مقرر

الـــــفـيـــــزيـاء الـــــمغنـــــاطيسية

الفرقة .....الاولي

شعبة... رياضيات

أستاذ المقرر

د/ سحر النوبي ابراهيم

قسم الفيزياء – كلية العلوم بقنا

العام الجامعي

2022م / 2023

بيـــانـــات أساسية

الكلية: التربية

الفرقة: الاولي

التخصص: رياضيات

عدد الصفحات: 88

القسم التابع له المقرر : قسم الفيزياء

محتوي الكتـــاب

الباب الاول

اصل المغناطيسية وطبيعتها 6
المغناطيس والاقطاب المغناطيسية 6
انواع المجال المغناطيسي واشكاله 7
النظرية الجزيئية المغناطيسية 8
الاقطاب المغناطيسية..... 9
قانون التربيع العكسي..... 11
المجال المغاطيسي..... 12
شدة المجال المغناطيسي..... 14
العزم المغناطيسي 16
العلاقة بين مجالين متعامدين (قانون الظل) 17
شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن قضيب مغناطيسي 18
1-عند نقطة تقع علي محور المغناطيس..... 18
2-عند نقطة علي العمود علي محور القضيب المغناطيسي من منتصفه..... 20
القياسات المغناطيسية 22
1- مغناطومتر الانحراف 22
المقارنة بين عزمي مغناطيسين..... 23
1- طريقة تساوي المسافة..... 25
2- طريقة تلاشي الانحراف 25
2-مغناطومتر التذبذب 28
استعمالات مغناطومتر الذبذبة..... 30
المقارنة بين عزمي مغناطيسين باستخدام الذبذبة من مجموعة المغناطيسين معاً..... 30

تعيين عزم قضيب مغناطيسي والمركبة الارضية لمجال الارض 31
المغناطيسية الارضية..... 33
امثلة محلولة 35

الباب الثاني

تأثير القوة المغناطيسية علي الكهرباء..... 38
القوة المغناطيسية علي تيار كهربائي..... 46
الجلفانوميتر : 48
مقياس التيار (الاميتر) :..... **Error! Bookmark not defined.**
مقياس الفولت (فولتميتر): ..... **Error! Bookmark not defined.**
العلاقة بين المجال المغناطيسي والتيار الكهربائي:..... 46
المجال المغناطيسي لسلك طويل وملف اسطواني..... 56
القوة المغناطيسية بين تيارين متوازيين:..... 56
الفيض الكهربي 38
الفيض المغناطيسي..... 40
القوة المغناطيسية المؤثرة علي موصل يحمل تياراً كهربياً..... 48
عزم الازدواج المؤثر علي ملف كهربي 61
تأثير المجال المغناطيسي على موصل يمر به تيار..... 48
تأثير المجال المغناطيسي على حلقة يمر بها تيار 56
تأثير المجال المغناطيسي علي حركة جسيم مشحون..... 44
تطبيقات عملية على حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي..... 68
1- مرشح السرعة..... 68
2- مطياف الكتلة..... 70

الباب الثالث

الحث الكهرومغناطيسي 73
الحث الذاتي والحث التبادل 79
الطاقة المغناطيسية.....83

الباب الاول

اصل المغناطيسية وطبيعتها

ما اصل كلمة المغناطيسية وكيف تظهر في الاجسام ؟ لماذا تتمغنط القطع الحديدية عند لفها بسلك يمر فيه كهرباء ولا يحدث ذلك في الالومنيوم او الخشب؟

لاشك ان هناك علاقة بين امكانية تمغنط المواد وطبيعتها التركيبية الذرية الداخلية . وهذا ما نريد ان نفهمه في دراستنا للمغناطيسية.

ترتبط المغناطيسية بالكهرباء بشكل وثيق، وعلي الرغم من اننا ندرس كل منهما بشكل منفصل ونعرف كلاً من القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية كل علي حدة الا ان القوة الكهربائية تنتج من وجود شحنات كهربائية سواء ساكنة ام متحركة بينما تنتج القوة المغناطيسية عن حركة الاجسام المشحونة فقط، كما سنري لاحقا، ولهذا فهناك ارتباط اساسي بين الكهرباء والمغناطيسية . وبما ان كلا القوتين ترتبط بالكهرباء بهذا الشكل لذا يطلق عليهما احياناً اسم القوة الكهرومغناطيسية electromagnetic force .

فالمغناطيسية نتيجة حركة الشحنات الكهربائية وكل الاجسام المغناطيسية، بما في ذلك الكرة الارضية، لابد وان تحمل تيارات كهربائية بشكل او باخر . وسندرس في هذه الوحدة طبيعة الاجسام المغناطيسية وتأثيرها علي الشحنات الكهربائية ومصادر خاصية التمغنط وكيفية الاستفادة منها.

المغناطيس والاقطاب المغناطيسية

يعتقد الكثير من الناس ان المغناطيسية خاصة طبيعية مثل خاصة الكتلة والشحنة، بمعني انها اما ان تكون موجودة بالجسم او غير موجودة. لكننا سنري في هذه الفقرة

انها بالحقيقة خاصة متولدة ناتجه عن الكهرباء وتظهر في حالات معينة فقط لبعض الاجسام.

وقد عرف الانسان المغانط الطبيعية من ايام اليونان والاغريق القدماء. اشتق اسمها من اللغة الاغريقية عندما لاحظ ان بعض المعادن تستطيع جذب معادن معينة ، كبرادة الحديد لها . وقد تصور القدماء ان قدرة المغناطيس علي جذب برادة الحديد كانت نتيجة قوة خارقة غير طبيعية وبأن للمغناطيس روح قادرة علي التأثير علي هذه الاجسام . ومع بداية القرن الاول بعد الميلاد استطاع الصينيون الحصول علي مغناطيس من الحديد بدلك قطعة حديدية بمغناطيس طبيعي ، وادي ذلك لاول تطبيق عملي للمغناطيسية في التاريخ بصناعة البوصلة مما دل علي ان الارض تملك خواصاً مغناطيسية اساساً.

انواع المجال المغناطيسي واشكاله

تتوفر المغانط المصنعة حالياً بكثرة ويسر لاننا نعرف كيف نصنعهم الا انه والي وقت ليس ببعيد لم يكن الحصول علي مغناطيس بهذه السهولة وكانت معظم الممغانط المعروفة هي المغانط الطبيعية فقط . فكيف نصنع مغناطيساً؟ وكيف نستطيع المحافظة عليه او الغاء مغناطيسيته نهائياً؟

فمن المعروف انه اذا قربنا برادة حديد ناعمة من قضيب مغناطيسي لوجدنا ان اكبر كمية منها تلتصق بطرفيه مما يدل علي ان مغناطيسية هذه الاطراف اكبر من بقية القضيب . تسمي اطراف المغناطيس بالاقطاب poles ونقول ان للمغناطيس قطب شمالي واخر جنوبي لانه لو علقنا مغناطياً خفيفاً وتركناه يدور بشكل حر فوق سطح الارض لوجدنا ان احد قطبية يتجه نحو الشمال الجغرافي (فسمي قطب شمالي) بينما يتجه طرفه الاخر نحو الجنوب وسمي قطب جنوبي. ومما اثار فضول الناس دوماً انهم

لم يتمكنوا ابدا من فصل القطبين عن بعضهما اي انه لا يمكن حتي الان الحصول علي قطب شمالي بمفرده او قطب جنوبي بمفرده . ولو كسرنا قضيباً مغناطيسياً الي نصفين لحصلنا علي مغناطيسين اخرين لكل واحد منهما قطبان شمالي وجنوبي ومهما كررنا المحاولة لحصلنا علي نفس النتيجة.

من جهة اخري ، تبين من التجربة اننا اذا قربنا مغناطيسين من بعضهما فان الاقطاب المتماثلة تتنافر والاقطاب المختلفة تتجاذ ، تماماً مثل الشحنات الكهربائية. من هنا نصل لقانون الاقطاب law of poles الذي ينص علي ان : الاقطاب المتماثلة تتنافر والاقطاب المختلفة تتجاذب.

النظرية الجزيئية المغناطيسية

سبق ان ذكرنا ان للمغناطيس قطبين ، احدهما عند احد طرفيه والاخر عند طرفه الثاني . اما منتصف المغناطيس فلا تكاد تظهر فيه أي قطبيه.

فإذا ما قسم مغناطيس الي قسمين فإن كل جزء منهما يصبح مغناطيساً قائماً بذاته أي انه يصير له قطبان مختلفان احدهما شمالي والاخر جنوبي ، واذا ما جزء كل من هذين النصفين واختبر كذلك فإنه يكون له صفات المغناطيس ايضاً. ومهما تكررت عملية التجزئة هذه وكانت الاجزاء الناتجة من الصغر فأنها تكون دائماً عبارة عن مغناطيس قائماً بذاته.

ويمكن تفسير هذه الظاهرة علي اساس النظرية الجزيئية المغناطيسية التي تقضي بأن كل جزئ من جزيئات المادة المغناطيسية يمكن اعتباره مغناطيساً مستقلاً . وفي الظروف العادية تكون الجزيئات المغناطيسية غير مرتبة داخل المغناطيس، وتتجمع بطريقه عشوائيه لا يحدث معها أي صفات مغناطيسية . وعند مغنطة القضيب فأن هذه

الجزيئات المغناطيسية تنتظم في اتجاه واحد بحيث تشير اقطابها الشمالية الي اتجاه واحد واقطابها الجنوبية الي الاتجاه الاخر.

الاقطاب المغناطيسية

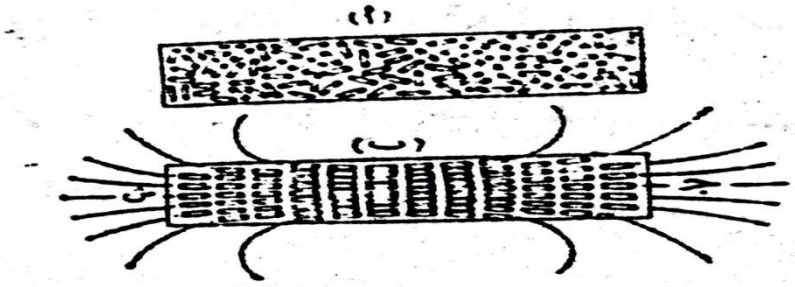
بجانب القوي والمجالات الكهربية يوجد في الطبيعه قوي ومجالات مغناطيسيه تم اكتشافها بعد العثور علي المغناطيس الطبيعي في مدينة مغيسيا وهذا المغناطيس الطبيعي عبارة عن حجر من مادة الماجنتيت (اكسيد الحديد المغناطيسي F_2O_3) وهذا الحجر يتميز بجذب برادة الحديد اليه. واذا استخدمنا في ذلك قضيب من الصلب في اتجاه واحد عدة مرات فان قضيب الصلب يكتسب خواصاً مغناطيسية حيث تنجذب اليه برادة الحديد متراكمه في منطقتين بالقرب من طرفيه وهاتان المنطقتان تسميان (قطبا المغناطيس) . والخط الواصل بينهما يدعي محور المغناطيس ونقطة المنتصف علي المحور تدعي نقطة الخمود وهي النقطه التي لا تنجذب اليها برادة الحديد ويسمي قضيب الصلب الممغنط في هذه الحاله بالمغناطيس الصناعي الدائم ويمكن الحصول علي مثل هذا المغناطيس بطريقة اخري غير الدلك بان يوضع قضيب الصلب في محور ملف حلزوني يمر به تيار كهربي مستمر .

وكل مغناطيس له قطبان مختلفان في النوع ومتساويان في الشده واذا علق المغناطيس تعليقاً افقياً بواسطة خيط رأسي وترك حر الحركة فانه يأخذ اتجاهاً معيناً يتفق تقريبا مع اتجاه خط الزوال الجغرافي وبهذا فاننا تعودنا ان نسمي القطب المتجه نحو الشمال الجغرافي بالقطب الشمالي N والقطب المتجه نحو الجنوب الجغرافي بالقطب الجنوبي S ويرجع ذلك الي ان الارض نفسها تعمل كمغناطيس كبير يستطيع توجيه جميع المغناطيسيات علي سطح الارض وبهذا فان البوصله (وهي عبارة عن مغناطيس صغير يتحرك في مستوي افقي حول محور رأسي) تستقر في اتجاه ثابت عندما

تخضع لمجال الارض فقط ويشير احد قطبيها نحو الشمال بينما القطب الاخر نحو الجنوب ولذلك تستخدم البوصله في معرفة الجهات الاصلية.

