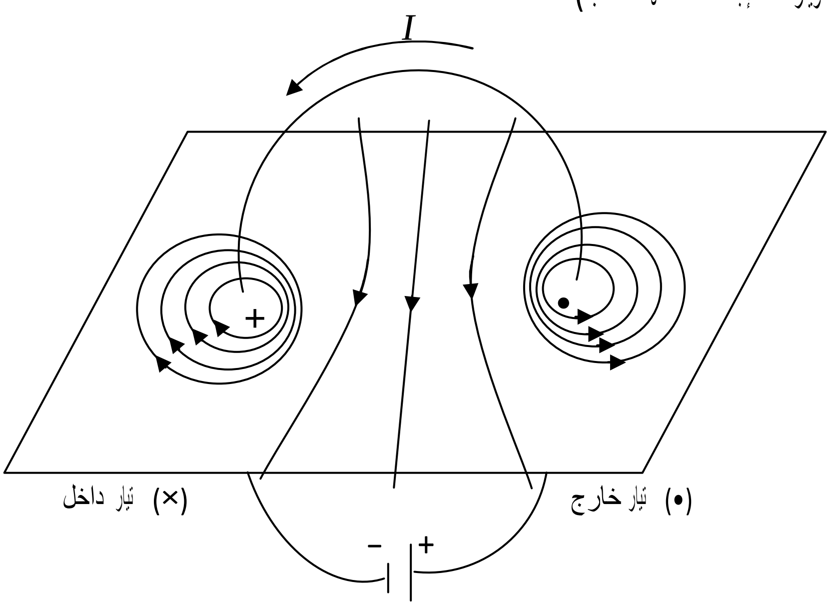
$$B = \frac{\mu_o I}{2a} \qquad \text{..................(32-12)}$$

ولـ N من الحلقات المتماثلة يكون:

$$B = \frac{N\mu_o I}{2a} \qquad \text{................. (33-12)}$$

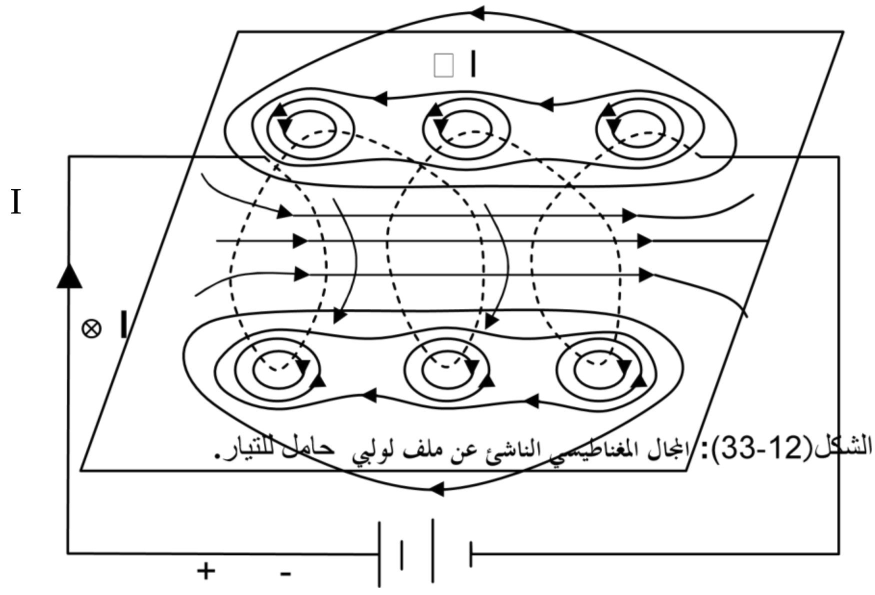
$2a$

(ويترك إثبات ذلك ل لطالب)



الشكل (12-32): ا□ال المغناطيسي الناشئ عن ملف حلقي حامل للتيار .

ويمكننا أيضا عمل ملف لولبي وذلك بلف السلك على اسطوانة بشكل حلزونيكما في الشكل (12-33). حيث الملف □عمِل بصياغة تختلف عن المعتاد، إذ أن اللفات



الشكل(12-33): المجال المغناطيسي الناشئ عن ملف لولبي حامل للتيار.

الشكل (33-12) : ا□ال المغناطيسي الناشئ عن ملف لولبي ملفوف بدون إحكام حامل للتيار .

المتجاورة متباعدة بدلا من أن تكون متلامس ة.وكما يدل عليه الـشكل فـإن ا□ـال المغناطيسي بداخل الملف يكون منتظما تقريبا وخطوطه موازية لمحور المل ف. ولما كانـت خطوط الحث المغناطيسي مقفلة فإ□ا ستعمل دور□ا خارج الملف، فإذا كان الملف طويلا فان الخطوط الواقعة خارج الملف ستكون بعيدة عنه باستثناء المناطق القريبة من طرفيـ ه.

وهكذا فان مقدار الحث المغناطيسي داخل ملف لولبي مجوف يحمل تيارا I هو:

$$B = \mu_o n I \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(34\text{-}12)$$

حيث n هي عدد لفات وحدة الطول من الملف الحلزوني (يترك إثبات ذلك للطالب).

(12- 2-12) قانون أمبير **Ampere's Law**

قانون أمبير هو تعبير آخر للعلاقة بين التيار وا□ال المغناطيسي الناشئ عنـه في صورته التكا ملية. وينص على أن التكامل الخطي لشدة الحث المغناطيسي مأخوذا ع ند كل منحني مغلق أيا كان شكله وفي أي

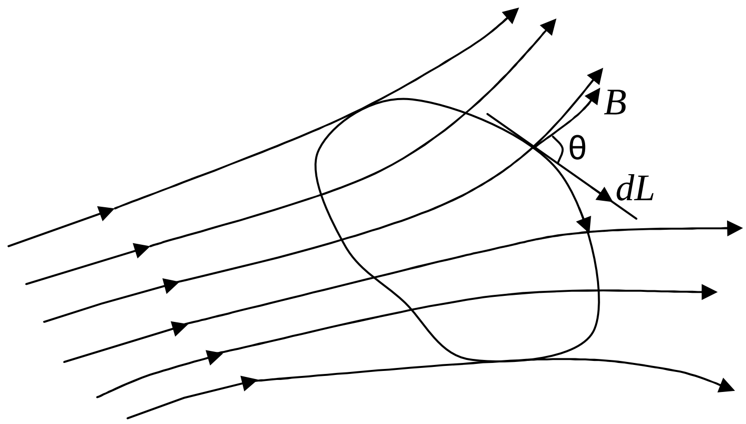
وسط كان يساوي التيار الكلي المار خـلال المساحة التي يطوقها المنحني مضروبا في ثابت سماحية ذلك الوس ط. ويأخـ ذ الـصيغةالرياضية الآتية:

$$\oint B\,dL\cos\theta=\mu_o I$$

or

$$\oint \vec{B}\cdot\vec{dL}=\mu_o I \qquad \ldots\ldots\ldots\ (35\text{-}12)$$

حيث θ هي الزاوية المحصورة بين متجهي B وعنصر الطول dL المماس للمـنحني في نقطة ما(شكل 12-34)، و $B\cos\theta$ المركبة المماسة للحث المغناطيسي باتجاه dL.



الشكل (12-34) :التكامل الخطي للحث المغناطيسي حول أي مسار مغلق يساوي مجموع

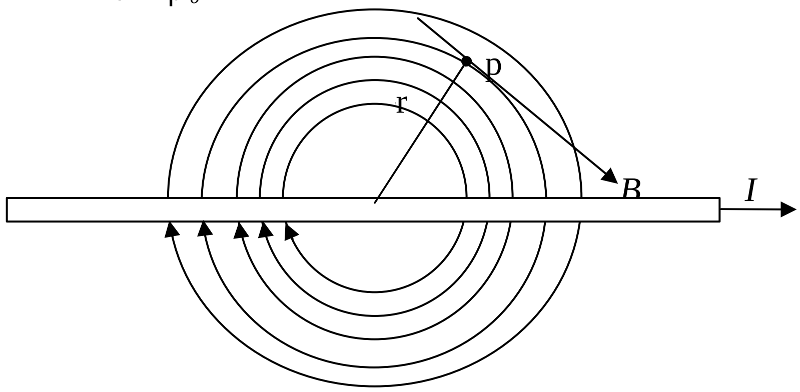
حاصل الضرب $B\cos\theta dL$.

لقد دلت التجارب على أن قانون أمبير يط بق على كل ا الات المغناطيـسية الناشئة عن تشكيلات مختلفة من التيارات ثابتة القيمة ولأي مسار مغلق محيط بتلك التيارات. ومن خصوصيات هذا القانون هو أن حساب التكامل الخطي $\oint\vec{B}\cdot\vec{dL}$ يصبح ممكنا فقط في الحا لات التي يكون فيها ا ال المغناطيسي ذا توزيع متناظر ،وهو في ذلـك يشبه قانون كاوس حيث كان اس تعماله كما رأينا في الفصل الثامن مقتصرا على ا الات الكهربائية ذات التوزيع المتناظر.

لنتأمل الآن سلك مستقيم طويل يحمل تيارا قدره I بالا تجاه كمـا مـبين في الشكل (12-35)، والمطلوب حساب B في نقطة p التي تبعد عن مركز السلك مسافة

r. باستعمال قاعدة اليد اليمنى نجد أن خطوط ا□ال المغناطيسي تكون بـشكل دوائـرمتحدة المركز مع محور السلك وهي تقع في مستويات عمودية على الـسل ك.والآن لـو اعتبرنـا الدائرة التي تمر بالنقطة p مسارا مغلقا وطـ□بقنا قانون أمبير لحصلنا على:

$$\oint B\,dL \cos\theta = \mu_o I$$



الشكل (^{12}-^{35}) : ا□ال المغناطيسي حول سلك مستقيم طويل حامل للتيار.

واضح من الشكل (^{12}-^{35}) أن θ تساوي صفرا لجميع أجزاء المسار المغلق وعليه:

$$\oint B\,dL = \mu_o I$$

وطالما B كان ثابتا لجميع نقاط المسار الذي نصف قطره r ،كونه يعتمد فقط على بعد النقطة p من محور السلك لذا فان:

$$B \oint dL = \mu_o I$$

وبما أن:

$$\oint dL = L = 2\pi r$$

فان

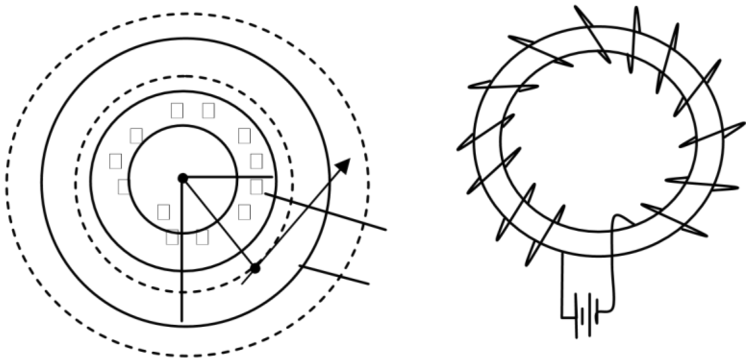
$$B\,(2\pi r) = \mu_o I$$

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$$

وهذه هي النتيجة ذا□ا التي حصلنا عليها باس تعمال قانون بايوت وسافار ت وهي المعادلة

.(31-12)

لنأخذ الآن حالة ملف على شكل حلقة عد د لفاته N ويمر فيه تيار شدته I، نصف قطره الداخلي R_1 والخارجي R_2 كما يظهر ذلك من خلال المخطط التوضيح ي للشكل (12-36)، الذي يبين مقطعا للملف بموازاة سطح ه. وهنا تكون خطوط الحث المغناطيسي على شكل دوائر متحدة المركز داخل الملف. وسنأخذ إحدى هذه الدوائر



⊗ ⊗

C ⊗ ⊗

b ⊕

⊕

⊗ a R

1 B ⊗

⊗ R 2

⊗ R

⊕ ⊕ ر رج

⊕ ⊗ p⊗ ⊕ ر دا

\+ -

-b-　　　　　　　　　　-a-

شكل (12- 36): ا□ال المغناطيسي الناشئ عن ملف على شكل حلقة a - ملف على شكل حلقة. b- مقطع للملف بموازاة سطحه.