ولتفسير المغناطيسية فان كل جزئ او ذرة في أي مادة يعتبر مغناطيساً مستقلاً له قطبان مغناطيسيان يتولدان نتيجة وجود تيارات كهربيه داخل الجزئ او الذرة . والجزيئات في حالتها العادية تترتب داخل المادة الغير ممغنطة ترتيباً عشوائياً مبعثراً. وعند تمغنط المادة بالدلك او التأثير او الطرق الكهربيه فان جزيئات المادة تترتب ترتيباً خاصاً منظماً يؤدي الي ظهور الخواص المغناطيسية شكل (1)

وهنا يجب ان نميز بين التمغنط والتكهرب فالتكهرب يتم نتيجة فصل نوعي الشحنات الكهربيه عن النوع الاخر.



شكل (١)

قانون التربيع العكسي

من المعروف ان الاقطاب المغناطيسية المتشابهه تتنافر والمختلفة تتجاذب وكما في حالة الشحنات الكهربية فان قوة التنافر او التجاذب F بين قطبين مغناطيسين شدتهما Q_1 , Q_2 تفصلهما مسافة R تخضع لقانون التربيع العكسي لكولوم حيث وجد علمياً ان :-

$$F = \mu \frac{Q_1 Q_2}{R^2} \quad \text{.....(1)}$$

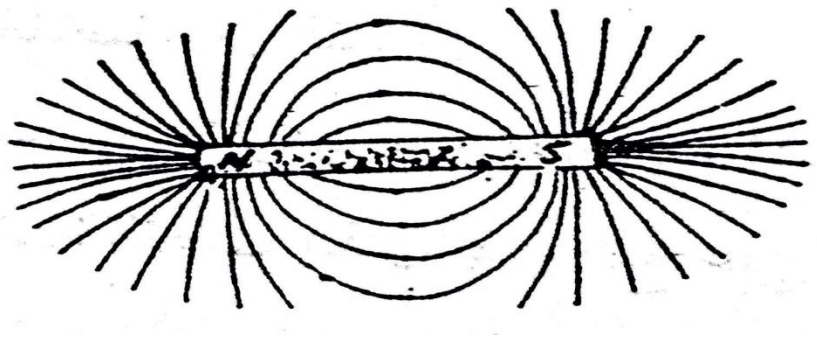
أي ان القوة F تتناسب طردياً مع شدة كل من القطبين وعكسياً مع مربع المسافة بينهما اما **μ** المقدار الثابت يسمي النفاذيه المغناطيسية = 1 للفراغ حيث تعتمد قيمته علي نوع الوحدات المستخدمه وعلي الوسط الفاصل بين القطبين وتقاس شدة القطب المغناطيسي بمقارنتها بوحدة نظرية لشدة القطب وتعرف هذه الوحده انها شدة القطب الذي اذا وضع علي بعد 1 سم من قطب مماثل في الفراغ لكانت القوة بينهما 1 داين فالقطب الذي شدته Q اذن يعادل هذه الوحدة Q مرة.

سؤال: بحسب قانون الاقطاب فان القطب الشمالي لابرة مغناطيسية ينجذب نحو القطب المغناطيسي الجنوبي للارض . لماذا يتجه قطب الابرة هذا اذا نحو الشمال الجغرافي للارض ؟

الجواب : لان القطب المغناطيسي الجنوبي للارض يتجه تقريبا نحو القطب الشمالي الجغرافي لها والعكس صحيح.

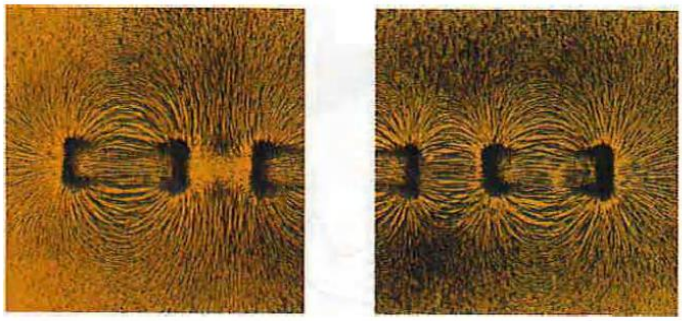
المجال المغاطيسي

لو نثرنا برادة حديد قرب مغناطيس علي طاولة للاحظنا ان البرادة تتوزع وفق خطوط محددة تنطلق من قطبي المغناطيس. تسمي هذه الخطوط خطوط المجال المغناطيسي . ونلاحظ ان اكبر كمية من البرادة قد تجمعت قرب القطبين ، كما اسلفنا سابقاً ، ولهذا نقول ان شدة المجال intensity هناك اكبر ما يمكن . وتمثل خطوط المجال المغناطيسي عند اي نقطة منها المنحي الذي تأخذه ابرة مغناطيسية موضوعة ، كما نري في الشكل (2)



شكل (2)

كما يوضح الشكل (3) خطوط المجال المغناطيسي الناتج بين مغناطيسين موضوعين بحيث يتقابل قطباهما المختلفان (3أ) وقطباهما المتماثلان (3ب)

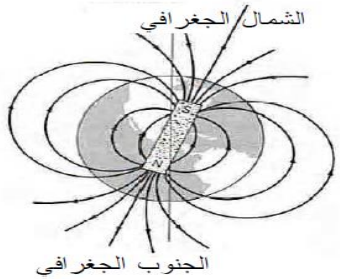


(أ) القطبان المتقابلان مختلفين (ب) القطبان المتقابلان متماثلين

شكل (3)

ويرمز لشدة المجال المغناطيسي بالرمز B ويطلق علي وحدته في النظام الدولي اسم تسلا Tesla وتعطي الرمز T وهي تساوي 1 N/A.m . وقد تبين ان مجالاً مغناطيسياً شدته 1 T يعتبر كبيراً جداً . لذا فان شدة مجالات المغانط المتوفرة في المختبرات العادية لاتتجاوز 0.01 T . اما المجال المغناطيسي للارض فيصل لحوالي 5×10^{-5}T .

وتشبه خطوط المجال المغناطيسي للكرة الارضية خطوط المجال لقضيب مغناطيسي علي امتداد قطر الارض ، كما هو موضح بالشكل (4).

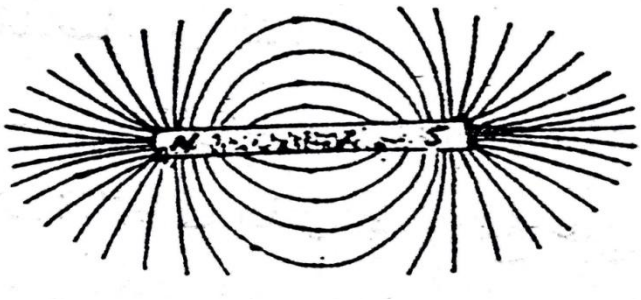


شكل (4)

المجال المغناطيسي الأرضي وامتداده

شدة المجال المغناطيسي

يعرف المجال المغناطيسي بانه المنطقة المحيطة بالمغناطيس والتي تظهر فيها اثاره المغناطيسية ويمكن الاستدلال علي هذه الاثار بوضع ابره مغناطيسية صغيرة في أي نقطه من المجال فنجد ان الابرة تاخذ اتجاه القوة المؤثرة عند هذه النقطه من المجال شكل (5).

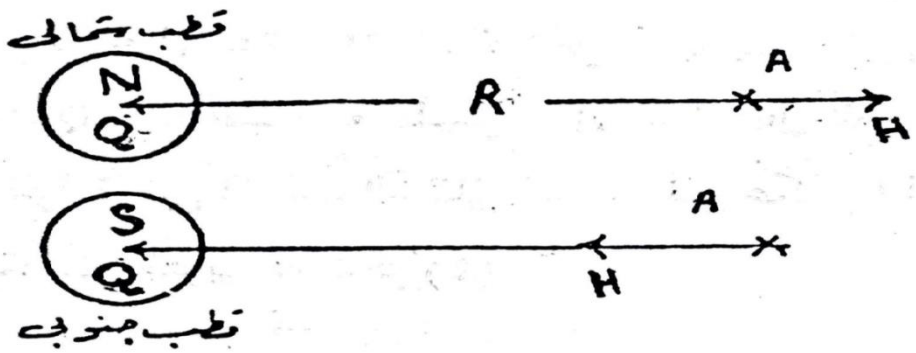


شكل (5)

وتقاس شدة المجال المغناطيسي عند نقطة ما مقداراً واتجاهاً بالقوة التي تؤثر علي قطب شمالي شدته الوحدة موضوع عند هذه النقطة . وطبقاً للمعادلة (1) فان شدة المجال H عند نقطة مثل A تبعد مسافة R عن قطب مغناطيسي شدته Q كما بالشكل (6) هي :-

$$H = \mu \frac{Q \times 1}{R^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

وتكون شدة المجال الكلي عند نقطه بسبب وجود مجموعة من الاقطاب المغناطيسية عبارة عن محصلة جميع المجالات المؤثرة عند هذه النقطة.



شكل (6)

واذا تخيلنا عند A قطباً شدته q فانه سوف يتأثر بقوة قدرها

$$F = \mu \frac{Qq}{R^2} \quad \text{.....(3)}$$

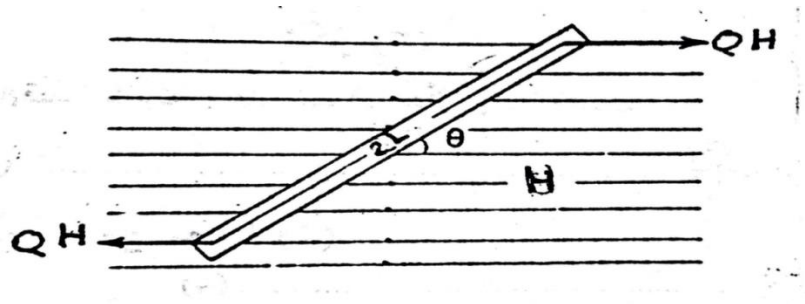
وبالتعويض عن H من المعادلة (2)

$$F = Q \times H \quad \text{.....(4)}$$

وتقدر شدة المجال المغناطيسي بالجاوس كذلك يكون اتجاه المجال المغناطيسي عند نقطة ما هو اتجاه القوة التي تؤثر علي قطب شمالي منفرد موضوع عند هذه النقطة ويكون اتجاه المجال بعيداً عن القطب المنفرد اذا كان القطب شمالياً او نحوه اذا كان القطب جنوبياً.

العزم المغناطيسي

لما كان للقضيب المغناطيسي قطبان احدهما شمالي والاخر جنوبي فان المغناطيس اذا وضع في مجال منتظم H فان كلاً من قطبيه يتأثر بقوة قدرها QH حيث Q شدة قطب المغناطيس، H شدة المجال الغناطيسي ويكون اتجاه القوة المؤثرة علي القطب الشمالي للمغناطيس عكس اتجاه القوة المؤثرة علي القطب الجنوبي له شكل (7)



شكل (7)

وتكون هاتان القوتان ازدواجاً يعمل علي ادارة المغناطيس حتي ينطبق محوره علي اتجاه المجال المغناطيسي. وعندما يغلق مغناطيس طوله 2L وشدة كل من قطبيه Q في مجال منتظم H كما بالشكل فان المغناطيس يدور حتي يستقر في اتجاه المجال المؤثر وسبب الدوران هو تأثير المغناطيس بازدواج عزمه.