ونجد B في النقطة p الواقعة على محيط دائرة نصف قطرها R باستعمال قانون أمبير. طالما أن جميع نقاط مسار الدائرة متناظرة الوضع بالنسبة للملف، فان مقدار B ستكون لجميع نقاط المسار المغلق .

$$\therefore \oint B\,dL\cos\theta = \mu_o I$$

واضح من الشكل (12-36) أن الزاوية θ بين $\vec{dL}$ و B تساوي صفرا وان التيار الكلي سيتضاعف بقدر عدد اللفات أي يساوي NI

$$\therefore \oint B\,dL\cos 0 = \mu_o NI$$

ومنها

$$BL = \mu_o NI$$

$$\therefore B = \frac{\mu^o NI}{L} = \frac{\mu^o NI}{2\pi R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(36\text{-}12)$$

حيث L محيط الدائرة ويساوي $2\pi R$.

المعادلة (12-36) تعني أن B تختلف باختلاف نصف قطر المسار المغلق R وعليه تكون القيمة الصغرى لـB هي:

$$B = \frac{\mu o\, NI}{2\pi R_1}$$

والقيمة الصغرى لـB هي:

$$B = \frac{\mu o\, NI}{2\pi R_2}$$

وفي حالة $R = R_1{}_2$ فان B تكون متساوية في جميع النقاط الو اقعة داخل الملف ويعبر عنها بالمعادلة (12-36).

الآن ل نفترض أننا قمنا بعمل ملف لولبي وذلك بلف السلك علـى اسـطوانة بشكل حلزوني كما ع ملنا في حالة الملف اللول بي، حيث يبين الشكل (12-37) مقطعا طوليا لجزء من الملف اللولبي يحمل تيارا I . فإذا كان المطلوب إيجـا د B في نقطـة p باستعمال قانون أمبير، نجد من المناسب أن يكون المنحني المغلق على شـكل مربـع (أو مستطيل) بحيث أن النقطة p تقع على احد أضلاعه الموازية لمحور الملف أي الضلع ab . فإذا اخترنا أن يكون الملف طويلا فسوف نحصل على مجال مغناطيسي أكثر انتظامـا في داخله وموازيا لمحور ه. ولما كانت خطوط الحث المغناطيسي مغلقة فإ□ا ستعمل دور□ـا خارج الملف وستكون بعيدة عنه باستثناء المناطق القريبة من طرفي ه.إذا كان ab طوله L فأن عدد اللفات التي يحتويها هذا الطول هي Ln وان التيار الكلي المخترق لهذا المسار (المربع) يساوي n_{IL} حيث n هي عدد لفات وحدة الطول من الملف اللولبي.

$$\oint BdL\cos\theta = \mu_o I = \mu_o nIL$$

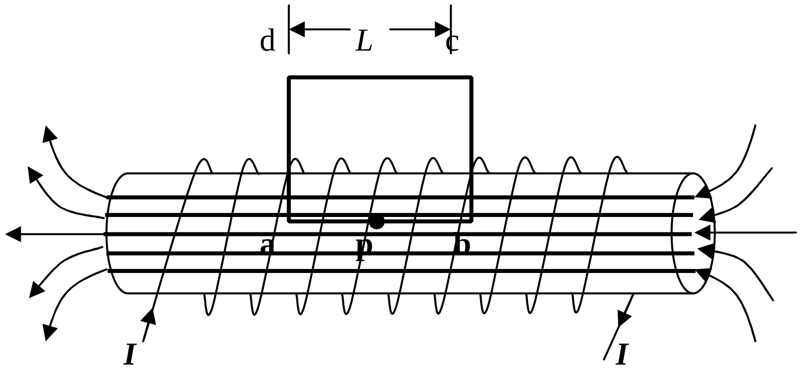
وبتطبيق المعادلة على جميع أضلع المربع نجد:

$$\oint BdL\ \cos\theta = \int_{ab} Bdl\ \cos 0 + \int_{bc} BdL\ \cos 90 + \int_{cd} (0) L\cos\theta + \int_{da} BL\ \cos 90$$

$$\oint BdL\ \cos\theta = BL + 0 + 0 + 0 = \mu_o nIL$$

L

$$B = \mu_o nI$$



الشكل (12-37): ا□ال المغناطيسي الناشئ عن ملف لولبي حامل للتيار .

وهذه ه ي النتيجة ذا□ا التي حصلنا عليها باس تعمال قانون بـايوت وسـافار ت وهـي المعادلة(12-34). وهكذا فان قيمة B متساوية لجميع النقاط داخل الملف على شرط أن تكون بعيدة عن طرفي الملف.

مثال(12_11)

مل □ف حلق □ي يتكون من N من اللفات ويحمل تيارا قدر ه I كما مبين في الشكل (12-36). بتطبيق قانون أمبير اثبت أن ا□ال المغناطيسي للملف يكون محصورا داخـل لفات الملف، ولا وجود للمجال خارج لفات الملف .

الحل :

نطبق قانون أمبير على المسارين a و c .

لنأخذ المسار c :

واضح من الشكل (12-36) أن هذا المسار لا يحوي على أي تيـار (I=0).

لذا فان التكامل الخطي لشدة ا□ال على المسار c حسب قانون أمبير يكون:

$$\oint \vec{B}.\vec{dL} = \mu_o I$$

$$\oint BdL\cos\theta = \mu_o I$$

$$\oint BdL\cos 0 = \mu_o (0)$$

$$\therefore\ B(2\pi R) = 0$$

أي أن:

$$B=0$$

الآن نأخذ المسار b :

واضح من الشكل نفسه أن كل لفة من لفات الملف تقطع المساحة المحصورة ضمن المسار مرتين، مرة يدخل التيار ومرة أخرى يخرج بعد أن يلف نصف لفة. ولما كان عدد لفات الملف N، فان ذلك يعني أن التيار يقطع المساحة N من المرات نحو الداخل، وN من المرات نحو الخارج. وبتطبيق قانون أمبير على هذا المسار نجد :

$$\oint \vec{B}.\vec{dL} = \mu_o (NI - NI)$$

$$\therefore B(2\pi r) = 0$$

أي أن:

$B=0$ وهذا يتضح أن المجال المغناطيسي للملف الحلقي المثالي ينحصر كليا داخل لفات الملف.

(12-13) الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

لنتناول في البدء الأساس النظري للحث الكهرومغناطيسي:

(12-13-1) أساس نظرية الحث الكهرومغناطيسي

درسنا في البند (12-1) أن التيارات الكهربائية تولد مجالات مغناطيسية وهو واحد من ثلاثة إنجازات علمية رئيسية قامت على أساسها الثورة الصناعية في العالم منذ أكثر من مئة عام من الزمن. وقد كان هذا الإنجاز على يدي العالم الدانمركي اوريستد عام 1820. والسؤال الذي يتبادر إلى الأذهان الآن هو إذا كانت المجالات المغناطيسية تولدها تيارات كهربائية، فهل يمكن للمجالات المغناطيسية أن تولد تيارات ؟

لقد مضت أكثر من عشر سنين حتى استطاع مايكل فاراداي (1791-1867) في إنكلترا وجوزيف هنري (1797-1878) بالولايات المتحدة الأمريكية* وبشكل

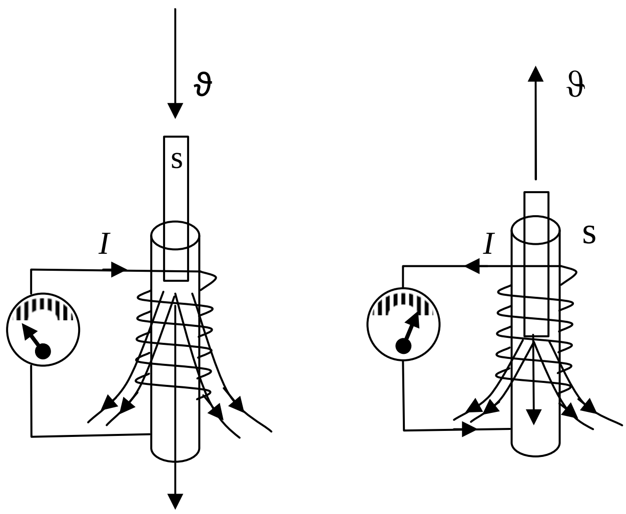
* يقال أن هنري قد سبق فاراداي في هذا الانجاز إلا أن عمله الذي أجراه في سرية نسبية في الباني بالولايات المتحدة فقط و عرف به عدد

قليل من الناس، لذا فقد أعطى الفضل لفاراداي وسمي القانون باسمه فيما بعد.

مستقل عن بعضهما من الإجابة التأكيدية على هذا السؤال في العام 1831، وسنقدم الآن تجربة تبين هذا التأثير بشكل واضح.

لدينا ملف متصل على التوالي مع جهاز كلفانومتر (يرمز له بالرمز) ضمن دائرة لا تحتوي على أية بطارية كما في الـشكل (12-38). الآن إذا أدخلنـ ا قـضي با مغناطيسيا في قلب الملف ينمو الفيض المتخلل للمل ف، وإذا قطِ◌ع□ الملف خطـوط ا□ـال المغناطيسي للقضيب ت□ سب□ب□ في تولي د تيار كهربائي في الملف يشار إليه من خلال انحراف مؤشر الكلفانومت ر إ لى احد اتجاهي مقياس ه كما في الشك ل (12-38a). ويظل هذا التيار في الملف طالما ظ لّ المغناطيس متحركا نحو المل ف ، وعندما يقف المغناطيس عن الحركـة فلن يكون هناك قطع لخطوط ا□ال من قبل الملف أي لا يكون هناك تغيير في الفيض المغناطيسي فلا □يستحث تيارا كهربائيا في الملف ويعود مؤشر الكلفانومتر إلى الصفر.

والآن لو سحبنا المغناطيس بالاتجاه المعاكس بعيدا عن الملف فان الفيض يأخذ في التناقص وسينحرف مؤشر الكلفانومتر إلى الاتجاه المعاكس، دلالة على أن التي ـار في هذه المرة عكس اتجاه ه كما في الشك ل(12-38b). أن التيار المتولد □ذه الطريقة يعرف بالتيار المحتث Current Induction و□تعر□ف العمليـة بالحـث الكهرومغناطيـس ي Electromagnetic Induction.



B

B

I I

-a- -b-

الشكل (12-38): اتجاه حركة المغناطيس تحكم اتجاه التيار المحتث.

الآن لو أعدنا التجربة نفسها وح □ركنا المغناطيس بسرعة اكبر، يلاحظ أن انحراف جهاز الكلفانومتر سيكبر كذلك، وهذا مرتبط مع عدد خطوط ا□ال التي تقطع من قبل الملف في الثانية. ونفس النتيجة السابقة يمكن الحصول عليها إذا تم تثبيت القضيب المغناطيسي وكان الملف هو الذي يتحرك ويقطع خطوط ا□ال المغناطيسي للقضيب.ويمكن تحليل هذا الأثر بالطريقة الآتي ة: على الرغم من أن الحالة في الشكل (12-38) تشير إلى أن المغناطيس هو الذي يتحرك إلا أن نفس الشيء تماما يحدث إذا ظلَّ المغناطيس ثابتا وكان المتحرك الملف. لننظر ماذا يحدث عندما يتحرك موصل طوله L بسرعة ϑ باتجاه مغنا طيس فيضه B. أن الالكترونات الحرة داخل الموصل تتعرض لقوة مغناطيسية مقدارها $F_{\perp}$ $= e\vartheta B$ عندما تتحرك في ا□ال المغناطيسي للمغناطي س. هنا ϑهي أيضا تع□بر عن سرعة كل إلكترون داخل الموصل و e شحنة الإلكترون.