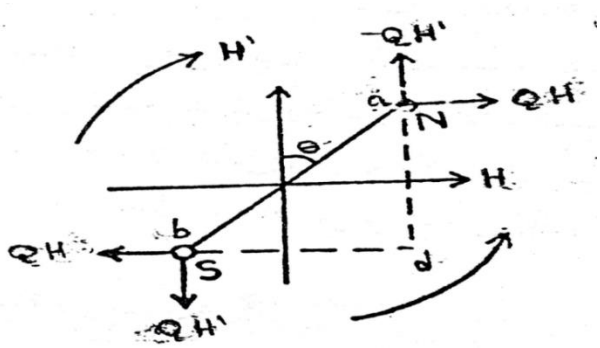
$$QH(2L \sin \theta) = 2QLH \sin \theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

حيث θ هي الزاوية التي يصنعها محور المغناطيس مع اتجاه المجال H، عزم المغناطيس.

فاذا كانت $\theta = 90^{\circ}$, H=1 فان العزم المؤثر علي القضيب M=2QL ويكون العزم المؤثر علي المغناطيس اكبر ما يمكن ويسمي M بالعزم المغناطيسي وهو عزم الازدواج اللازم لحفظ المغناطيس عمودياً علي مجال مغناطيسي منتظم شدته الوحدة.

العلاقة بين مجالين متعامدين (قانون الظل)

نفرض ان ab مغناطيس طوله 2L وشدة كل من قطبيه Q ومعلق بحيث يكون حر الحركة في مستوي مجالين منتظمين متعامدين كما بالشكل (8)



شكل (8)

وبهذا فان المغناطيس سوف يتأثر بازدواجين متضادين احدهما QH.ad في اتجاه عقرب الساعه والثاني QH' bd في اتجاه مضاد وبذلك يستقر المغناطيس (حينما يتساوي عزما الازدواجين) صانعاً زاوية ɵ مع اتجاه المجال H'

$$\therefore QH.ad = QH'.bd$$

$$\therefore H = H'\frac{bd}{ad}$$

$$\therefore H = H'\tan\theta \ldots\ldots$$

شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن قضيب مغناطيسي

1-عند نقطة تقع علي محور المغناطيس

ويسمي هذا الوضع بالوضع الاول لجاوس ويمكن حساب شدة المجال عند نقطة علي امتداد محور مغناطيس وعلي بعد R من منتصفه وذلك بايجاد محصلة القوتين الناشئتين عن قطبيه الشمالي والجنوبي . فاذا فرضنا قطباً شمالياً منفرداً موضوع عند النقطة N شكل (9) فانه يكون متأثرً بقوتين احدهما ناتجة عن القطب الشمالي للمغناطيس والاخري ناتجة عن القطب الجنوبي له.

وتكون بذلك شدة المجال المحصلة H مساوية $H_1 + H_2$

وحيث ان :

$$H_1 = \frac{\mu Q}{(R-L)^2} \quad , \quad H_2 = \frac{\mu Q}{(R+L)^2}$$

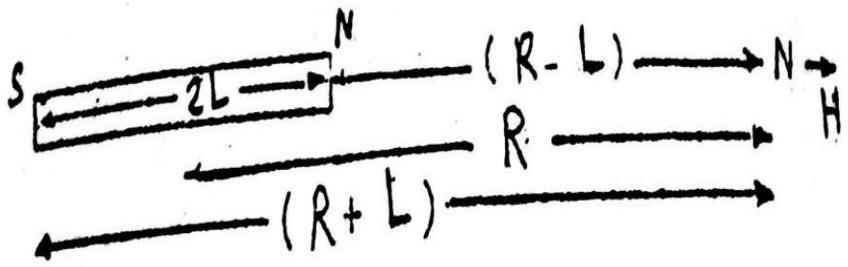
فان :

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 = \mu \frac{Q}{(R-L)^2} + \mu \frac{-Q}{(R+L)^2}$$

$$\therefore H = \mu Q \left[\frac{4LR}{(R^2 - L^2)^2} \right] = \mu \frac{2MR}{(R^2 - L^2)^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

حيث Q شدة القطب ، 2L طول المغناطيس ، M عزم المغناطيس حيث M=2QL واذا كان المغناطيس قصير بالنسبة للمسافة فانه يمكن اهمال L^2 بالنسبة الي R^2 وبذلك تؤول المعادلة (7)

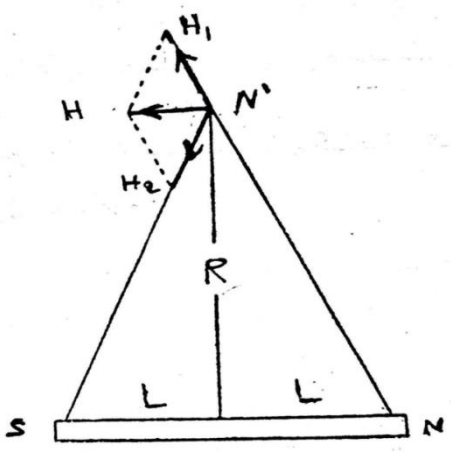
$$H = \mu \frac{2M}{R^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$



شكل (9)

عند نقطة علي العمود علي محور القضيب المغناطيسي من منتصفه

ويسمي هذا الوضع بالوضع الثاني لجاوس ففي هذه الحالة ايضاً اذا فرضنا قطباً شمالياً منفرداً موضوع عند النقطة N فانه يكون واقعاً تحت تأثير قوتين احدهما H_1 ناتجة عن القطب الشمالي والاخري H_2 ناتجة عن القطب الجنوبي واتجاه هاتين القوتين موضحاً بالشكل (10)



شكل (10)

أي ان

$$H_1 = \mu \frac{Q}{(R^2+L^2)^2} \qquad H_2 = \mu \frac{Q}{(R^2+L^2)^2} \qquad (9)$$

وتكون بذلك محصلة المجالين

$$H = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 = 2H_1 \cos\theta = \mu \frac{2Q}{(R^2+L^2)} \cdot \frac{L}{(R^2+L^2)^{\frac{1}{2}}} = \mu \frac{M}{(R^2+L^2)^{\frac{3}{2}}} \quad ..(10)$$

حيث ɵ الزواية NSN′ ويكون اتجاه المجال موازياً لمحور المغناطيس.

واذا كان المغناطيس قصيراً بالنسبة للمسافه فانه يمكن اهمال L^2 بالنسبة الي R^2 وبذلك تؤول المعادلة (10) الي :

$$H = \mu \frac{M}{R^3} \qquad \ldots\ldots\ldots (11)$$

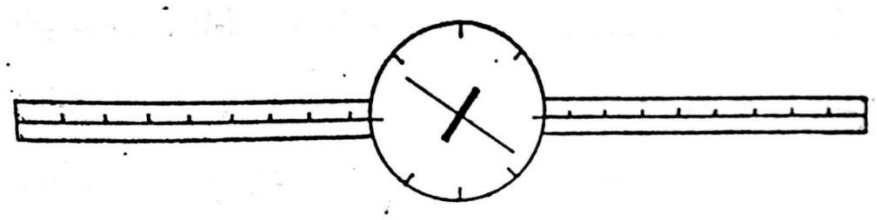
القياسات المغناطيسية

يقصد بالقياسات المغناطيسية طرق قياس العزم المغناطيسي M والمركبة الافقية لمجال الارض ويستخدم لذلك عادة اجهزة تعرف بالمغناطومتر وهي نوعان مغناطومتر الانحراف ومغناطومتر التذبذب

مغناطومتر الانحراف

يبني عمل مغناطومتر الانحراف اساسا علي فكرة المجالين المتعامدين وامكان استخدام العلاقة (6) ويتكون مغناطومتر الانحراف كما بالشكل (11) من ابرة مغناطيسية قصيرة تتحرك في مستوي افقي حول محور رأسي مار بمنصفها وبمركز تدريج دائري داخل علبة خشبية يتصل بها ذراعان خشبيان مدرجان بالسنتيمترات لقياس المسافة ابتداء من مركز الابرة ، وتقاس زاوية انحراف الابرة بواسطة مؤشر خفيف من الالومنيوم عمودي علي الابرة ، وقبل استخدام المغناطومتر يجب ان يراعي ما يلي :

1- يهيأ مغناطومتر الانحراف بحيث يتجه ذراعاه شرقاً وغرباً اي يكون الذراعان عموديين علي اتجاه الابرة المغناطيسية وطرفا المؤشر علي صفري التدريج ويوضع المغناطيس المراد اختباره بحيث يكون محوره عمودياً علي ذراع المغناطيس ويطبق قانون الظل.



شكل (11)

2- تؤخذ دائما قراءة التدريج الدائري المناظرة لطرفي المؤشر وذلك لتقليل الخطأ الذي ينشأ نتيجة لاحتمال عدم تطابق محور ارتكاز الابرة ومركز التدريج الدائري.

3- يعكس وضع القضيب المغناطيسي المستخدم قطباً لقطب دون تغير بعد منتصفه من الابرة المغناطيسية وذلك لتقليل الخطأ الذي ينشأ نتيجة احتمال عدم تساوي بعد قطبي المغناطيس من منتصفه.

4- ينقل المغناطيس المستخدم لنفس المسافة علي الذراع الثاني وذلك لتقليل الخطأ الذي ينشأ نتيجة احتمال عدم تطابق صفر تدريج الذراعين ومركز الابرة في قيمة $\tan \theta$ والتي قد تحدث نتيجة الاخطاء الصغيرة في تقدير الانحراف نفسها.

5- يستخدم مغناطومتر الانحراف في اغراض كثيرة منها اثبات قانون التربيع العكسي والمقارنة بين عزمي مغناطيسين وتقدير العزم والطول المغناطيسي للمغناطيس.

المقارنة بين عزمي مغناطيسين

يهيأ مغناطومتر الانحراف بحيث يتجه ذراعاه شرقاً و غرباً اي يكون الذراعان عموديان علي اتجاه الابرة المغناطيسية. يوضع المغناطيس الاول علي احدي ذراعي المغناطومتر وعلي بعد R_1 من مركز الابرة وليكن الانحراف الناتج θ_1 (متوسط ثمانية قراءات) وحيث ان الابرة سوف تخضع لمجالين متعامدين احدهما مجال مغناطيسي H_1 والاخر مجال الارض H' .

$$\therefore H_1 = H' \tan \theta_1$$

.....(12)

$$\mu \frac{2M_1 R_1}{(R_1^2 - L_1^2)^2} = H' \tan\theta_1 \qquad \text{.....(13)}$$

حيث M_1 , L_1 هما طول وعزم المغناطيس الاول ثم يبعد المغناطيس الاول تماماً من المغناطومتر ويوضع المغناطيس الثاني علي احد ذراعي المغناطومتر وعلي R_2 بعد من مركز الابرة وليكن الناتج في هذه الحالة θ_2 فيكون:

$$\mu \frac{2M_2 R_2}{(R_2^2 - L_2^2)^2} = H' \tan\theta_2 \qquad \text{.....(14)}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{R_2 \tan\theta_1 (R_1^2 - L_1^2)^2}{R_1 \tan\theta_2 (R_2^2 - L_2^2)^2} \qquad \text{.....(15)}$$

وهذه هي المعادلة العامة للمقارنة بين عزمي مغناطيسين.

وهناك طريقتي للمقارنة بين عزمي مغناطيسين وهما طريقة تساوي المسافة وطريقة تلاشي الانحراف.