أن الشغل الذي تنجزه القوة F لتحريك كل إلكترون في داخل موصل طوله L هو:

$$W = FL$$

وحيث

$$F = e\vartheta B_{\perp}$$

فان

$$W = e\vartheta B_{\perp} L \qquad \text{.........................(37-12)}$$

ومن تعريف الشغل فان القوة الدافعة الكهربائية هي المسؤولة عن إدامة سريان التيار في الدائرة .إذن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالحث (ε) في موصل طوله L ويتحرك بسرعة ϑ في مجال مغناطيسي فيضه $_B$ هو الشغل المبذول على كل إلكترو ن. ومن المعادلة (12-37) نجد:

$W\ \varepsilon = \underline{\quad} = \vartheta B_{\perp} L$ ....(38-12)

e

وهذه المعادلة تعد احد أشكال قانون فاراداي في الح ث. المعادلة (12-38) هي حالـة خاصة افترض فيها أن السرعة منتظمة والحث المغناطيسي ثابت المقدار والاتجاه ويـؤثر باتجاه عمودي على كل من السرعة وطول الموصل. فإذا فقدت هـذه الـشروط مـن المعادلة(12-38) سوف لا تصح في هذه الحالات وإنما تصح المعادلة العامة الآتية : (12-39) ....

$\varepsilon = BL\vartheta\sin\theta\cos\varphi$ حيث θ هي الزاوية المحصورة بين B و L أما φ فهي الزاوية المحصورة بين ϑ والمستقيمالعمودي على المستوي الذي يضم B و L.

مثال(12_12_1)

في الشكل (12-39) السلك AP يترلق بدون احتكاك على السكة الموصلة بسرعة منتظمة $9\,m/sec$ متجها نحو DC، فإذا كان $B=1.6T$ ومقاومة الدائرة ثابتة 12Ω.جد: 1- القوة الواجب استعمالها لإدامة السلك AP متحركا بسرعته ،2- معدل الطاقة الحرارية المتولدة في الثانية ،3- العلاقة بين القدرة الميكانيكية ومعدل الطاقة الحرارية المتولدة في الثانية.

الحل :

1- F

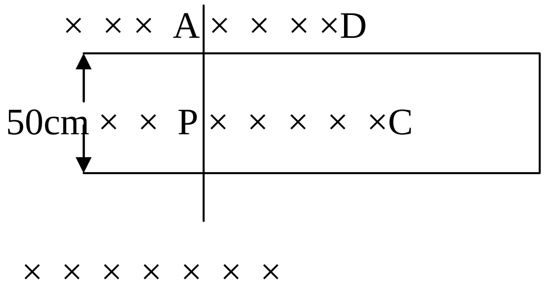
$$= ILB = \frac{\varepsilon}{R} LB = \frac{BL\vartheta}{R} LB$$

$$= \frac{B^2L^2\vartheta}{R} = \frac{(1.6)^2\times(0.5)^2\times 9}{12} = 0.48N$$

2- $W = e\varepsilon = eBL\vartheta = e(1.6\times0.5\times9) = 1(7.2) = 7.2eV$

3-

$P = \varepsilon i = 7.2\times0.6 = 4.32\,Watt$



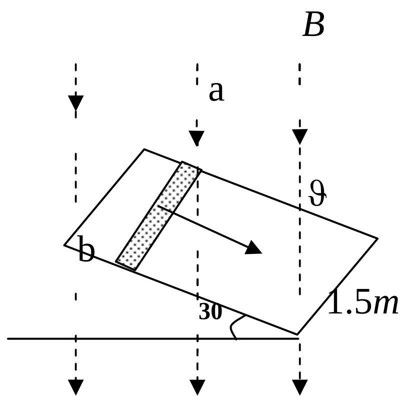
الشكل (12-39).

مثال (12_13)

في الشكل (12-40) ا□ال المغناطيسي منتظم فيض ه $B=0.5T$.
والقضيبالمغناطيسي ab مقاومته $2.0\ \Omega$ ، وكتله $10gm$ ويترلق بدون احتكاك على السك ة الموصلة. المقاومة الكهربائية للسكة صغيرة جدا بحيث يمكن إهمالها، جد السرعة الحديـة

Terminal Velocity للقضيب.

الحل :



الشكل (12-40).

$^{\varepsilon}Mg^{=}\ BL\cos^{\vartheta}30\sin=^{\theta}BL\cos\vartheta^{\varphi}\sin30\cos0$

$$\therefore \vartheta = \frac{10\times10^{-3}\times9.8\times\frac{\sqrt{3}}{2}}{0.5\times0.15\times0.5\times1} = 2.3\ m/\sec$$

مثال(12_14)

طائرة المسافة بين طرفي جناحيها $48m$ تطير بصورة أفقية بسرعة $800K/hr$ نحو الجنوب، فإذا كانت المركبة الشاقولية للحث المغناطيسي الأرضي هي $5\times10^{-5}T$، جد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في طرفي جناحي الطائرة.

الحل

:

$$\varepsilon = BL\vartheta\sin\theta\cos\varphi$$

$$= 5\times10^{-5}\times48\times800\times\frac{10^3}{60\times60}\sin 90\cos 0$$

$$= 0.53V$$

مثال(12_15)

موصل طوله $50cm$ يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم فيضه $1.6T$ وبسرعة $1.5m/sec$ فإذا كان الموصل جزء من دائرة كهربائية مقاومتها 5Ω وبقيت هذه المقاومة ثابتة دون تغي ير. جد مقدار كل من القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والتيار المحت ث إذا كان ت. 1- B تؤثر بصورة عمودية على الموص ل، 2- B تؤثر بصورة عمودية علـى الموصل وان اتجاه الحركة يميل بزاوية مقدارها 30^o مع العمود المقام على السطح.

الحل:

1- من معطيات الحالة تكون :

$\theta = 90$ و $\varphi = 0$

$$\therefore \varepsilon = BL\vartheta\sin90\cos0$$

$$= 1.6\times0.5\times1.5\times1\times1 = 1.2V$$

$$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{1.2}{5}=0.24A$$

2- من معطيات الحالة تكون:

$\theta= 90$ و $\varphi= 30$

$$\varepsilon= BL\vartheta\sin90\cos30 =1.6\times0.5\times1.5\times1\times\frac{\sqrt{3}}{2} = 0.6\sqrt{3}V$$

$$I=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{0.6\sqrt{3}}{5}=0.12A$$

(12–13–2) قانون فاراداي وقانون لنـــز
Faraday's Law and Lenz's Law

أجرى فاراداي العديد من التجارب كتلك الموضحة في الشكل (12-38) ثم استنتج أن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تتولد فقط عندما يكون هناك تغير في ا لفـيض المغناطيسي الذي يتخلل المل ف. وقد أدرك أن القوة الدافعة الكهربائية المحتثـة في دائـرة الملف تساوي التغير السالب لمعدل الفيض المغناطيسي في الثانية، أي :

$$\varepsilon=-\frac{d\varphi}{dt} \quad \text{.................(40-12)}$$

فالفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف كما في التجربة المبينـة في الـ شـكل (12-38) يتغير من φ_1 إلى φ_2 في زمن قدره Δt. فإذا كان الملف يتكون من عدد N من اللفات المتماثلة ،عندئذ تكون متوسط القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف خلال هذا التغير هي:

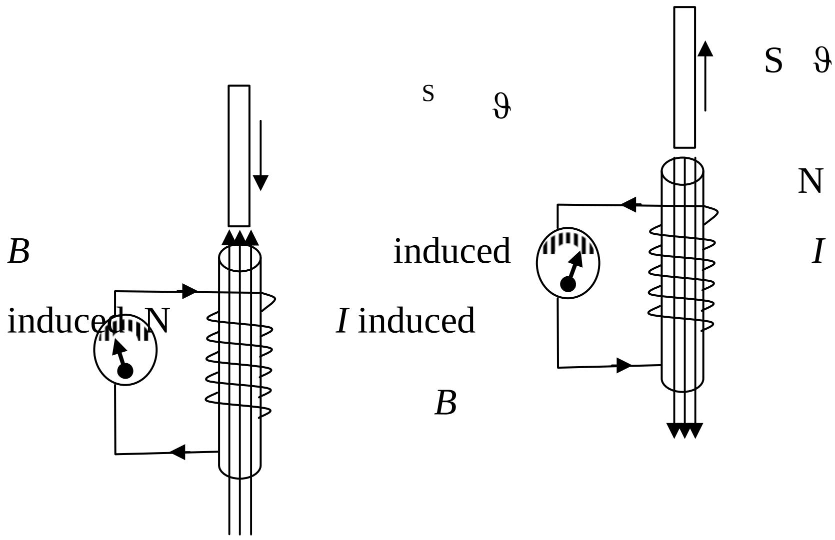
$$\varepsilon=-N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}=-N\frac{(\varphi_2-\varphi_1)}{\Delta t} \quad \text{.........(41-12)}$$

وهو ما يطلق عليه قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيس ي، الذي يعت بر احد أكثر مبادئ الكهربائية والمغناطيسية أهمية، بل و يعتبر أساس عمل

المولدات الكهربائيـة والمحركـات والمحولات وعدد كبير من الأجهزة المهمة.

وكما هو شأن أي تيار آخر فان التيار المحتث ينتج مجالا خاصا به. والـشكل (12-41) يبين اتجاهات هذا ا□ال المحتث B_{ind} والناشئ من تحركـات المغناطيـسين المرسومين في أ و ب من الشكل ذاته. وعلى الطالب التأكد من أن الاتجاهـات المبينـة للمجال B_{ind} تتفق مع قاعدة الكف الأيمن .

أن التيار المحتث في هذه الحالة يخلق فيضا مغناطيسيا يتخلل الملف بحيث يعرقل التغير في الفيض الناتج عن ا□ال المغناطيسي الخارجي المتغير، أي أن الفيض المحتث يميـل إلى المحافظة على ظروف الفيض الأصلي.



-a- -b- في .

ال المغناطيسي (B_{ind}) بسبب التيار المحتث (I_{ind}) دائرة الملف المتولد□ (الشكل12-41 ا):

لقد اتضح أن هذه الملاحظة تعتبر مبدأ عاما وتسمى قانون لنتر.

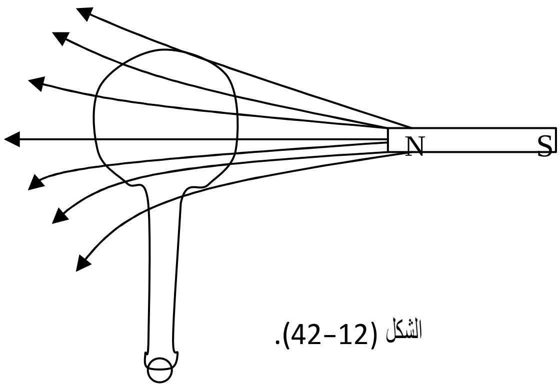
وينص على أن: القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تتخذ اتجاها بحيث

تعرقل السبب المنتج له ا. أي أن التيار المحتث سيتخذ اتجاها بحيث أن الفيض المغناطيسي الناتج عنه يعرقل التغير في الفيض الذي أنتج التيار المحتث. وتشير الإشارة السالبة في قانون فاراداي إلى هذه المعارضة.