طريقة تساوي المسافة

ويمكن المقارنة بين عزمي مغناطيسين بطريقة تساوي المسافات وذلك بوضع المغناطيس الذي عزمه M_1 وطوله $2L_1$ علي امتداد احد ذراعي المغناطومتر وعلي مسافة R من مركز الابرة ونقيس متوسط الانحراف θ_1 وبالمثل نضع المغناطيس الاني الذي عزمه M_2 وطوله $2L_2$ علي نفس المسافة السابقة ونقيس متوسط الانحراف θ_2 اي ان $R_1 = R_2$ في المعادلة (15) وفي حالة ما اذا المغناطيسان قصيرين فان المعادله (15) تؤول الي :-

$$\frac{M_1}{M_2} \quad \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2} \quad \text{.....(16)}$$

طريقة تلاشي الانحراف

وكذلك يمكن المقارنة بين عزمي المغناطيسين بطريقة تلاشي الانحراف وذلك بوضح احد المغناطيسين M_1 علي احد ذراعي المغناطومتر ويوضع المغناطيس الاخر M_2 في نفس الوقت علي الذراع المقابل ويحرك المغناطيسان قرباً اوبعداً حتي يتلاشي الانحراف ويستقر طرفا المؤشر علي صفري التدريج اي تظل الابرة في اتجاه المركبة الافقية الارضيه H' وبهذا فان المجال H_1 الناشئ عن المغناطيس الاول سوف يتعادل عند مركز الابرة مع المجال H_2 الناشئ عن المغناطيس الثاني اي ان $H_1 = H_2$ ونفرض ان التعادل يحدث عندما يكون المغناطيس الاول علي بعد R_1 والثاني علي بعد R_2 من مركز الابرة واذا كان المغناطيسان قصيرين فان المعادلة (15) تكون علي الصورة :-

$$\frac{M_1}{M_2}\frac{R_1^3}{R_2^3} \quad \text{.....(17)}$$

تقدير العزم والطول المغناطيسي لمغناطيس

يوضع المغناطيس الذي عزمه M وطوله 2L في الوضع الاول لجاوس علي احد ذراعي المغناطومتر وعلي مسافة معينة R ونأخذ متوسط الانحراف ɵ ونكرر هذا العمل عند مسافات مختلفة.

$$\therefore H = H' \tan\theta$$

وبالتعويض عن H من المعادلة (7) ووضع $\mu = 1$

$$\frac{2MR}{\left(R^2 - L^2\right)^2} = H' \tan\theta \quad \text{.....(18)}$$

$$\therefore \sqrt{R\cot\theta} = \sqrt{\frac{H'}{2M}\left(R^2 - L^2\right)} \quad \text{.....(19)}$$

وهذه معادلة خط مستقيم ميله $\sqrt{\frac{H'}{2M}}$ ويقطع المحور الافقي علي بعد L^2 وبذلك فاننا بالتمثيل البياني للمقدار R^2 مع المقدار $\sqrt{R\cot\theta}$ نحصل علي خط مستقيم ميله يعطينا عزم المغناطيس اذا عرفنا قيمة H′ في مكان التجربة واما الطول 2L فيحسب من الجزء المقطوع. ويلاحظ ان الحصول علي خط مستقيم يعتبر اثباتاً لقانون التربيع العكسي لان المعادلة الممثلة بيانياً مستنتجة علي اساس ان قانون التربيع العكسي صحيح.

اما اذا فرضنا ان المغناطيس قصير جداً فان المجال المغناطيسي عند R يكون:

$$\frac{2M}{R^3} = H' \tan\theta \qquad \text{.....(20)}$$

ومنها نجد ان

$$R^3 = \frac{2M}{H'}\cot\theta \qquad \text{.....(21)}$$

من ذلك نجد ان العلاقة بين R^3 , cot ɵ علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الاصل وميل المستقيم $\frac{2M}{H'}$ يمكن ايجاد العزم المغناطيسي بمعلومية المركبة الافقية للارض.

مغناطومتر التذبذب

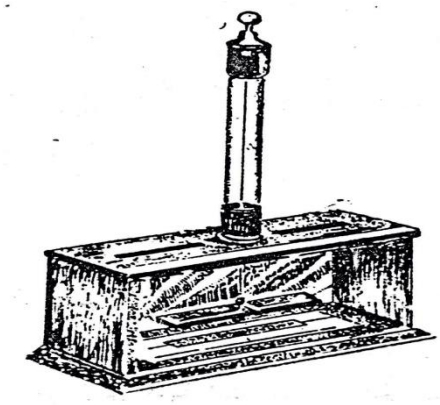
يتكون كما بالشكل (12) من مغناطيس معلق من منتصفه بخيط رفيع من الحرير بحيث يستطيع الحركة في مستوي افقي حول محور رأسي داخل صندق زجاجي يحميه من تأثير التيارات الهوائية الخارجية فاذا علق مغناطيس من منتصفة عند مركز ثقله بحيث كان حر الحركة في مستوي اقفي فانه يتذبذب اولاً الي ان يسكن في اتجاه المركبة الافقية لمجال الارض وعندما يتذبذب المغناطيس ينحرف عن المركبة الافقية لمجال الارض بزاوية صغيرة ɵ الامر الذي يجعل ازدواجاً عزمه $MH' \sin \theta$ يعمل علي اعادة المغناطيس ثانية الي وضع الانطباق علي المركبة H′ (او اي مجال اخر منتظم يتذبذب المغناطيس فيه).

واذا كانت زاوية الذبذبة صغيرة كان الازدواج مساوياً $MH' \theta$ ويمكن اذاً كتابة معادلة حركة المغناطيس

$$K\frac{d^2\theta}{dT^2} = -MH'\theta$$

.....(21)

حيث K عزم القصور الذلتي للمغناطيس ويتوقف علي كتلته وابعاده ومقطعه.



شكل (12)

المعادلة (21) معادلة حركة توافقية بسيطة زمنها الدوري :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{K}{MH'}} \quad \text{.....(22)}$$

اي ان المغناطيس المذكور سوف يتذبذب حول محور التعليق داخل صندوق المغناطومتر بزمن قدره T كما في المعادلة ويظل هذا التذبذب مستمراً الي ان يستقر المغناطيس اخيراً في اتجاه المجال المؤثر H' ولاستخدام مغناطومتر الذبذبة يجب التأكد من ان خيط التعليق خالي من اللي وذلك بان يوضع في الحامل قضيب من النحاس له نفس شكل وكتلة القضيب المغناطيسي والانتظار حتي يمتنع لف الخيط (ان وجد).

يدار الصندوق بهدوء وهو مغلق الجوانب الزجاجية حتي يأخذ محور القضيب النحاسي اتجاه المركبة الافقية لمجال الارض تفتح احد الجوانب الزجاجية ويستبدل القضيب

النحاسي بالقضيب المغناطيسي بهدوء حتي لا يحدث لي في خيط التعليق . يوضع الجانب الزجاجي ثانية في مكانه بذلك يكون مغناطومتر الذبذبة معداً ومهيأ للاستعمال.

استعمالات مغناطومتر الذبذبة

يستخدم مغناطومتر الذبذبة في المقارنة بين شدتي مجالين والمقارنة بين عزمي مغناطيسين وتعيين العزم المغناطيسي لقضيب والمركبة الافقية لمجال الارض.

المقارنة بين عزمي مغناطيسين باستخدام الذبذبة من مجموعة المغناطيسين معاً

في هذه الطريقة يعلق المغناطيسان معا من الحلقة النحاسية بحيث يكون محورهما متوازيين ويكون مركز احجهما فوق مركز الثاني تماما وبحيث يتجه القطب الشمالي لاحدهما الي القطب الشمالي للاخر والجنوبي للمغناطيس الاول الي القطب الجنوبي للمغناطيس الاخر فيصبح العزم المغناطيسي للمجموعة $M=M_1+M_2$ كذلك يكون عزم القصور الذاتي للمجموعة $K=K_1+K_2$ ، تعلق المجموعة في الحامل النحاسي لمغناطومتر الذبذبة ويقاس زمن الذبذبة T وهي تتذبذب تحت تأثير المركبة الافقية لمجال الارض H' في هذه الحالة:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{K_1 + K_2}{(M_1 + M_2)H'}} \quad \text{.....(23)}$$

يعكس وضح احد المغناطيسين بحيث يتجه القطب الشمالي لكل منهما نحو القطب الجنوبي للاخر شكل (12) ويعين زمن الذبذبة للمجموعة T_2 تحت تأثير نفس المجال H' وليكن في هذه الحالة :

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{K_1 + K_2}{(M_1 - M_2)H'}} \quad \text{.....(24)}$$

يلاحظ ان عزم القصور الذاتي ثابت في الحالتين لانه يتوقف علي كتلة وابعاد المغناطيس المعلق فقط وليس اتجاه اقطابه.

ومن المعادلتين السابقتين:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{T_2^2 - T_1^2}{T_2^2 + T_1^2} \qquad (25)$$

تعيين عزم قضيب مغناطيسي والمركبة الارضية لمجال الارض

1- يستعمل في هذه التجربة كل من مغناطومتر الانحراف ومغناطومتر الذبذبة وذلك بان يوضع القضيب المغناطيسي المراد تعيين عزمه علي مسافة R من ابرة مغناطومتر الانحراف في الوضع الاول لجاوس ليكن الانحراف الناتج (متوسط ثمانية قراءات) ɵ.

$$\frac{2MR}{\left(R^2 - L^2\right)^2} = H' \tan\theta$$

$$\therefore \frac{M}{H'} = \frac{\left(R^2 - L^2\right)^2}{2R} \tan\theta$$

.....(26)

وبهذا نحصل علي خارج القسمة $\frac{M}{H'}$ بمعلومية الكميات R,L,ɵ .

2- نعلق المغناطيس المراد ايجاد عزمه M في مغناطومتر الذبذبة في مستوي افقي ونقيس متوسط زمن الذبذبة الواحدة تحت تأثير المركبة الافقية للارض H′ .

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{K}{MH'}}$$

$$MH' = \frac{4\pi^2 K}{T^2} .$$

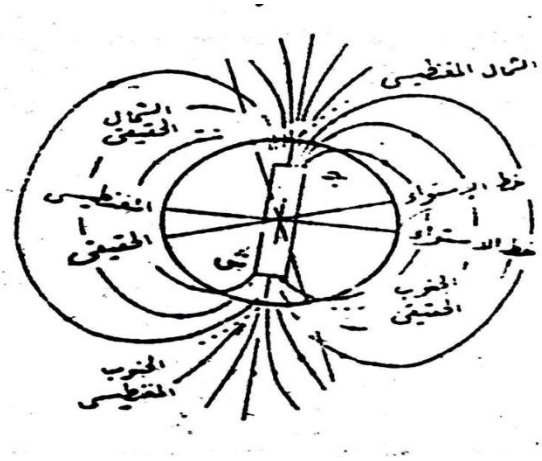
.....(27)

ومن هذه المعادلة يمكن حساب حاصل ضرب MH′ بمعلومية عزم القصور K والزمن T .

وبضرب المعادلة (26) في المعادلة (27) ينتج M^2 ومنه نوجد M وبقسمة (27) علي المعادلة (26) ينتج H'^2 ومنه نوجد H' .

المغناطيسية الارضية

يرجع الفضل في تفسير استقرار حجر المغناطيس او الابرة المغناطيسية في اتجاه معين اذا علقت تعليقاً حراً الي وجهة النظر التي تقدم بها وليم جلبرت بان الارض تؤثر علي هذه الاجسام كما لو كانت هي نفسها ممغنطة او كأنها تحتوي بداخلها مغناطيس هائل ينحرف محوره علي مستوي الزوال الجغرافي (المستوي المار رأسياً بالخط الواصل بين الشمال والجنوب الجغرافي) وبزاوية الانحراف شكل (13).

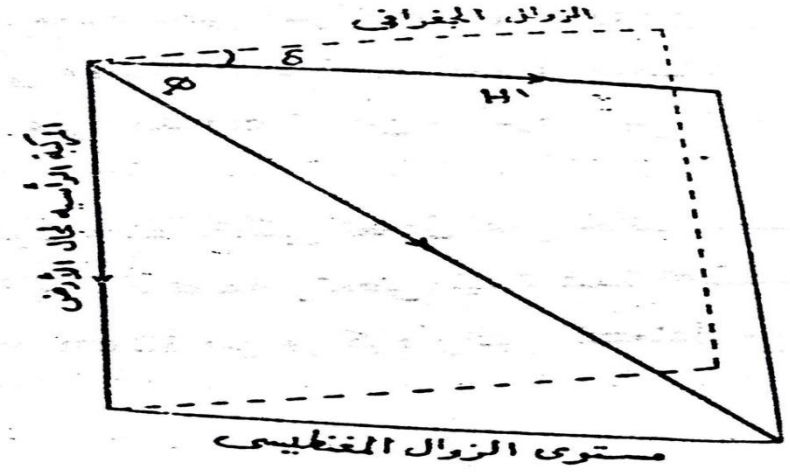


شكل (13)

ويسمي المستوي المار بمحور المغناطيس الارضي والقطبين الشمالي والجنوبي المغناطيسين بمستوي الزوال المغناطيسي.