مثال (12_16)

الشكل (12-42) يمثل حلقة من مادة موصلة وقضيب مغناطيسي يولد فيض مغناطيسي. فهل تتولد قوة دافعة كهربائية في الحلقة في الحالا ت: 1- إذا بق ي كل من المغناطيس والحلقة دون حرك ة، 2- إذا د ورنا الحلقة حول محو ر م ا مع بقاء المغناطيس ثابتا ، 3- إذا أبقينا الحلقة ثابتة وح ركنا المغناطيس جانبا أو دورناه حول محور ما.

الحل :



الشكل (12-42).

1-لا تتولد قوة دافعة كهربائية في الحلقة لان الفيض المخترق للحلقة ثابت المقدار.

2-تتولد قوة دافعة كهربائية في الحلقة وذلك بسبب تغير الفيض المخترق للحلقة.

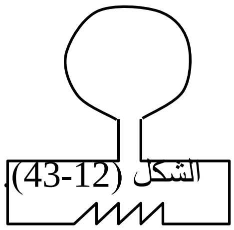
3- تتولد قوة دافعة كهربائية في الحلقة وذلك بسبب تغير الفيض المخترق للحلقة.

مثال (12-17)

الملف في الشكل (12-42) يتألف من 40 لفة ومقاومته $16\,\Omega$ يخترقه مجال مغناطيسي بصورة عمودية على سطح ه. فإذا كان الفيض المغناطيسي المخترق ل لملف يتغير وفق المعادلة $\varphi = (0.02t^2 + 0.06t + 12)$، حيث t مقدرة بالثواني وφ بالويبر.

جد مقدار واتجاه التيار المحتث عندما تكون: 1- $t=0$ ، 2- $t = 20sec$.

× × × × × ×



الحل: × × × × × × ×

R × × × × × ×

الشكل (12-43).

من المعادلة (12-40)

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\therefore \varepsilon = -N\frac{d}{dt}(0.02t^2 + 0.06t + 12)$$

$$\varepsilon = -40(0.04t + 0.06)$$

1- عندما $t=0$

$$\varepsilon = -40(0+0.06) = -2.4V$$

$$\therefore I = \frac{-2.4}{16} = 0.15\ A$$

2- عندما $t=2sec$

$$\varepsilon = -40(0.04\times 2 + 0.06) = -5.6V$$

$$\therefore I = \frac{-5.6}{16} = 0.35\ A$$

الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه ا□ال المغناطيسي للتيار المحتث بعكس اتجاه ا□ال المسلط على الملف.

مثال (12_18)

ملف عدد لفاته 50 نزع في 02.0 ثانية من بين قطبي

مغناطيس، حيث تقطع مساحته فيضا مقداره $1.3\times10^{-}Wb^{4}$، إلى مكان فيه الفيض المقطوع هو 1.0×10^{-Wb4}. احسب مقدار متوسط القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف.

الحل :

أن ما يهمنا هنا هو مقدار متوسط القوة الدافعة الكهربائية لذا تكتب المعادلة (12-41) بالشكل الآتي :

$$|\varepsilon| = N\left|\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right|$$

$$= 50\,\frac{(3.1-0.1)\times10^{-4}Wb}{0.2} = 0.75V$$

مثال(12_19)

ملف عدد لفات ه 6 ومساحته $10cm^{2}$ موجود في مجال مغناطيسي منتظم B=0.1T، أزيل ا□ال خلال فترة زم نية مقدارها 1×10^{-3} sec. جد مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة في الملف إذا كان ا□ال المغناطيسي يؤث ر،1- بصورة عمودية على سطح الملف، 2- باتجاه 30^{o} مع اتجاه سطح الملف.

الحل :

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} = -N\frac{d}{dt}(BA\cos\theta) = -NA\cos\theta\frac{dB}{dt}$$

-1

$$\therefore \varepsilon = -6\times10\times10^{-4}\times\cos(0)\times\frac{0.1}{10^{-3}} = -0.6V$$

-2

$$\varepsilon = -6\times10\times10^{-4}\cos(30)\times\frac{0.1}{10^{-3}} = -0.3\sqrt{3}V$$

مثال(12_20)

ملف عدد لفاته 100 ومساحته $5\,cm^2$ موجود في مجال مغناطيسي منـتظم $B=0.25T$ يؤثر باتجاه عمودي على السطح، سحب الملف بـسرعة فأصـبـ ح خـلال $0.01\,sec$ خارج ا□ال المغناطيسي، جد القوة الدافعة الكهربائيـة المحتثـة والـشحنة الكهربائية المارة خلال الملف علما بان مقاومة الملف تساوي 20Ω.

الحل :

$$\varepsilon=-N\frac{d\varphi}{dt}=-N\frac{d}{dt}(BA\cos\theta)=-NA\cos\theta\frac{dB}{dt}$$

$$=-100\times5\times10^{-4}\times1\times\frac{0.25}{0.01}=-1.25\,V$$

$$i=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{1.25}{20}=0.0625\,A$$

$$q=it$$

$$\therefore q=0.0625\times0.01=0.000625\,C=625\,\mu C$$

(12- 14): التيار المتناوب **Alternating Current**

يعرف الجهد المتناوب (A.C.) بأنه الجهد الذي يتغير دائما طبقا لمنحني جيبي sine curve . ويقصد بتغير الجهد هو تغير قطبيته، أي أن هذا الجهد تكون له قيمـة موجبة في لحظة وتتناقص هذه القيمة إلى الصفر، ثم تكون له قيمة سالبة تصل إلى قيمـة معينة وتتناقص إلى الصفر، يبدأ بعدها الجهد في أن يكون له قيمة موجبة مرة أخـرى، وتكرر هذه العملية بصورة دورية مع الزمن.

تولد الشركات الجهود المتن اوبة بواسطة المولدات ذات الملف الـدوار نتيجـة لدوران ملف بين قطبي مغناطيس وق طعِهِ خطوط ا□ال المغناطيسي، وتتغير قيمة الجهد المتولد في السلك وقطبيته تبعا للزاوية التي يقطع □ا سلك الملف خطوط ا□ال المغناطيسي. ويبين الشكل (12-44) العلاقة ب ين زاوية قطع الم لف للمجال المغناطيسي والجهد المتولد

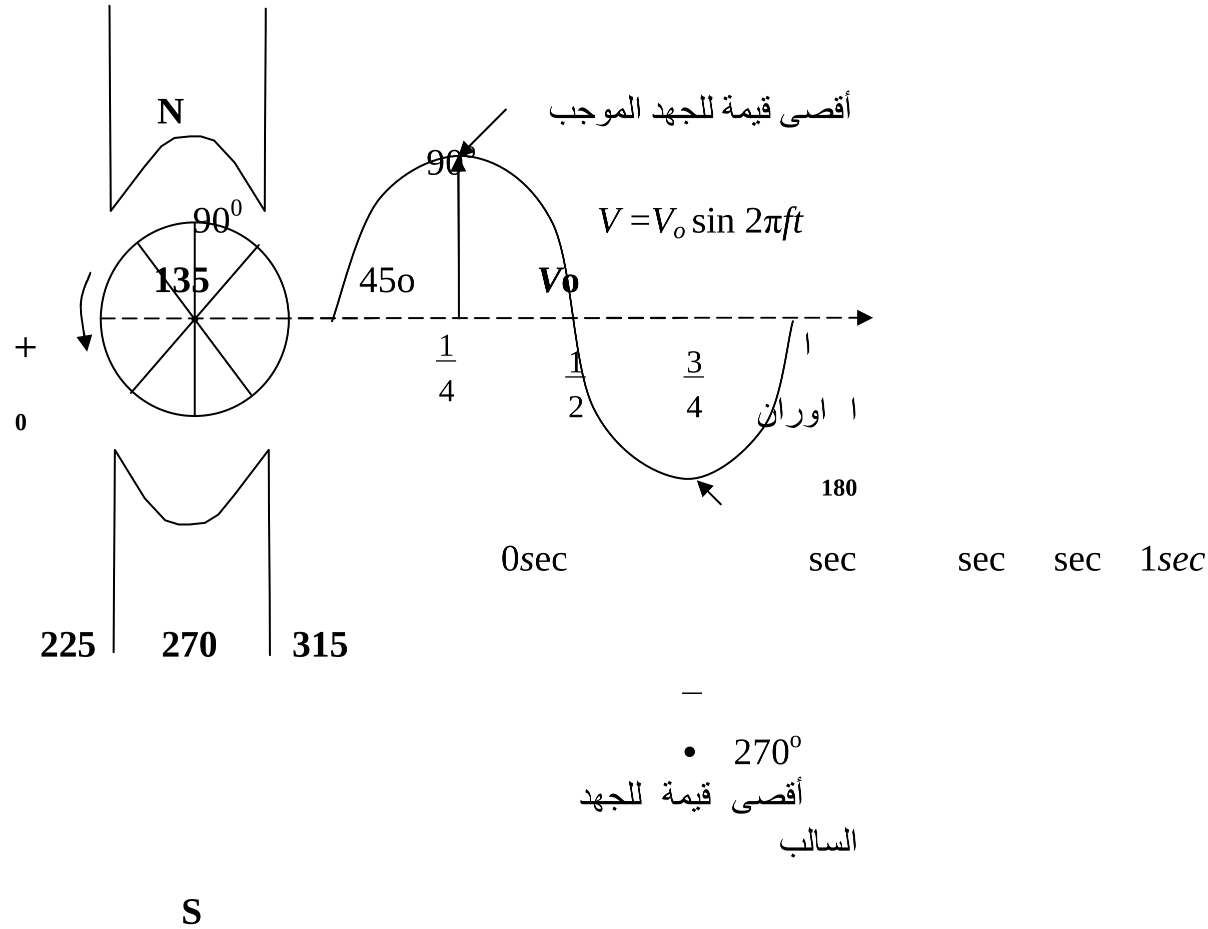
وذلك بفرض أن الملف يدور دورة كاملة في الثانية الواحد ة. وسوف نتذكر أن جهد جيبي (أو فولتية جيبيه) يعطى بالعلاقة:

$$V = V_o \sin 2\pi ft \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.([4]2\text{-}1[2])$$

إذ أن V_o تمثل أقصى قيمة للفولتية الجيبية، أما V فتمثل القيمة الآنية لتلك الفولتية، وان f هو تردد الدوران لملف المولد حيث يرمِ ز □ إلى عدد ما يحدث من دورات كاملـة مـن التغيرات في الثانية الواحدة.

أن التردد الزاوي ورمزه ω يقاس بعدد الزوايا النصف قطر ية ا لتي تحدث في الثانية الواحدة، وذلك لان الدورة الواحدة تتكون من 2π زاوية نصف قطرية، لذا فمن الممكن التعبير عن المعادلة ([12]-[42]) بالشكل الآتي:

$$V = V_o \sin \omega t \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.([43]\text{-}12)$$



الشكل (12- 44) : العلاقة بين زاوية قطع الملف للمجال المغناطيسي والجهد المتولد وذلك بفرض أن الملف يدور دورة كاملة في ثانية واحدة.

وعندما يطبق هذا النوع من الجهد (الفولتية المؤثرة) على مقاومة اومية خالصة (ليس لها حث) R فانه ينتج تيارا أو تيارا جيبيا (شكل 12-45)، يعطى بالمعادلة:

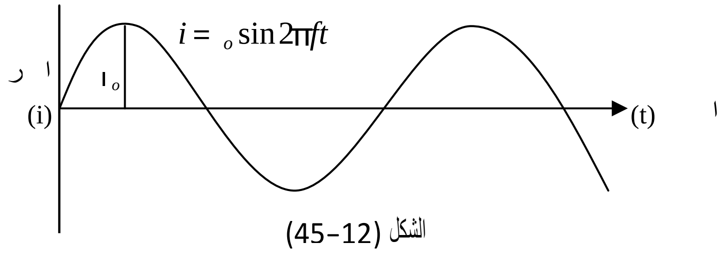
$$i = \frac{V}{R} = \frac{V_o}{R}\sin 2\pi ft$$

أو

$$i = \iota_o \sin 2\pi ft \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (44\text{-}12)$$

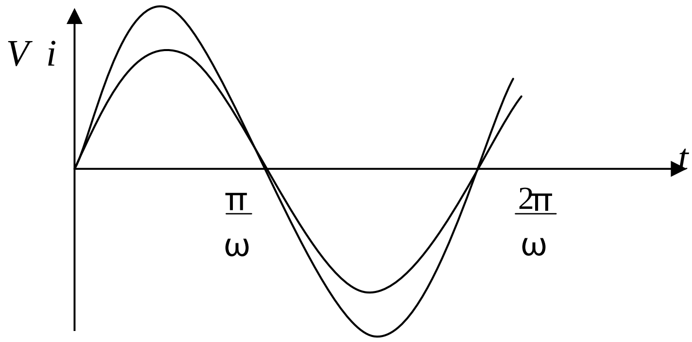
وأيضا

$$i = \iota_o \sin\omega t \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (45\text{-}12)$$



الشكل (12–45)

وبمقارنة معادلة ال فولتية (12-43) بمعادلة التيار (12-45) نجد أن كلا من الفولتية المؤثرة(فرق الجهد بين طرفي المقاومة) والتيار الناتج عنها في طور واحد كما موضح في الرسم البياني لهما في الشكل (12-46) .



الشكل (12-46): التيار والفولتية لدائرة مقاومة خالصة.

وعندما يك ون تطبيق الفولتية على متسعة ذات سعة خالصة C بدلا من المقاومة الخالصة R، فان هذه المتسعة في لحظة معينة عندما تكون قيمة الفولتية V بين طرفيهـا ستملك شحنة آنية في تلك اللحظة مقدارها :

$$q = CV = CV_o \sin\omega t$$

عندئذ تصبح قيمة التيار الآنـي:

$$i = \frac{dq}{dt} = \omega CV_o \cos\omega t$$

أو

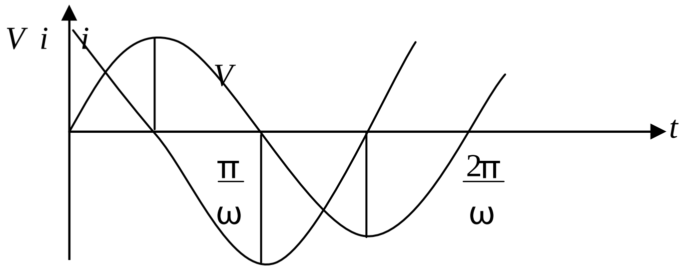
$i = i_o \cos\omega t$ .... (46-12) إذ أن :

$i = \omega CV_o$ .... (12-47)

وهذا يعني عندما تكون الفولتية المؤثرة على المتسعة دالة جيب فان الت يار عبر المتسعة هو دالة جيب تمام .وإذا كتبنا المعادلة (12-47) بالصيغة الرياضية الآتية :

$i = i_o \sin(\omega t + 90^o)$ .... (48-12)

لت□ب□ين أن التيار يتقدم على الفولتية بزاوية مقدارها 90^o. أن هذا الاختلاف في الطور بين التيار والفولتية يوضحه الرسم البياني في الشكل (12-47).



الشكل (12-47): التيار والفولتية لدائرة متسعة خالصة.
المعادلة (12-47) يمكن كتابتها بالشكل الآتي :

$$i_o = \frac{V^o}{1/\omega c} \qquad ....(12\text{-}49)$$

حيث الكمية ($1/c\omega$) تمثل معاوقة المتسعة لمرور التيار المتنـاوب خلالهـا. وهذه الكمية تدعى بالرادة السعوية Capacitive Reactance، ويرمز لها بـالرمز X_c أي أن :

$$X_c = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f c} \qquad ....(12\text{-}50)$$

ويذكر أن X_c لها نفس وحدة المقاومة الاومية R وهي الاوم لكنها تختلف عنها، حيث أ□ا لا تخضع لقانون او م. وعندما يكون تطبيق الفولتية على ملف خالص الحثية، فان قوة دافعة كهربائية مضادة قدرها $L\frac{di}{dt}$ ستتولد فيه في لحظة معينـة مـن تجهيـزه بتيـار متناوب.وبتطبيق قانون كيرتشهوف على دائرة الملف ينتج:

وبالتعويض عن V من المعادلة (12-43) ينتج:

..........................(12-51)

وبإجراء التكامل لطرفي المعادلة (12-51) نجد:

$$V - L\frac{di}{dt} = 0$$

$$di = \frac{V}{L}\,dt$$

$$di = \frac{V_o}{L}\sin\omega t\,dt$$

$$i = -\frac{V_o}{\omega L}\cos\omega t$$

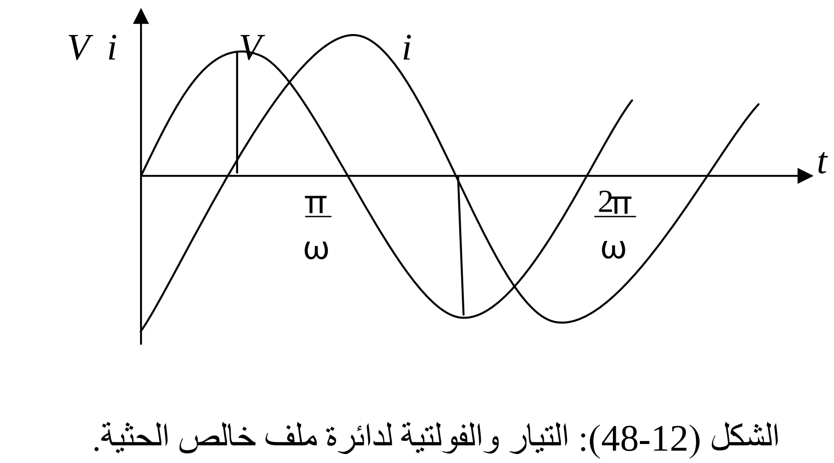
$$i = I_o \cos\omega t \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(52\text{-}12)$$

$i = I_o \sin(\omega t - 90)$ إذ أن $\frac{-V_o}{\omega L}$ تمثل القيمة العظمى للتيار، أي أن :

$$I_o = \frac{V_o}{\omega L} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (53\text{-}12)$$

يتبين من المعادلة (12-52) أن الفولتية تتقدم على التيار بزاوية قدرها 90^o. أن هذا الاختلاف في الطور بين الت يـار الفولتية يوضـحه الـشكل (12-48).المعادلـة (12-53) صيغة مشا□ة لقانون اوم، حيث الكمية $L\omega$ تمثل معاوقة الملف لمرور التيار المتناوب خلالها وهذه الكمية تدعى بالرادة الحثية Inductive Reactance، ويرمز لها بالرمز X_L ووحدا□ا كذلك الاوم.

$$\therefore X_L = \omega L = 2\pi f L \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(54\text{-}12)$$



الشكل (12-48): التيار والفولتية لدائرة ملف خالص الحثية.

ومن المثير للاهتمام أن القيمة المتوسطة عبر دورة كاملـة للفولتيـة أو التيـار المتناوب لابد أن تكون صفرا . فكلما يمكنك من دراسة الأشكال

أعلاه فان الدالة الجيبية (وكذلك دالة الجيب تما م) ذات قيمة سالب ة بقدر حالها من قيم موجبة تماما . ومن ثم فان قيمتها المتوسطة تكون صفرا. وعلى ذلك وبالنسبة لفولتية أو تيار متناوبين فان:

$Vav = iav = 0$

ولهذا السبب لا يمكن استعمال التيارات المتناوبة في شحن البطاريات أو في التطبيقات المماثلة. فلو أن البطارية شحنت عندما يكون التيار موجبا فإ□ا ستمر بقدر مساوٍ من التفريغ عندما يكون التيار سالبا . ولابد أن نذكر هنا أن الكهربائية المنقولة بكلا النوع ين من التيارات المتناوبة أو المستمرة تستعمل للإضاءة وتشغيل المحركا ت. غير أن التيار المتناوب قد انتصر في النهاية لان جهده يمكن تحويله بسهولة إلى قيم أعلى أو اقل بواسطة المحولات كما سنأتي للتعرف عليها في بند قادم.

والآن نناقش الأسباب وراء ممانعة المتسعة كليا لمرور التيارات المستمرة (f=0) فيما تسمح للتيارات المتناوبة المرور بقيم متفاوتة اعتمادا على الترد د. أن التناسب العكسي بين الرادة السعوية X_c والتردد f كما يظهر في المعادلة (12-50)، يقودنا إلى القول بان التيارات ذات الترددات العالية تس□ هِل مرورها خلال المت سعة إذ أن قيمة الراد ة السعوية منخفض ة. في حين نجد التيارات ذات الترددات المنخفضة صعوبة بالغة في المرور خلال المتسعة بسبب قيمة الرادة السعوية كبير ة. والحقيقة أن المتسعة تمنع كليا مرور التيارات المستمرة (غير المتناوب ة). إذ تصبح الرادة السعوية لا□ائية القيمة لذلك تستعمل المتسعة في الدوائر الكهربائية للسيطرة على مرور التيار المتناوب والتحكم في قيمته. كما تستعمل كذلك لفصل التيار المتناوب عن التيار المستمر.

مثال(12-21)

و □صلت متسعة سعتها $1\mu_F$ بمصدر للتيار المتناو ب. اوجد القيمة القصوى للتيار إذا علمت أن القيمة القصوى لفولتية المصدر هي 90_V وان التردد الزاوي يساوي $500 rad/sec$. الحل:

V

$$I_o = \frac{V_o}{1/\omega c} = V_o \omega c$$

$$= 90 \times 500 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$= .0045\ A$$

مثال(12_22)

إذا وصل ملف حثيته 10_H (ذو مقاومة قليلة يمكن إهمالها) بنفس المصدر في المثال السابق. فما مقدار القيمة القصوى للتيار المار في الملف.

الحل:

$$I_o = \frac{V_o}{\omega L}$$

$$= \frac{90}{500 \times 10}$$

$$= 0.018\ A$$

مثال(12_23)