والمجال المغناطيسي الارضي له مركبتين في مستوي الزوال المغناطيسي المركبة الافقية H′ والمركبة الرأسية وعلي ذلك يمكن القول بأن المجال المغناطيسي الارضي يمكن ان تحدده الكميات الاتية:-

1- المركبة الافقية للمجال المغناطيسي الارضي ويرمز لها بالرمز H′ .
2- زاوية الانحراف δ وهي الزاوية بين مستوي الزوال المغناطيسي ومستوي الزوال الجغرافي شكل (14)
3- زاوية الميل ϕ وهي الزاوية بين المجال الارضي والمركبة الافقية، وتسمي الكميات ϕ,δ,H′ بالعناصر المغناطيسية التي تحدد الحالة المغناطيسية عند اي مكان من سطح الارض . وجدير بالذكر ان هناك تغيرات صغيرة تطرأ علي العناصر المغناطيسية عند المكان الواحد من سطح الارض ،بعض هذه التغيرات دورية منتظمة او سنوية او كل الف سنة تقريباً وبعضها غير منتظم يقترن بظهور البقع الشمسية (العواصف المغناطيسية).



شكل (14)

امثلة محلولة

1- اذا علم ان المركبة الافقية لمجال الارض في مكان ما 0.3 G وان عزم الازدواج اللازم لحفظ قضيب مغناطيسي طوله 12 cm مائلاً بزاوية 30° عليها هو 72 فاوجد شدة القطب.

في هذه الحالة يتعين عزم الازدواج M الذي يحفظ المغناطيس في وضعه المائل بزاوية 30° مع اتجاه المركبة الافقية لمجال الارض من المعادلة:

$$M= 2\times Q\times L\times H\times \sin 30$$

$$72 = 2\times Q\times 6\times 0.3\times 0.5$$

$$Q = \frac{72x2}{2x6x0.3} = 40$$

وحدة شدة قطب

2- وضع قضيب مغناطيسي طوله 18 cm وشدة قطبه 45 وحدة موازياً الزوال المغناطيسي وبحيث كان قطبه الشمالي متجهاً نحو الشمال فوجد ان نقطة التعادل تقع علي بعد 12cm من مركزه . استنتج قيمة المركبة الافقية لمجال الارض

في هذه الحالة يكون هناك نقطتي تعادل علي جانبي المغناطيس علي العمود علي محوره عند منتصفه وتعطي قيمة شدة المجال الناتج عن المغناطيس علي بعد 12cm من مركزه والتي ستتعادل مع المركبة الافقية H′ وفقاً للمعادلة.

$$H = \frac{2QL}{\left(R^2 + L^2\right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{2x45x9}{\left[(12)^2 + (19)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = 0.24G$$

3- ربط مغناطيسان معاً وعلقا تعليقاً حراً ليتذبذبا كمجموعة واحدة تحت تأثير المركبة الافقية لمجال الارض فوجد ان المجموعة تعمل 10 ذبذبات في الدقيقة وعندما عكس احد المغناطيسين قطباً لقطب وجد ان زمن الذبذبة اصبح 20 ذبذبة في الدقيقة اوجد النسبة بين عزميهما.

نفرض M_1 العزم المغناطيسي للمغناطيس الاول ، M_2 العزم المغناطيسي للمغناطيس الثاني.

في الحالة الاولي

$$\frac{60}{60} = 2\pi\sqrt{\frac{K}{(M_1 - M_2)H}}$$

$$\frac{60}{60} = 2\pi\sqrt{\frac{K}{(M_1 + M_2)H}}$$

بقسمة المعادلتين

$$\therefore \left(\frac{20}{10}\right)^2 = \frac{M_1 + M_2}{M_1 - M_2}$$

اي ان

$$4 = \frac{M_1 + M_2}{M_1 - M_2}$$

$$4M_1 - 4M_2 = M_1 + M_2$$

$$3M_1 = 5M_2$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{5}{3}$$

الباب الثاني

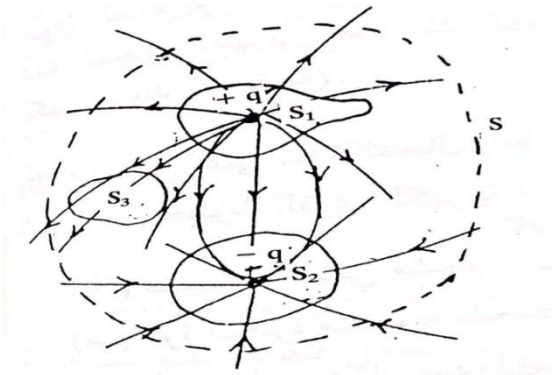
الفيض الكهربي

الفيض بصفة عامة هو خاصية من خواص المجال المتجهة كسريان الموائع مثلاً ، او المجال المغناطيسي او المجال الكهربي فانها تعمل علي سطح افتراضي في المجال سواء كان هذا السطح مفتوحاً او مقفلاً فاذا افترضنا اي سطح افتراضي فان الفيض الكهربي بصفة خاصة هو عدد خطوط القوى الكهربية التي تمر عمودياً علي هذا السطح الافتراضي.

في المسطح المقفل (ϕ_E) كمية موجبة اذا كانت خطوط القوي من الداخل الي الخارج قاطعة له وتكون (ϕ_E) سالبة اذا حدث العكس من الخارج الي الداخل.

يتضح في الشكل (1) ان (ϕ_E) موجبة للسطح (S_1) وسالبة للسطح (S_2) وتساوي صفر للسطح (S_3) وكذلك للسطح (S) كله المحيط بالشحنتين

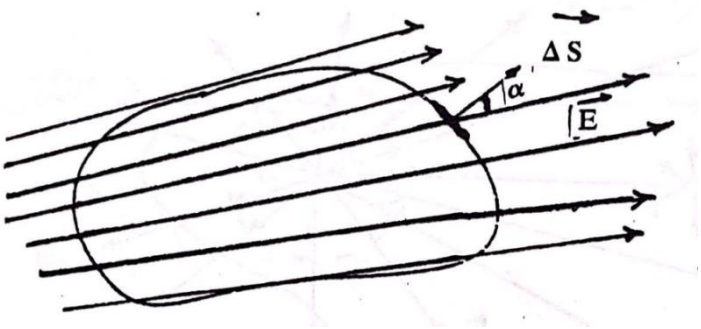
. (-q , +q)



شكل (1)

حساب الفيض الكهربي (ϕ_E) حول نقطة في المجال الكهربي:

نرسم سطحاً اختيارياً مقفلاً حول النقطة. نقسم السطح الي اجزاء صغيرة مساحية مقدارها ds وهي تمثل بمتجهه عمودية الي الخارج علي هذا العنصر من السطح كما بالشكل (2)



شكل (2)

نفرض ان شدة المجال عند هذه النقطة (العنصر) هي $\vec{E}$ وتصنع زاوية (α) مع اتجاه العمودي علي السطح اي مع المتجهه $\vec{\Delta S}$ اي ان عدد خطوط القوى المارة عمودياً علي وحدة المساحات هي مركبة المجال العمودية علي السطح عند هذا العنصر.

∴ عدد الخطوط المار خلال ΔS هو

$$\Delta\phi = E \cos\alpha \cdot \Delta S$$
$$= \vec{E} \cdot \overrightarrow{\Delta S}$$
$$\therefore \phi_E = \Sigma \vec{E} \cdot \overrightarrow{\Delta S}$$

وبأخذ النهايات علي السطح كله يمكن استبدال عملية الجمع بعملية تكامل علي السطح المقفل كله نحصل علي الفيض الكهربي الكلي القاطع للسطح اي ان:

$$\phi_E = \oint \vec{E} \cdot dS$$

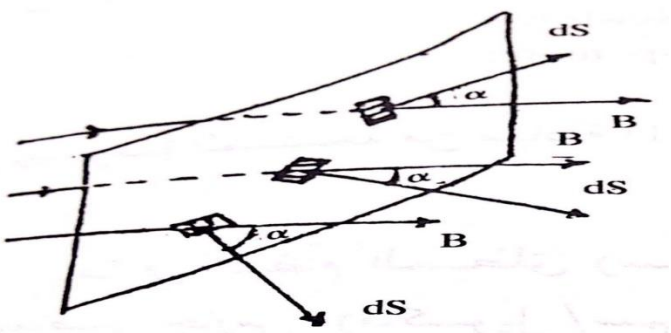
الفيض المغناطيسي

يعرف الفيض المغناطيسي (ϕ_B) بطريقة مناظرة تماماً لما عرض سابقاً في تعريف الفيض الكهربي (ϕ_E) ونحصل علي مقدارها كالاتي :

نفترض سطحاً منغمراً في مجال مغناطيسي ($\vec{B}$) ونقسم السطح الي عناصر مساحية متناهية الصغر ($\vec{ds}$) (يؤخذ اتجاهها الي الخارج عمودية علي السطح كأنها متجهة) ثم يجمع حاصل ضرب القياسي بين ($\vec{B}$) و (ds) فيكون الفيض ($\overrightarrow{\phi_B}$) مساوياً كما يأتي :

$$\phi_B = \Sigma \vec{B} . \overrightarrow{dS}$$
$$= \Sigma B \, dS \cos\alpha$$

حيث (α) هي الزاوية المحصورة بين $(\vec{ds}\ ,\ B)$ او هي الزاوية المحصورة بين $(\vec{B})$والعمودي علي السطح للمساحة $(\vec{ds})$ انظر الشكل (3)



شكل (3)

باستبدال عملية الجمع للاستمرار بعملية تكامل تعطي لنا :

$$\phi_B = \int \vec{B}.\ \overrightarrow{dS}$$

يجب الانتباه هنا ان التكامل علي السطح مقفل او مفتوح . ويختلف التكامل هنا في المغناطيسية في معناه عنه فيما ظهرت في الكهربية.

فان التكامل في حالة الكهربية يجب ان يكون غلي السطح المقفل وفي المغناطيسية الفيض لسطح مقفل يساوي صفر اي ان :-

$$\phi_B = \oint \vec{B}.\ \overrightarrow{dS} = \text{Zero}$$

وهذا له معني هام بأنه في المغناطيسية لا يوجد قطب مفرد وهذه العلاقة الاخيرة تعتبر من المعادلات الهامه في النظرية الكهرومغناطيسة (معادلات ماكسويل).

وحدات (ϕ_B) هي وحدة الحث المغناطيسي (B) مضروبة في وحدة المساحة فوحدات (ϕ_B) في النظام العملي هو الويبر (Weber).

وفي الوحدات المطلقة هي ماكسويل او (جاوس.سم^2) ، حيث:

$$1 \text{ Weber.} = 10^8 \text{ Maxwell.}$$

والفيض المغناطيسي (ϕ_B) او الفيض الكهربي (ϕ_E) هو كمية عددية.

تأثير القوة المغناطيسية علي الكهرباء

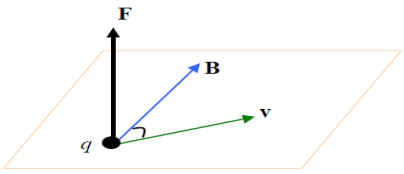
هل تتأثر ذرات الهواء العادي بمغناطيسية الارض ؟ كيف يمكن لنا ان نتفحص هذا ونعرف كيف تفيدنا مغناطيسية الارض التي تحيط بنا من كل جابن ؟ هل نستفيد من تأثير المجال المغناطيسي علي حركة الالكترونات في الاجهزة الكهربائية المنزلية؟

لقد تبين من التجارب المختلفة انه اذا تحرك جسم شحنته q في منطقة فيها مجال مغناطيسي شدته B بسرعة v عمودية عليه فانه يخضع لقوة مغناطيسية تعطي قيمتها بالعلاقة :

$$F=qvB \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

وتتجه هذه القوة عمودياً علي كل من سرعة الجسم واتجاه المجال ، اي عمودياً علي المستوي الحاوي لهما ، كما في الشكل (1).