ما قيمة التردد الذي عنده تصبح الرادة السعوية لمتسعة سعتها $3\mu_F$ مساوية 600Ω؟ وما قيمة التردد الذي عنده تصبح الرادة الحثية لملف حثيته $0.4H$ مساوية لـ600Ω كذلك؟ الحل :

$$X_c = \frac{1}{2\pi fc}$$

$$\therefore f = \frac{1}{2\pi X_c c} = \frac{1}{2\pi \times 600 \times 3 \times 10^{-6}} = 88.46\ HZ$$

$$X_L = 2\pi fL$$

$$\therefore f = \frac{X_L}{2\pi L} = \frac{600}{2\pi \times 0.4} = 238.73\,HZ$$

(12- 15) القيمة الفعالة للتيار المتناوب والفولتية المتناوبة

Effective Value of Alternating Current and Voltage

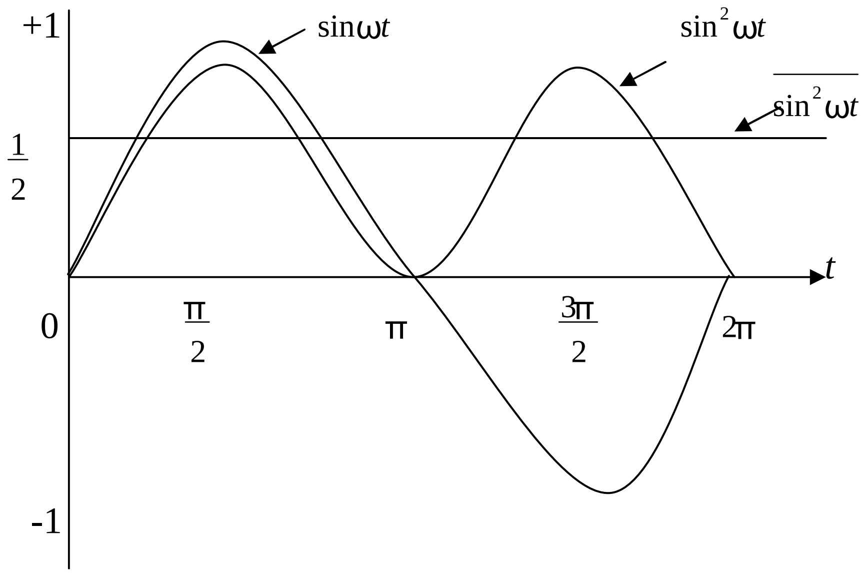
أصبح معلوما عند الحديث عن التيار المتناوب يقتضي التعامل مع التغيرات المتعاقبة للقيم الآنية للتيار والفولتية المتناوبة وفقا للدوال الجيبية المعبرة عنه ا. غير أننا دائما نتحدث عن التيار والفولتية المتناوبة وكأ□ما مقادير ثابتة، فنقول أن هذا الجهاز كالمصباح مثلا من فئة $Watt^{60}$ يعمل على تيار متناوب شدته $^{272.}A^{0}$ ، والمصباح فئة $Watt^{100}$ يحتاج لتشغيله تيار متناوب قدره $^{454.}A^{0}$ عندما تكون الفولتية المتناوبة ا□هزة لهما ^{220}V.
ونحن نجد في جميع أجهزة القياس كالفولتيميتر والاميتر تد□□رج□ يشير إلى قياس قيمة ثابتة للتيار والفولتية المتناوبة وهذا يخالف ما درسنا عن طبيعة التيار المتناوب. إذن ما المقصود □ذه التسمية؟

لنفرض أن تيارا كهربائيا م □ر في مقاومة وولد فيها قدرة مقدارها $Watt^{2}$ في فترة زمنية مقدارها $sec1$، ثم م □ر في المقاومة تيار مستمر مقدار ه A^{1} فوَّ ّلد نفس القدرة ولنفس الفترة الزمنية ،عندئذ يمكننا أن نطلق على هذا التيار الثابت الشدة ($_{A}^{1}$) اسم التيار الفعال للتيار المتناوب ،أي أن القيمة الفعالة Effective Value للتيار المتناوب تساوي A^{1}. أن معدل القدرة في مقاومة عند مرور التيار المتناوب $i = I_o \sin\omega t$ هو :

$$\overline{i^2R} = I_o^2 R\overline{\sin^2\omega t} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(55\text{-}12)$$

من الشكل (12-49)نجد أن :

$$\overline{\sin^2\omega t} = \frac{1}{2}$$



الشكل (12-49) : القيمة الفعالة للتيار المتناوب

وبالتعويض عن هذه الق يمة في المعادلة (12-49) نحصل على القيمة الفعالة للتيار بدلالة قيمته القصوى I_o، أي:

$$I_{rnis}^{2}R = \frac{I_o^{2}}{2}R$$

أو

$$I_{rms}^{2} = \frac{1}{2}I_o^{2}$$

وبأخذ جذر طرفي المعادلة ينتج:

$$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}}I_o = 0.707I_o \qquad \text{..................(12-56)}$$

وان قيمته القصوى تساوي:

$$I_o = 1.414I_{rms} \qquad \text{..................(12-57)}$$

حيث I_{rms} هو التيار الفعال للتيار المتناوب، فالتيار الفعال هو جذر متوسط مربع التيار واختصارها بالإنكليزية rms وهي الأحرف الأولى من root-mean-square value وبالعربية (جـ. م. ت.).
وبإتباع الأسلوب نفسه في المناقشة يمكن الحصول على العلاقة نفسها للفولتية:

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_o = 0.707 V_o \qquad \text{.................}(58\text{-}12)$$

وان قيمتها القصوى تساوي :

$$V_o = 1.414 V_{rms} \qquad \text{................} (59\text{-}12)$$

مثال (12_24)

مقاومة قدرها 10Ω ربطت إلى طرفي مصدر متناوب فإذا كانت الفولتية المؤثرة $V=220\sin 50t$ ج د.[1]- الفولتية الفعالة بين طرفي المقاومة،[٢]- التيار الفعال المار في المقاومة.
الحل :1- من معادلة الفولتية المعطاة في المثال نجد أن :

$$V_o = 220V$$

$$\therefore V_{rms} = 0.707 \times 220 = 155.5V$$

(12-16) الحث الذاتي Self Inductance

يبين الشكل (12-50) ملفا من مادة موصلة ذا N لفة، مربوطا على التوالي مع دائرة مصدر للقوة الدافعة الكهربائية ومقاومة متغيرة، فإذا مر خلال دائرة الملف تيارا كهربائيا شدته I تولّد في الملف ذاته مجالا مغناطيسيا فيضه φ. وبتغير المقاومة تتغير شدة التيار المار خلال الملف ويتغير نتيجة ذلك الفيض المخترق له، وعليه تتولد قوة دافعة كهربائية

---

[٢]- لدينا

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{200}{10} = 22A$$

$$\therefore I_{rms} = 0.707 \times 22 = 15.55A$$

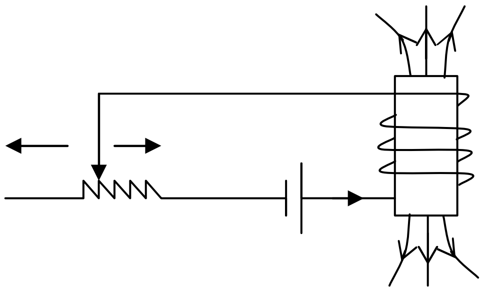
محتثة في دائرة الملف. أن عدد خطوط الفيض المغناطيسي المختـرق للملـف في وحدة التيار يسمى بالحث الذاتي لدائرة الملف، أي :

$$L = \frac{N\varphi}{I} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(60\text{-}12)$$

إذ أن

L تعرف بمعامل الحث الذاتي (Coefficient of Self Inductance).

ومـن المعادلة (60-12) نجد أن وحدات L هي ______ وهي الهنري تخليدا لاسم العالم الفيزيائي جوزيف هنري Joseph Henry ويرمز لها عادة بالرمز H .



الشكل (49-12) : تولد قوة دافعة كهربائية محتثة في دائرة الملف.

هناك بعض النقاط الأساسية التي يجب أن توضع في الاعتبار، وهي كلما كان حجم الملف كبيرا وكذلك عدد لفات ه، كلما كان مقدار معامل الحث الـذاتي للملـف كبيرا، وكذلك يزداد الحث الذاتي لملف لولبي أبعاده معروفة لو ل ف على مقطـع مـن الحديد بدلا من ترك داخله فارغا (لماذا؟).ويمكن كتابة المعادلة (60-12) كالآتي:

$$LI = N\varphi$$

فإذا كان φ و I يتغيران مع الزمن، فعندئذ:

$$N\frac{d\varphi}{dt} = L\frac{dI}{dt}$$

ولما كانت القوة الدافعة الكهربائية المحتثة ذاتيا تساوي :

فعندئذ

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}$$

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} \qquad \text{....................(61-12)}$$

مثال(12_25)

ملف يتألف من 800 لفة متقاربة جدا، يمر فيه تيار شدته $6\,mA$. جد معامل الحث الذاتي للملف إذا كان الفيض المخترق له بسبب التيار يساوي $3\times10^{-8}Wb$.

الحل :

$$L = \frac{N\varphi}{I} = \frac{800 \times 3\times10^{-8}}{6\times10^{-3}}$$

$$= 4\times10^{-3}\,H$$

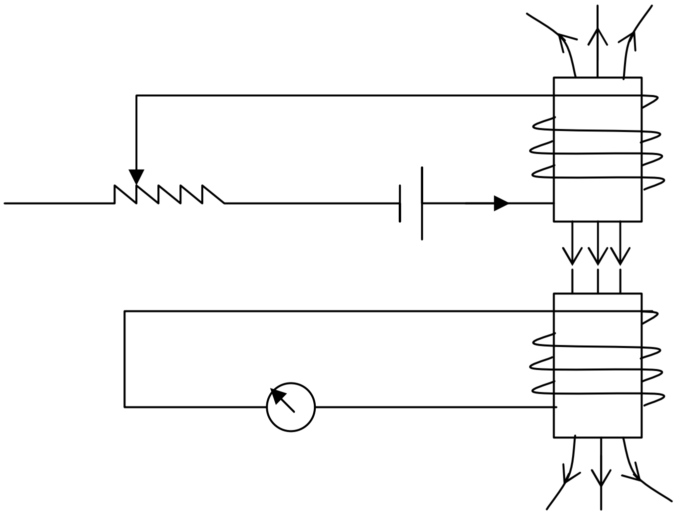
(12- 17) الحث المتبادل Mutual Inductance

إذا اعتبرنا الملف في الشكل (12-50) هو الملف الابتدائي (Primary Coil) ووضع بجواره ملف آخر اعتبر الملف الثانوي (Secondary Coil) (شكل 12-51) ،سوف يتولد فيض مغناطيسي يتخلل الملف الثانو ي. فبتغير المقاومة تتغير شدة التيار مع الزمن وتظهر قوة دافعة كهربائية في الملف الث انوي طبقا لقانون فارادا ي، هذه العمليـة تسمى بالحث المتباد ل، وعند زيادة التيار في الملف الابتدائي فالقوة الدافعـة الكهربائيـة المحتثة في الملف الثانوي تولد تيارا الذي بتأثيره المغنـاطيسي يعاكس الزيادة في التيـار في الملف الابتدائي، وعندما يكون التيار في قيمته النهائية و تخفّ ض يحاول التأثير المغناطيسي للتيار المحتث في الملف الثانوي إبقاء التيار الابتدائي على قيمته السابقة.

أن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف الثانوي هي دالة لمعدل تغير التيـار بالملف الابتدائي، إذن :

$$\varepsilon = -M\frac{dI}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(^{6}2\text{-}1^{2})$$

حيث M تعرف بمعامل الحث المتبادل بين دائرتي الملفين Coefficient ofMutual Inductance وهي كمية ثابتة وقيمتها تعتمد على التركيب أو الوضع الهندسي لدائرة الملف ين.ومن المعادلة (^{12}-^{62}) نجد أن وحدات M هي ـــــــ وتسمى الهنري H.وعلى الطالب أن يثبت أن بالإمكان التعبير عن M بالوحدات ـــــــ وهي وحدة الهنري أيضا.



الشكل (12–51) : تولد قوة دافعة كهربائية محتثة في دائرة الملف الثانوي.

مثال(12_26)

الملفان في الشكل (^{12}-^{51}) لهما محاثة متبادلة مقدارها $4.H0$ ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية المتوسطة التي تتولد في الملف الثانوي عندما يتغير التيار في الملف الابتدائي بمعدل واحد أمبير في عشر ثانية.

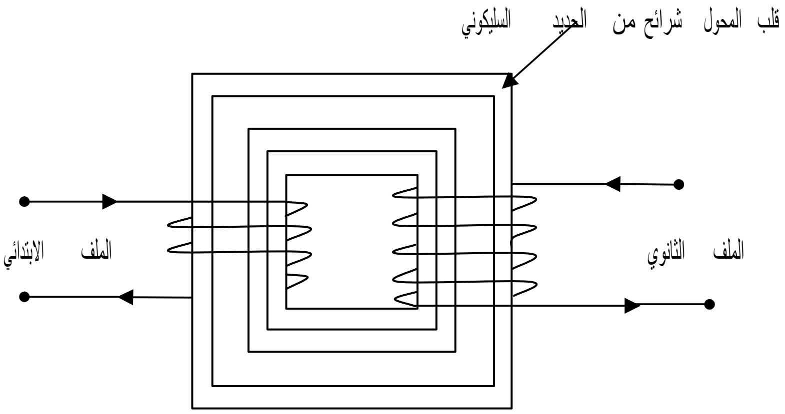
الحل :

$$\varepsilon = L\frac{dI}{dt}$$

$$=0.4\times\frac{1}{0.1}=\frac{0.4}{0.1}=4V$$

(12- 18) المحولات Transformer

تعتبر المحولات من القطع الكهربائية الواسعة الاس تعمال في دوائر التيار المتناوبفهي تس تعمل لرفع أو خفض الفولتية. فالمحول يتكون من مجموعة من الشرائح الحديديـة يطلق عليها قل ب المحول Core، يلتف حولها ملفان منفصلان، الملف الابتدائي عبارة عن عدد بسيط من لفات سلك النحاس المعزول بالورنيش والملف الثانوي عدد كبير نـسبيا من لفات السلك المعزول بالورنيش أيضا ولكن اقل من ذلك المستعمل في الملف الابتدائي انظر الشكل (12-52).



الشكل (12-52) : تركيب المحول ((الترانسفورمر)).

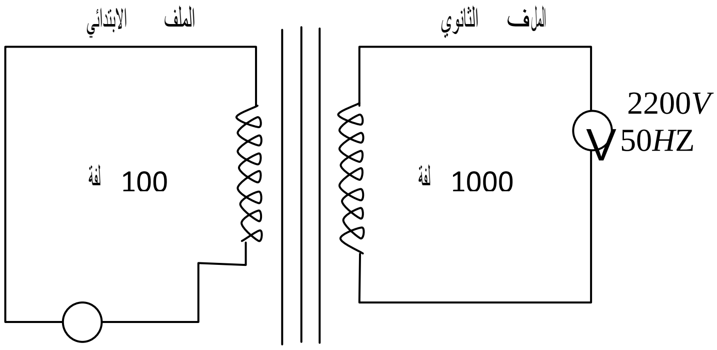
إذا وصل طرفا الملف الابتدائي للمحول بمصدر للجهد المتناوب مقداره $220V$ وكان عدد لفات هذا المل ف 100لفة، فانه يمكن الحصول على فرق جهد متناوب قدره $2200V$ على طرفي الملف الثانوي إذا كان عدد لفات هذا الملف 1000لفة في دائـرة مفتوحة (لا يوجـد حمل متصل بالملف الثانو ي) كما في الشكل (12-53). وبـالطبع يمكن الحصول على أية قيمة من فرق الجهد على طرفي الملف الثانوي للمحول إذا غ□يرنا من عدد لفات

هذا الملف ، إذ أن فرق الجهد المتولد عليه يتناسب مع عدد اللفات والجهد على الملف الابتدائي تبعا للمعادلة الآتية :

$$T = \frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (^{63}\text{-}12)$$

حيث تمثل T نسبة التحويل وE_1 وE_2 فرق الجهد حول الملف الابتدائي والثانوي علىالتوالي، وان N_1 وN_2 عدد لفات الملف الابتدائي والثانوي على التوالي.

لاحظ أن ترد د فول ت الملف الثانوي هو نفس تردد فولت الملف الابتدائ ي. ويطلق على هذا ا لنوع من المحولات الذي يكون فيه قيم ة فر ق الجهد وعدد لفات الملف الثانوي اكبر من فرق الجهد وعدد لفات الملف الابتدائي بالمحول الرافع للجهد (Step-up Transformer).



الشكل ($_{12}$-53) : محول رفع لرفع قيمة الفولتية HZ

بنسبة عدد05 ، V~ لفات 220 الملف الثانوي إلى

عدد لفات الملف الابتدائي.

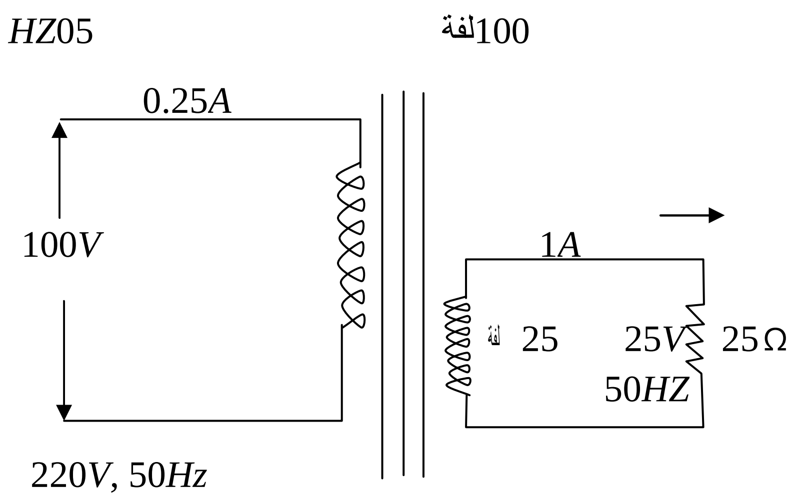
يمكن أيضا اس تعمال المحول في خفض قيمة الجهد الواصل إلى طرفي ملفه الابتدائي إلى قيم مع ينة .في المثال السابق يمكن الحصول

على فرق جهد متناوب مقداره V^{22} فقط إذا كان عدد لفات الملف الثانوي ^{10} لفات، ويطلق على المحول في هذه الحالة
المحول الخافض للجهد (Step-Down Transformer).

إن العلاقة (12-63) تصح في مجال محدود من الترددات فالنسبة $_1E_2/E$ تصبح صفرا عند مرور تيار مستمر في الملف الابتدائي وكذلك تقترب من الصفر في حالة استعمال الترددات العالية جدا عند مدخل المحول ذو القلب الحديدي المغلق. يكون المحول رافعا للفولتية عندما تكون $T<1$ ويكون خافضا لها عندما تكون $T>1$ ويستفاد من ذلك في كثير من الاستعمالات بالدوائر الكهربائية وخاصة في نقل الطاقة من المولدات إلى مناطق الاستهلاك.

أن المحولات لا تس تعمل إلا في رفع وخفض قيمة الجهد أو التيار المتناوب(A.C.) فقط و لا تعمل على التيار المستمر (C. D.) وذلك لان تغير قطبية التيار المتناوب الموصل إلى طرفي الملف الابتدائ ي تتسبب في ن شوء مجال مغناطيسي متغير يتدفق في الشرائح الحديدية المكونة لقلب المحول ويتسبب قطعه لأسلاك الملف الثانوي في توليد جهد ذاتي يتن اسب مع شدة هذا ا□ال في عدد لفات هذا المل ف. ولتوضيح فكرة العلاقة بين التيار المار في كل من الملف الابتدائي والثانوي للم حول وكذلك قدرة وكفاءة المحول لنقل هذه القدرة نتأمل المحول الخافض المبين دائرته في الشكل (12-54). من خلال معطيات الدائرة وقيمة التيار المار في الملف الثانوي وهي 1_A يمكن استنتاج العلاقة العكسية التي تربط التيار المار في ملفي المحول وعدد لفات كل منهما :

$$\frac{I2}{I1} = \frac{N1}{N2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12-64)$$



الشكل (12-54): محول خفض لخفض قيمة الفولتية.

حيث I_1 و I_2 تيار الملف الابتدائي والثانوي على التوالي، ويمكن أيضا استنتاج أن القدرة power في الملف الابتدائي (I_1V_1) تساوي القدرة في الملف الثانوي (I_2V_2) حيث :شدة التيار بالأمبير في فرق الجهد بالفولت = القدرة بالواط.

ففي الملف الابتدائي $0.25\times100=25$ واط، وفي الملف الثانوي 1×25 = 25 واط أي أن:

$$I_1V_1 = I_2V_2 \qquad \text{..................(12-65)}$$

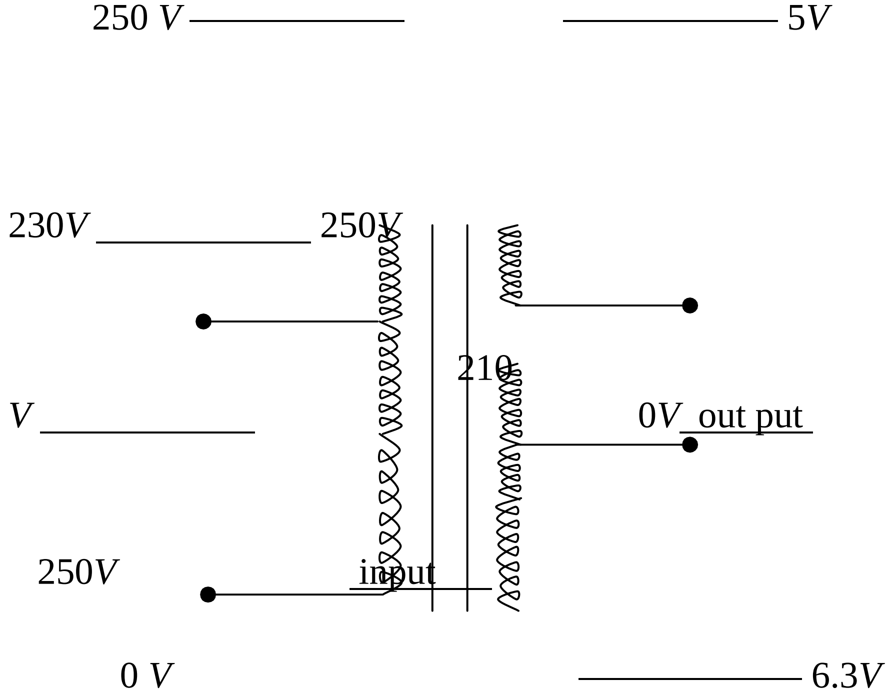
ولكن في الواقع العملي فان قدرة الملف الثانوي تكون اقل بنسبة ضئيلة عنها فيالملف الابتدائ ي، والفرق بين القدرة الداخلة Input إلى الملف الابتدائ ي والقدرة الخارجةOutput من الملف الثانوي يطلق عليه مقدار فقد الطاق ة، إ ذ تفقد على شكل حرارة نتيجة لمقاومة أسلاك الملفات و التيارات الدوامة Eddy Currents التي تمر في قلب المحول الحديدي وتظهر الطاقة المفقودة كطاقة حرارية تس□خن قلب المحول إض افة إلى نضوح خطوط الفيض والهسترة في القلب الحديد ي. وللتقليل من مقدار الفقد ورفع كفاءة المحول في نقل الطا قة يصنع قلب المحول من الحديد السليكوني وعلى هيئة شرائح معزولة بالورنيش وذلك لان الحديد السليكوني له خواص كهربائية تجعله أصلح المعاد ن، لذلك غالبا ما تكون كفاءة المحولات التي تصنع □ذه الطريقة عالِية وتصل إلى 98%.

وفي دائرة المحول الذي يتصل ملفه الثانوي بحمل مستهلِك للطاقة وبفرض تحويل جميع القدرة الداخلة إلى الملف الثانوي، فان ممانعة الملف الثانوي Z_2 تحسب من العلاقة:

$$\frac{Z2}{Z1} = \left(\frac{N2}{N1}\right)^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(66\text{-}12)$$

حيث Z_1 تمثل ممانعة مدخل ا لمحول (دائرة الملف الابتدائ ي). وعليه يمكن الاستفادة من المحول كمغ￼ير لممانعة الحمل حيث تعتمد على تردد الإشارة المستعملة عند مدخل المحولة.

هناك بعض الاس تعمالات يكون فيها للمحول أكثر من ملف ثـانوي وذلـك لتغذية دوائر مختلفة في الأجهزة الكهربائية بجهود مختلفة وتكون قدرة خرج مثـل هـذه المحولات تساوي مجموع قدرات الملفات الثانوية كما في الشكل(12-55).