ولاتجاه القوة المغناطيسية بالنسبة لسرعة الجسم اثر كبير علي حركته . ذلك ان اي قوة عمودية علي سرعة جسم لا تزيد من قيمتها بل تحرفه عن مساره وتجعله يتحرك في مسار دائري ، اي انها قوة مركزية قيمتها mv^2/r .



شكل (1)

ويمكن معرفة نصف قطر المسار الدائري الذي يتحرك عليه جسم مشحون في مجال مغناطيسي بسهولة. فاذا افترضنا ان جسماً كتلته m وشحنته q دخل منطقة فيها مجال مغناطيسي B بسرعة v ، عندئذ تكون قيمة القوة المؤثرة عليه هي:

$$F=qvB$$

وبما ان القوة عمودية علي السرعة فهي مركزية اي ان :

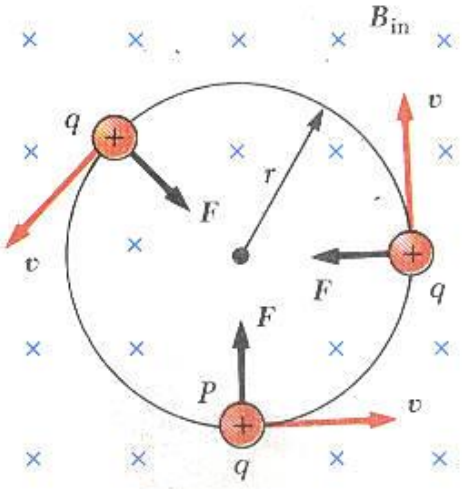
$$qvB = m\frac{v^2}{r}$$

ومن ثم نجد نصف قطر المسار الدائري من العلاقة السابقة :

تأثير المجال المغناطيسي علي حركة جسيم مشحون

درسنا في الجزء السابق ان القوة المغناطيسية المؤثرة على جسم مشحون يتحرك في مجال مغناطيسي تكون دائماً عمودية على سرعة الجسم. وهذا يعني أن الشغل المبذول بواسطة القوة المغناطيسية يساوي صفر وبالتالي فإن تأثير المجال المغناطيسي على حركة جسم مشحون هو تغير اتجاهه بحيث يسلك الجسم المشحون في مجال مغناطيسي مساراً دائرياً يكون مستوى هذا المسار الدائري عمودياً على المجال المغناطيسي.

بتطبيق قانون نيوتن لجسم يتحرك في مسار دائري لإيجاد القوة المؤثرة ومساواتها بالقوة المغناطيسية نجد أن نصف قطر المسار يعطى بالعلاقة التالية:



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

$$r = \frac{mv}{qB}$$

وهذا يعني ان نصف قطر المسار الذي يسلكه الجسم المشحون في مجال مغناطيسي يتناسب طرديا مع كتلة وسرعة الجسم وعكسيا مع الشحنة وقيمة المجال المغناطيسي.

وتعطى قيمة التردد الزاوي Angular frequency والزمن الدوري Period للجسم المشحون بـ

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

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

يعرف التردد الزاوي في العديد من التطبيقات بـ Cyclotron frequency.

أي أن التردد الزاوي Angular frequency والزمن الدوري Period للجسم المشحون لا يعتمدان على السرعة أو نصف القطر.

$$r = \frac{mv}{qB}$$

مثال :يدخل بروتون شحنته $e=1.6\times10^{-19}$ C وكتلته $m=1.67\times10^{-27}$ kg بسرعة $v=5\times10^{6}$ m/s عمودية علي مجال مغناطيسي شدته 0.01 T . ما قيمة القوة المغناطيسية المؤثرة علي البروتون وما نصف قطر المسار الذي سيتحرك عليه؟

الحل: نستخدم العلاقة (1) لحساب قيمة القوة المغناطيسية فنجد :

$$F = qvB$$

$$\Rightarrow F = (1.6\times10^{-19}\,\text{C})(5.0\times10^{6}\,\text{m/s})(0.1\,\text{T}) = 8.0\times10^{-14}\,\text{N}$$

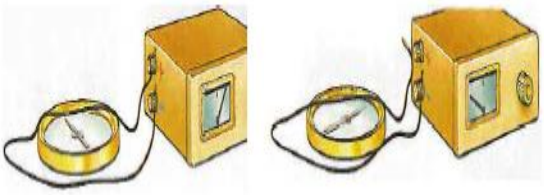
كما نجد نصف قطر المسار الدائري من العلاقة ( ):

$$r = \frac{mv}{qB} = \frac{(1.67\times10^{-27}\,\text{kg})(5.0\times10^{6}\,\text{m/s})}{(1.6\times10^{-19}\,\text{C})(0.1\,\text{T})}$$

$$\Rightarrow r = 5.2\times10^{-2}\ \text{m}=5.2\ \text{cm}$$

العلاقة بين المجال المغناطيسي والتيار الكهربائي:

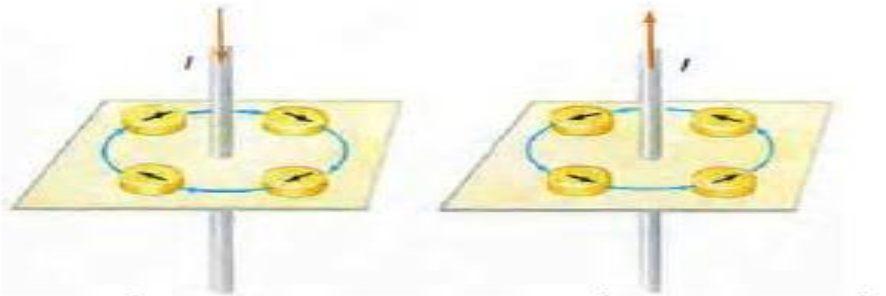
في عام 1820 اكتشف الفيزيائي الدنماركي هانز اورستيد علاقة بين مرور تيار في سلك كهربائي ووجود مجال مغناطيسي حوله. فقد لاحظ انه اذا وضعت بوصلة صغيرة قرب سلك بأنها تنحرف عند مرور تيار كهربائي فيه بينما تعود لوضعها الاصلي عند انقطاع التيار ، كما هو موضح بالشكل ( ).



(أ) لايوجد تيار والبوصلة في وضعها الطبيعي (ب) التيار مار والبوصلة تنحرف

الشكل (5-14): تأثير التيار الكهربائي على بوصلة

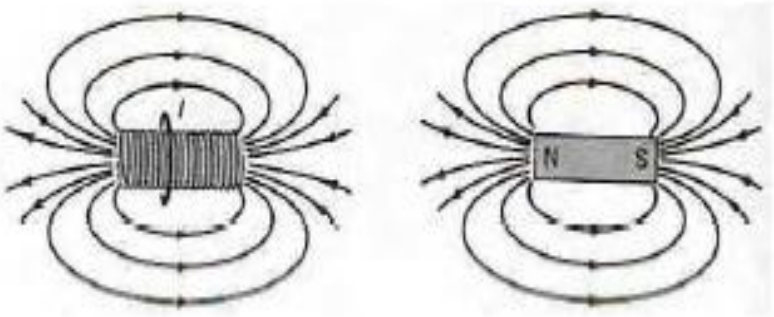
ولاحظ اورستيد ايضاً ان قطبي البوصلة لا يتجهان نحو او بعيداً عن السلك بل يأخذان منحنى دائرياً ، كما في الشكل ( ) ، فاستنتج أن خطوط المجال المغناطيسي الناتج عن السلك تتجه بعكس عقارب الساعة عندما يتحرك التيار فيه لأعلى ومع عقارب الساعة اذا تحرك للأسفل .



(أ) التيار يتحرك للأعلى (ب) التيار يتحرك للأسفل

ويمكن أن نجد خطوط المجال المغناطيسي لتيار مار في سلك مستقيم بواسطة قاعدة اليد اليمنى وذلك بتوجيه إبهام اليد اليمنى باتجاه التيار فيكون اتجاه خطوط المجال المغناطيسي مع حركة بقية أصابع اليد حول التيار ، كما هو موضح بالشكل ( ).

فأصل الخاصية المغناطيسية في الاجسام اذا هي التيارات الكهربائية. ويتم عادة الحصول على مجالات مغناطيسية بعدة طرق من أشهرها الملفات الاسطوانية حيث يلف سلك على محيط اسطوانة طويلة فيتولد مجال مغناطيسي على امتداد محورها وكأنه قضيب مغناطيسي ، كما في الشكل ( ).



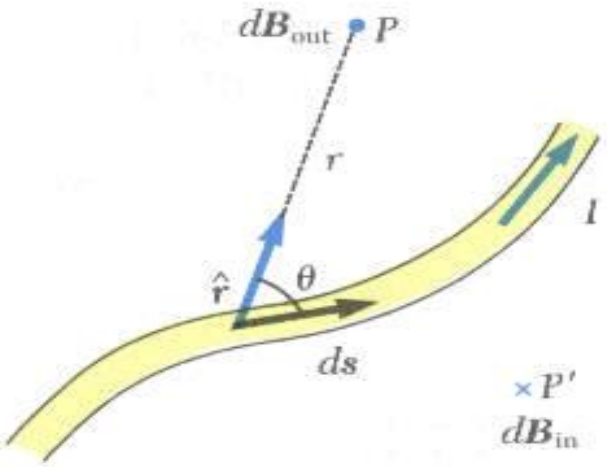
الشكل (5-17): المجال المغناطيسي لملف اسطواني

قانون بيوت سافارت | قانون امبير | الفيض المغناطيسي

لقد درسنا تعريف المجال المغناطيسي وخصائصه وتأثيره على الشحنة المتحركة الذي يجعل الشحنة تأخذ مساراً دائرياً وتأثيره على سلك يمر به تيار كهربي بقوة وعلى ملف يمر به تيار مما يؤثر عليه بازدواج، ولم نتعرض إلى دراسة مصدر المجال المغناطيسي وكيفية حسابه وفي هذه المحاضرة سوف ندرس قانونين من القوانين التي تتعامل مع هذه الموضوع 0 القانون الأول يدعى قانون بيوت سافارت Biot Savart Law والقانون الثاني هو قانون امبير Ampere's Law. وهذين القانونين يناظران قانون كولوم وقانون جاوس لحساب المجال الكهربي.

قانون بيوت سافارت Biot Savart Law

بعد اكتشاف التأثير المغناطيسي عام 1819 بواسطة العالم اورستد Oersted لسلك يمر به تيار كهربي ويؤثر على ابرة مغناطيسية موضوعة بجواره. قام العالمين بيوت وسافارت بعدة تجارب لايجاد العلاقة بين التيار المار في سلك والمجال المغناطيسي الناتج عنه عند اية نقطة في الفراغ. وقد توصلوا إلى الحقائق العملية التالية:



- أن متجه المجال المغناطيسي dB لعنصر صغير من السلك طوله ds عند نقطة P في الفراغ تكون دائما عمودية على كلاً من العنصر ds ومتجه الإزاحة r الذي يتجه من عنصر السلك ds إلى النقطة P.
- يتناسب مقدار المجال المغناطيسي dB عكسيا مع مربع المسافة r^2
- يتناسب مقدار المجال المغناطيسي dB طرديا مع مقدار التيار المار في السلك
- يتناسب مقدار المجال المغناطيسي dB طرديا مع sinq حيث أن الزاوية q هي الزاوية المحصورة بين متجه الازاحة r والعنصر من السلكds

هذه النتائج العملية يمكن تلخيصها في قانون بيوت سافارت

$$dB = k_m \frac{I\, ds \times \hat{r}}{r^2}$$

where the constant $k_m = 10^{-7}$Wb/A.m ($k_m = \mu_0 / 4\pi$)

μ_0 is the permeability of the free space. $m_0 = 4p´10^{-7}$Wb/A.m

قانون بيوت سافارت للمجال المغناطيسي الناتج عن عنصر صغير ds من سلك

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\, ds \times \hat{r}}{r^2}$$

لاحظ أن القانون السابق يعطي قيمة المجال المغناطيسي الناشئ عن عنصر صغير من السلك ds ولذلك يجب اجراء عملية التكامل للحصول على قيمة المجال المغناطيسي الناتج من السلك كله...