الشكل (12-55): محول متعدد أطراف الملف الثاني كالمستعمل في أجهزة الراديو والتليفزيون.

Exercises ال تمارين

(^{12}-^{1}) : قذف إلكترون في مجال مغناطيسي شدته $T10$. احسب القوة المغناطيسيةالمسلطة على إلكترون وقار□ا مع وزنه.

(^{12}-^{2}) : ما مقدار واتجاه القوة المؤثرة على إلكترون يتحرك بسرعة مقدارها $12\times10^{5}\ m/\sec$ شاقوليا إلى الأعلى حال دخوله مجال مغناطيسي منتظم شدته $B=0.5T$ يؤثر باتجاه الغرب.

(^{12}-^{3}) : برهن على أن وحدة شدة ا□ال المغناطيسي (التس لا) تعادل

آم.

(^{12}-^{4}) : تحرك إلكترون على مسار دائري نصف قطره $2.cm1$ في مجال مغناطيسي منتظم. فإذا كانت سرعة الإلكترون تساو ي $m/sec10^{6}$. احسب الفيض المغناطيسي الكلي الذي يط□وق ا□ال.

(^{12}-^{5}) : أطلق إلكترون طاقته $2\times eV10^{3}$ داخل مجال مغناطيسي منتظم شد ته $1.T0$ وبزاوية قدرها 89^{o} مع اتجاه ا□ا ل. احسب :-^{1} السرعة التي قذف

□ا الإلكترو ن، ^{2}- نصف قطر المسار اللولبي للإلكترون، ^{3}- الزمن الذي يتطلبه الإلكترون كي يعمل لفة كامل ة،^{4}- المسافة بين لفتين لولبيتين متجاورتين.

(^{12}-^{6}) : عجلت بروتونات بواسطة جهاز سايكلوترون نصف قطره $35.m0$ وشدة ا□ال المغناطيسي المس تعمل فيه تساوي $5.T1$.
^{1}- ما عدد المرات التي يجب أن تنعكس فيها الفولتية المس تعملة في الثانية الواحد ة، ^{2}- ما مقدار أقصى سرعة يمكن أن تحصل عليها البروتونا ت، ^{3}- ما مقدار فرق الجهد الواجب تسليطه على البروتونات لكي تتسار ع وتصل إلى نفس السرعة التي حصلت عليها البروتونات باستعمال السايكلوترون .

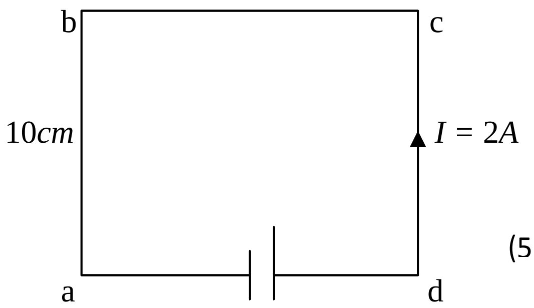
(^{12}-^{7}) : عجلت جسيمات ألفا $(m = 6.68\times10^{-27}\ kg, q = +ze)$ من السليكون خلال فرق جهد قيمته $KV1$، ثم دخلت مجالا

مغناطيسيا شدته $B=0.2T$ عموديا على اتجاه حركتها. احسب نصف قطر مسارها.

(^{8}-^{12}) : بروتون يدخل مجالا مغناطيسيا شدته1 $5.T$، بسرعة $m/\sec$ 2×10^{7} عند زاوية قدرها ^{o} $_{60}$ مع اتجاه ا□ال. احسب القوة المؤثرة على البروتون.

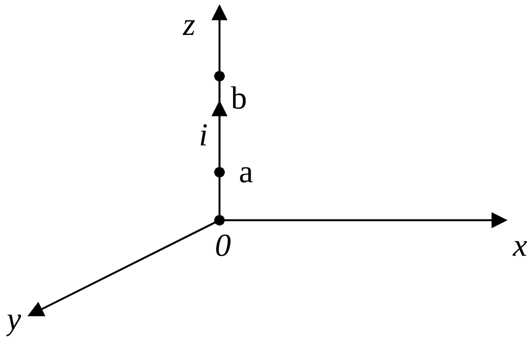
(^{9}-^{12}) : أطلق إلكترون بسرعة $m/\sec$ 5×10^{6} من نقطة أصـ ل الإحـداثيا ت وكانت سرعته الابتدائية تصنع زاوية 20^{o} مع المحور x+. صف حركته إذا وجد مجال مغناطيسي شدته $B=2mT$ في اتجاه x+.

(^{10}-^{12}) : جد مقدار واتجاه القوة على كل ضلع من مر بـع(شكل ^{12}-^{56}) إذا وجد داخل مجال مغناطيسي منتظم شدته $B=0.5T$ باتجاه يوازي سطح المربع ويوازي الضلع bc، ثم احسب عزم الازدواج المؤثر عليه.



الشكل (56–12)

(^{11}-^{12}) : يوضح الشك ل(^{12}-^{57}) سلك مستقيم طوله $cm70$ يحمل تيارا شدته $5.A1$ بحيث أن oa=30cm، موجود في مجـال مغناطيسي منـتظم $B=0.2T$. ما القوة المؤثرة على السلك إذا كانت B تؤثر،^{1}-باتجاه المحور x+، ^{2}- في مستوي بموازاة السطح zy وباتجاه يصنع زاوية قدرها 60^{o} مع محور z، ^{3}- باتجاه المحور z+.



الشكل (12-57)

(12-11) : سلكان مستقيمان طويلان متوازيان تفصلهما مسافة عمودية قدرها $R2$. احسب شدة ا□ال المغناطيسي عند منتصف المسافة بين السلكين،1-عندما يمر تياران متساويان في السلكين وباتجاهين متعاكسين 2- عندما يكون التياران باتجاه واحد.

(12-13) : ملف حلزوني قلبه هواء وعدد لفاته 2000 لفة وطوله $cm60$ وقطره $cm2$. إذا مر خلاله تيار شدته $A5$، فكم تكون كثافة الفيض المغناطيسي

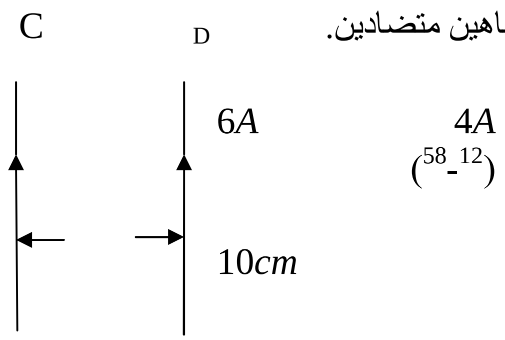
Bبداخله.

(12-14) : ملف حلزوني هوائي طوله $cm50$ وعدد لفاته 4000 لفة احسب B بداخله عندما يمر في الملف تيار شدته $25.A0$.

(12-15) : يوضح الشكل (12-58). سلكان طويلان متوازيان تفصلهما مسافة $cm10$ ويحملان تيارين $A60$ و$A40$. اوجد القوة

$cm24$ ، لف حول وسطه ملف قصير عدد لفا ته 200. فإذا كان التيار المار في الملف الطويل يتغير بمعدل $2.A/sec0$، جد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف القصير إذا كانت مساحة مقطعه تساوي $.24cm^2$

المؤثرة على طول $1m$ من السلك D، إذا كان التياران يسريان، 1- في نفس الاتجاه، 2- في اتجاهين متضادين.



الشكل (12-58)

(12-16) : ملف من أسلاك موصلة عدد لفاته 500 ومساحته $600\,cm^2$ ومقاومته 50Ω، سلط عليه مجال مغناطيسي يميل مع اتجاه السطح بزاوية 60^o، فإذا كانت B تتغير بمعدل $10\,mT/sec$ ، جد شدة التيار المحتث.

(12-17) : ملف اسطواني طوله $2.2m$ وعدد لفاته 8800 ومساحة مقطعة

(12-18) : قضيب نحاسي طوله $30\ cm$ عمودي على مجال مغناطيسي شدته $0.8T$ ويتحرك في اتجاه بزاوية 60^o مع العمود المقام على السطح الذي يضم ا□ال B وطول القضيب L وبسرعة $0.5m/sec$. احسب القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في القضيب.

(12-19) : و □صل مصدر فولتية تيار متناوب يعطي $120V$ عبر مكثف $2\mu F$ في الحالة الأولى ، وعبر محث نقي 0.7_H في الحالة الثانية. احسب التيار الواصل إلى المكثف ثم إلى المحث، إذا كان تردد المصدر هو، 1- $60HZ$، 2- $60000HZ$.

(12-20) : و □صلت مقاومة 5Ω في دائرة توالي مع محاثة نقية $0.2H$ ومكثف سعته $40\mu F$. وضعت ا□موعة عبر مصدر قدرة يعطي $30V$ بتردد $1780HZ$ احسب: 1- التيار المار في الدائرة، 2- زاوية الطور بين فولتية المصدر والتيار.

(12-21) : تيار متردد في مقاومة 10Ω فينتج طاقة حرارية بمعدل $360W$. احسب القيمة الفعالة لكل من التيار والفولتية.

(^{12}-^{22}) : محول خافض يعمل على خط فرق جهده $2.5KV$ ويمد حملا بتيار شدته

$80A$. النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي هي 20:1 بفرض أن الكفاءة 100%. احسب: 1- فرق جهد الملف الثانوي V_2، 2- تيار الملف الابتدائي I_1 ، 3- خرج القدرة P_2.

(^{12}-^{23}) : محول رافع يعمل على خط $110V$ ويمد حملا بتيار شدته $2A$، النسبة بين الملف الابتدائي والملف الثانوي هي $1:25$. احسب:
1- فولتيـة الملـ ف الثانوي، 2- تيار الملف الابتدائي، 3- خرج القدر ة. (اعتبر أن الكفـاءة 100%).

المراجع

1. *Vowles, Hugh P. ،"Early Evolution of Power Engineering" ، Isis ، دار نشر جامعة شيكاغو ،(2): 412–420 [419–20] ، doi:10.1086/346662.*
2. ^ *HP Meyers ، Introductory solid state physics (الطبعة ٢) ،CRC Press صفحة ٣٦٢ ،; Figure 11.1 ، ISBN 9781420075021 ، مؤرشف من الأصل في ٢ ديسمبر ٢٠١٦.*
3. ^ ***Platonis Opera*, Meyer and Zeller, 1839, p. 989.** **نسخة محفوظة 14 يناير ٢٠١٨ على واي باك مشين موقع.**
4. ^ *Du Trémolet de Lacheisserie, Étienne؛ Damien Gignoux؛ Michel Schlenker ، Magnetism: Fundamentals ، Springer ، صفحات ٣–٦ ، ISBN 978-0-387-22967-6، مؤرشف من الأصل في ١ مايو ٢٠٢٠.*
5. ^ ***Platonis Opera*, Meyer and Zeller, 1839, p. 989.**
6. ^ *Fowler, Michael ، "Historical Beginnings of Theories of Electricity and Magnetism" ، مؤرشف من الأصل في ١ مايو ٢٠٢٠ ، اطلع عليه بتاريخ ٢ ٠ أبريل ٢٠٠٨.*
7. ^ *Kumar Goyal, Rajendra ، Nanomaterials and Nanocomposites: Synthesis, Properties, Characterization Techniques, and*

Applications ***،CRC Press*** ***،***
،١٧١ صفحة ISBN 9781498761673.

8. ^ ***Schmidl, Petra G. ،"Two Early Arabic Sources On The Magnetic Compass"، Journal of Arabic and Islamic Studies: 81–132.***

9. **^ A. Einstein: "On the Electrodynamics of Moving Bodies", June 30, 1905. نسخة محفوظة 23 على موقع ٢٠٢٠ أبريل واي باك مشين.**