قانون بيوت سافارت للمجال المغناطيسي الكلي الناتج عن سلك طوله *l*

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{ds \times \hat{r}}{r^2}$$

قانون امبير Ampere's Law

قانون أمبير هو صياغة أخرى للعلاقة بين التيار والمجال المغناطيسي الناشئ عنه في صورته التكاملية ويستخدم في حل المسائل التي تحتوي على درجة عالية من التماثل ويأخذ قانون امبير الصورة التالية:

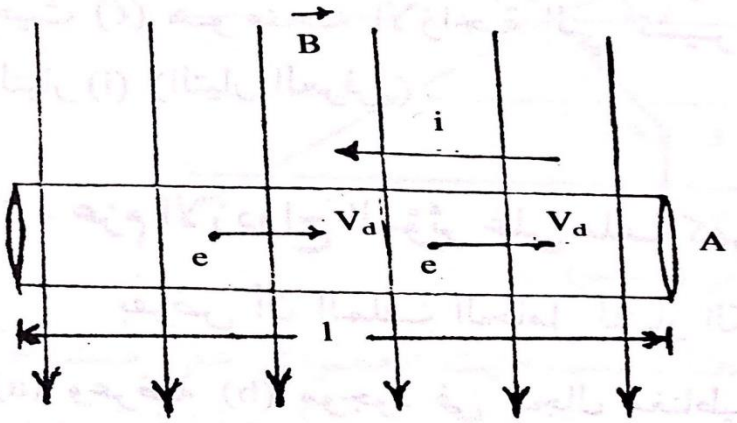
$$\oint B.dA = \mu_o I$$

وهذا يعني أن التكامل على مسار مغلق يحيط بالسلك الذي يمر به التيار يساوي قيمة التيار في ثابت السماحية في الفراغ μ_0.

القوة المغناطيسية المؤثرة علي موصل يحمل تياراً كهربياً

لما كان التيار الكهربي هو سيل من الشحنات المتحركة (في المعادن تكون الكترونات) فيجب معرفة القوة المغناطيسية المؤثرة علي سلك يحمل تياراً كهربياً. ويمكننا ايجاد هذه القوة كما يلي :

اعتبر طول (l) من سلك يحمل تياراً (i) امبير موجود في مجال مغناطيسي (B) ويصنع زاوية (ɵ) عليه كما هو موضح في شكل ( )



شكل ( )

القوة المتوسطة المؤثرة علي الكترون واحد ينساب بسرعة (V_d) هي :

$$F' = q_0 V_d B \sin\theta$$

ولكن

$$q_0 = e \ , \ \theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\therefore \ F' = eV_d B$$

ولكن

$$F = (n_0 A l) F'$$

وهي القوة الكلية التي تؤثر علي السلك كله

$$\therefore F = n_0 A e v_d l B$$

وحيث $n_0 A e V_d = 1$

(n_0) عدد الالكترونات الحرة في وحدة الحجوم من السلك ، (A) مساحة المقطع. وبما ان الطول (l) من السلك يحتوي علي عدد ($n_0 A l$) من الالكترونات الحرة.

$$\therefore F = i \ell B$$

او عامة في اي وضع يميل المجال علي التيار في السلك بزاوية ɵ تعطي F بالعلاقة الاتية :

$$F = i \ell B \sin\theta$$

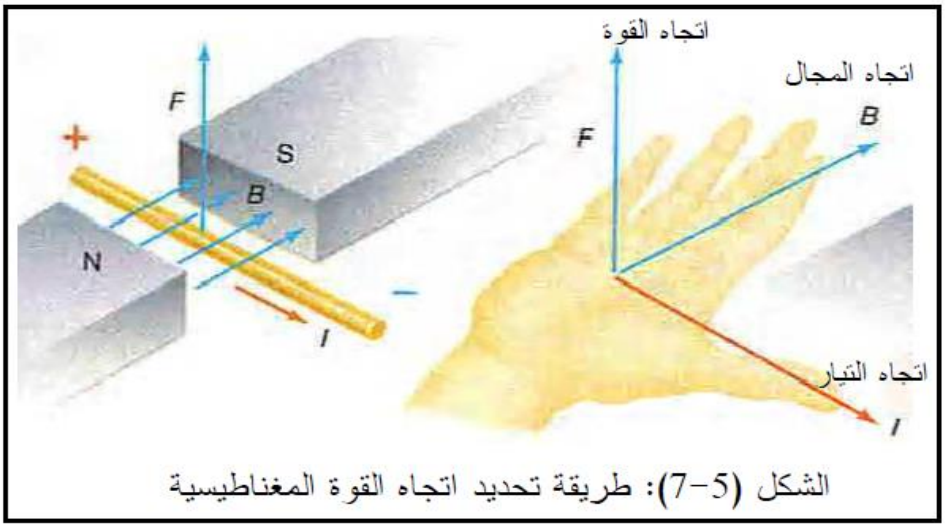
حيث (ɵ) الزاوية بين اتجاه المجال واتجاه التيار العرفي.

اذا كانت (i) بالامبير ، (l) بالمتر ، (B) ويبر/متر^2 فان (F) تكون بالنيوتن. ويحدد اتجاه القوة (F) ايضاً كما سبق شرحه بقاعدة اليد اليسري والعلاقة العامة التي تعطي القوة مقداراً واتجاهاً هي :

$$\vec{F} = i\vec{\ell} \times \vec{B}$$

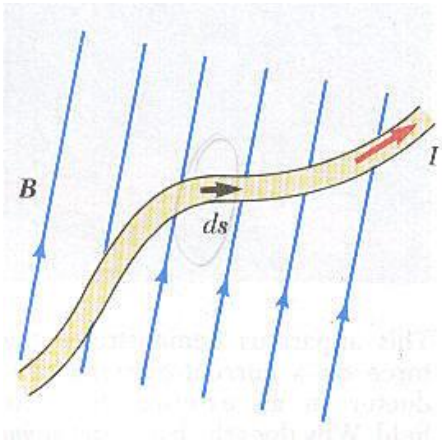
وهذه المعادلة تمثل القوة المغناطيسية الكلية المؤثرة على سلك يمر به تيار في مجال مغناطيسي و l هو متجه في اتجاه التيار.

ويمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة علي جسم مشحون او تيار كهربائي بطريقة بسيطة باستخدام اليد اليمني. فيوجه الابهام باتجاه سرعة الجسم او التيار الكهربائي بينما توجه بقية الاصابع باتجاه المجال، عندئذ يصير الكف مشيراً لاتجاه القوة المغناطيسية، كما هو موضح بالشكل (3)



الشكل (5-7): طريقة تحديد اتجاه القوة المغناطيسية

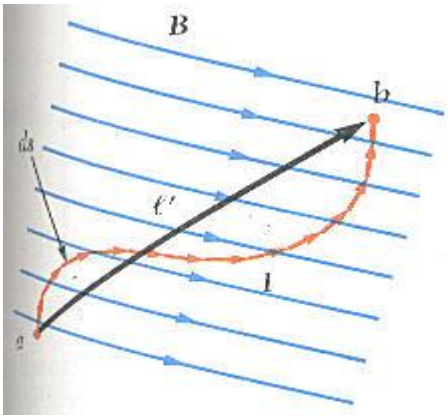
شكل (3)



في حالة سلك غير منتظم فإننا نقسم السلك إلى عناصر صغيرة طول كل منها ds كما في الشكل وتكون القوة المغناطيسية المؤثرة على العنصر ds هو

$$dF = I\, ds \times B$$

حالة خاصة (1)

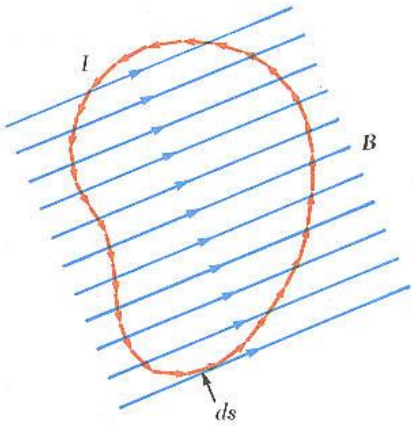


في حالة سلك منحني كما في الشكل ويمر به تيار في مجال مغناطيسي منتظم فإن القوة المغناطيسية في هذه الحالة هي:

$$F = I\, l \times B$$

حيث l هي الازاحة بين نقطة البداية والنهاية للسلك.

حالة خاصة (2)



في حالة وجود حلقة متصلة من سلك يمر به تيار كهربي موضوع في مجال مغناطيسي منتظم فإن القوة المغناطيسية الكلية المؤثرة على الحلقة يساوي صفراً.

$$F = 0$$

dsوذلك لأن المجموع الاتجاهي للازاحات الصغيرة يساوي صفراً حيث ستكون نقطة البداية هي نقطة النهاية

مثال

ما القوة المغناطيسية التي يخضع لها سلك طوله 20 cm يمر فيه تيار 5 A عندما يوضع في منطقة فيها مجال مغناطيسي شدته 0.1 T يصنع معه زاوية 90° ؟

الحل

نستفيد من العلاقة ( ) ونكتب :-

$$F = IlB = (5\,\mathrm{A})(0.2\,\mathrm{m})(0.1\mathrm{T})$$
$$\Rightarrow F = 0.1\,\mathrm{N}$$

المجال المغناطيسي لسلك طويل وملف اسطواني

تبين ان المجال المغناطيسي الناتج عن سلك طويل يمر فيه تيار I عند نقطة تبعد عنه مسافة r يعطى بالعلاقة :

$$B = \frac{2\times10^{-7} I}{r}$$

أما المجال المغناطيسي الناتج عن ملف اسطواني طويل طوله L وعدد لفاته الكلي N ويمر فيه تيار I داخله فيعطى بالعلاقة :

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{L} = 4\pi \times 10^{-7} nI$$

حيث وضعنا n=N/L عدد لفات الملف بوحدة الطول.

مثال :

يتحرك بروتون داخل ملف اسطواني طويل عدد لفاته 1000/m ويمر فيه تيار 5A .

(أ) ما شدة المجال المغناطيسي الناتج داخل الملف ؟

(ب) ما القوة المغناطيسية التي سيخضع لها البروتون اذا تحرك عموديا على محور الملف بسرعة 3000 m/s ؟

الحل:

(أ) نحسب شدة المجال الناتج من العلاقة ( ) فنكتب :

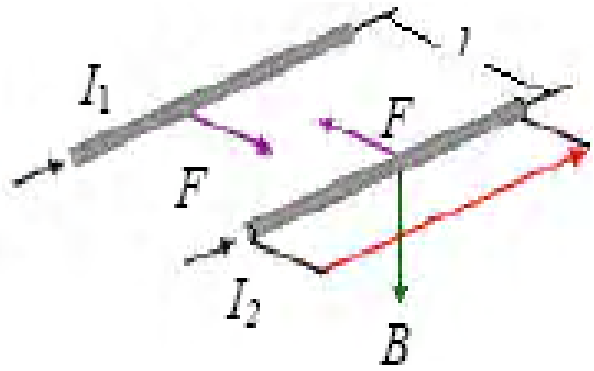
$$B = 4\pi \times 10^{-7} nI = 4\pi \times 10^{-7} (1000/\mathrm{m})(5\mathrm{A}) = 6.28\, m\mathrm{T}$$

(ب) لحساب القوة المغناطيسية على البروتون نستخدم العلاقة ( ):

$$F = qvB = (1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C})(3\times10^{3}\,\mathrm{m/s})(6.28\, m\mathrm{T}) = 3\times10^{-17}\,\mathrm{N}$$

القوة المغناطيسية بين تيارين متوازيين:

من أبسط تطبيقات المجال المغناطيسي الناتج عن تيار في سلك كهربائي هو تأثيره على سلك كهربائي مجاور ، كما في الشكل (*) ، حيث نلاحظ أن كلا السلكين المتوازيين يولد مجالاً مغناطيسياً عند موقع السلك الآخر ، لذلك يخضع كل منهما لقوة مغناطيسية .



شكل(*)

ولتحديد قيمة واتجاه القوة المتبادلة بين السلكين نكتب قيمة المجال الناتج عن التيار 1 عند موقع التيار 2 من العلاقة ( ) بالشكل:

$$B = \frac{2\times10^{-7} I_1}{r}$$

ثم نكتب القوة المغناطيسية التي يخضع لها طول l من السلك 2 نتيجة المجال B من العلاقة ( ) فنجد :

$$F = I_2 l B = \frac{I_2 l (2\times10^{-7} I_1)}{r}$$

أي ان القوة المؤثرة على وحدة الطول من السلك 2 هي :

$$\frac{F}{l} = \frac{2 \times 10^{-7} I_1 I_2}{r}$$

وواضح من العلاقة السابقة ان القوة المؤثرة على وحدة الطول من السلك 1 تعطى بنفس الشكل تماماً . لذلك يؤثر السلكان على بعضهما بقوتين متساويتين ومتعاكستين .

اما اتجاه القوة المتبادلة بين السلكين فيعتمد على اتجاه التيارين المارين فيهما، فإن كانا بنفس الاتجاه فتكون القوة تجاذبية ، وان كانا باتجاهين متعاكسين تكون القوة تنافرية (بين ذلك !) .

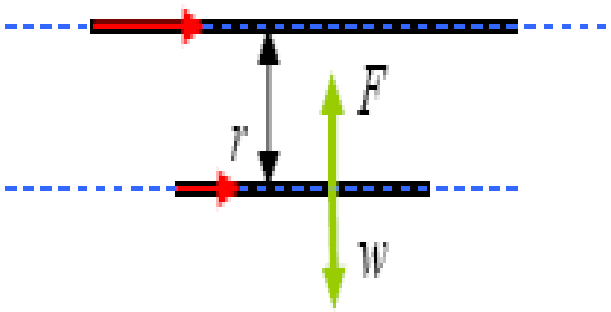
مثال : يتزن سلك كهربائي طوله 10 cm وكتلته 5 g ويمر فيه تيار 30 A عندما يوضع أفقياً في الهواء تحت سلك آخر طويل مواز له ويمر فيه تيار 50 A .

(أ) بأي اتجاه يجب ان يتحرك التياران حتى يتزن السلك ؟

(ب) ما المسافة بين السلكين ؟

الحل :

(أ) يوضح الشكل ( ) حالة السلك المذكور فحتى يبقى ساكناً يجب ان تكون القوة المغناطيسية بينه وبين السلك العلوي تجاذبية أي يجب ان يتحرك التياران بنفس الاتجاه .



(ب)لتحديد المسافة بين السلكين نلاحظ ان وزن السلك هو :

$$w = mg = (5\times10^{-3}\,\mathrm{kg})(9.8\mathrm{m/s^2}) = 0.049\,\mathrm{N}$$

بينما قوة التجاذب المغناطيسي مع السلك الآخر فنجدها من العلاقة ( ) ونكتب :

$$\frac{F}{l} = \frac{2\times10^{-7} I_1 I_2}{r} = \frac{2\times10^{-7}(30\,\mathrm{A})(50\,\mathrm{A})}{r} = \frac{3\times10^{-4}}{r}\,\mathrm{N/m}$$

$$\Rightarrow F = (\frac{3\times10^{-4}}{r}\,\mathrm{N/m})(0.1\mathrm{m}) = \frac{3\times10^{-5}}{r}\,\mathrm{N}$$

و بمساواة هذه القوة مع الوزن نجد :

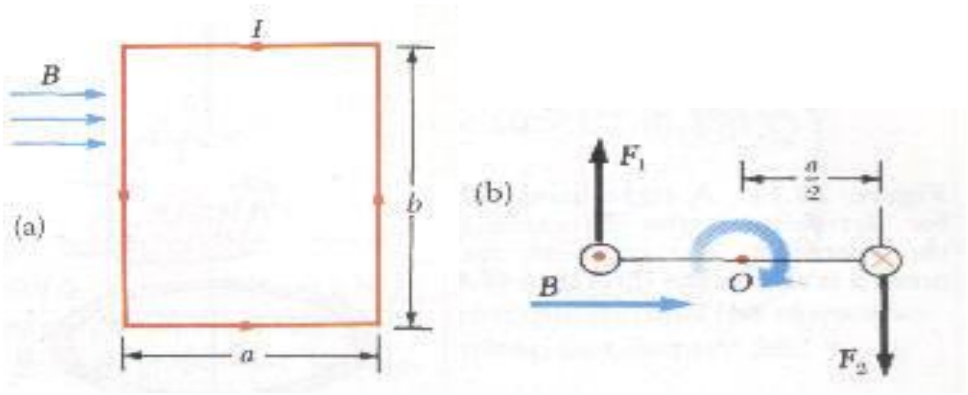
$$\frac{3\times10^{-5}}{r} = 0.049 \Rightarrow r = 0.61\mathrm{mm}$$

تأثير المجال المغناطيسي على حلقة يمر بها تيار

في الدرس السابق وجدنا ان قوة مغناطيسة تؤثر على سلك (1) يمر به تيار (2) وموضوع في مجال مغناطيسي خارجي. وبنفس الكيفية نجد ان القوة المغناطيسية تؤثر بقوة عزم ازدواج على حلقة يمر بها تيار موضوعة في مجال مغناطيسي خارجي.

حالة خاصة المجال المغناطيسي يوازي مستوى الحلقة

لنفرض حلقة من سلك موصل يمر به تيار I وموضوع في مجال مغناطيسي B موازي لمستوى الحلقة كما في الشكل ادناه.



يؤثر المجال المغناطيسي على طول الضلعين b بقوة مغناطيسية متساوية في المقدار $IbB = F_2 = F_1$ ومتعاكسة في الاتجاه ولكن خط عملهما مختلف مما ينتج عن ذلك ازدواج Torque. يعطى بالعلاقة التالية:

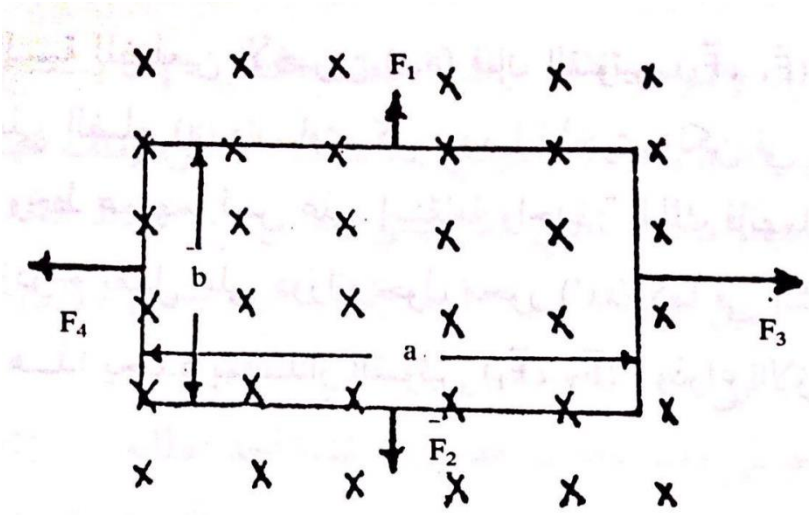
$$t = IAB$$

بينما تكون القوة المغناطيسية على طول الضلعين a تساوي صفر وذلك لأن الزاوية المحصورة بين المجال المغناطيسي والتيار تساوي صفر للضلع السفلي و 180 درجة للضلع العلوي من الحلقة.

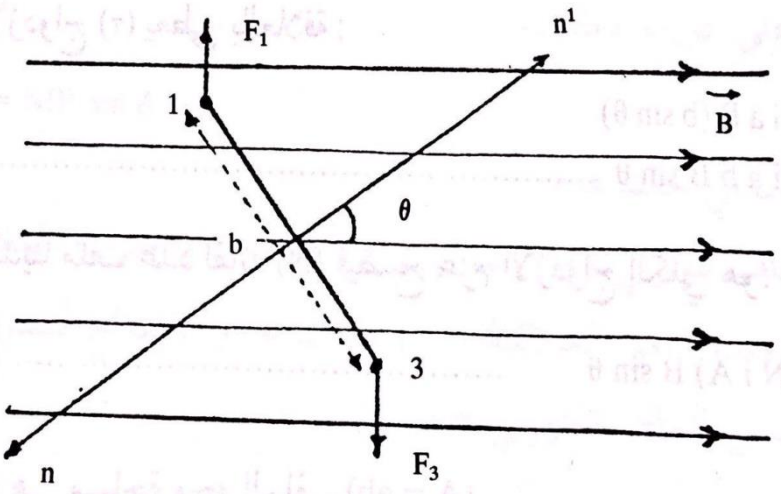
عزم الازدواج المؤثر علي ملف كهربي

بفرض ان الملف الحامل للتيار الكهربي علي شكل مستطيل طوله (a) وعرضه (b) موجود في مجال مغناطيسي $(\vec{B})$. ويوجد احتمالين لوضع الملف داخل المجال المغناطيسي.

في الوضع (أ) المجال المغناطيسي عمودي علي مستوي الملف وموضح علي الشكل ( ) اتجاهات القوي الجاذبية (بتطبيق قاعدة اليد اليسري) الناشئة من مرور التيار في الاتجاه المبين . علي الشكل ( ) القوة المحصلة للقوي F_4,F_3,F_2,F_1 تساوي صفر.



شكل ( )



شكل ( )

اما الشكل ( ) يبين وضعاً للملف حيث العمودي علي مستواه (nn′) يميل علي متجهه المجال $\overrightarrow{(B)}$ بزاوية (ɵ) ويظهر امامنا ضلع من اضلاع المستطيل وهو (b) ومتجهه (l) يشير في اتجاه التيار (i) ويميل علي $\overrightarrow{(B)}$ بمقدار $(\theta - \frac{\pi}{2})$ وفي هذه الحالة يكون مقدار القوة المؤثرة (F_2) هو :

$$F_2 = i\ b\ B \sin(\frac{\pi}{2} - \theta) = i\ b\ B \cos\theta$$

واتجاه $\overrightarrow{(F_2)}$ عمودي في اتجاه خارج من الورقة وبالمثل يمكن ايجاد $\overrightarrow{(F_4)}$ ولها نفس مقدار $\overrightarrow{(F_2)}$ ولكن في اتجاه مضاد لها وخط عملها هو خط عمل (F) . وبذلك فان محصلة $\overrightarrow{(F_4 , F_2)}$ تساوي صفر وليس لها اي تأثير علي الحركة.

بالنسبة للضلعين الاخرين (a,a) فان القوتين $\overrightarrow{(F_3 , F_1)}$ كل منهما عمودية علي الضلع (a) وتساوي كل منهما الاخري ولكن في اتجاه مضاد لبعضهما وخط عملهما ليس علي استقامة واحدة. بذلك فانهما يؤثران علي الملف بازدواج يعمل علي دورانه حول محور (xx′) كما في الشكل . وعزم الازدواج هذا يحدد بمقدار القوتين (F_3 , F_1) وذراع الازدواج (bsinɵ) وحيث ان :

$$F_1 = \overrightarrow{F_3} = i\ a\ \overrightarrow{B}$$

∴ عزم الازدواج (τ) يعطي بالعلاقة:

$$\tau = i\ a\ B\ (b \sin \theta)$$

$$= i\ a\ b\ B \sin \theta$$

فاذا كان لدينا ملف عدد لفاته (N) فيصبح عزم الازدواج الكلي هو :

$$\tau = (N\ i\ A)\ B \sin \theta \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ N.m$$

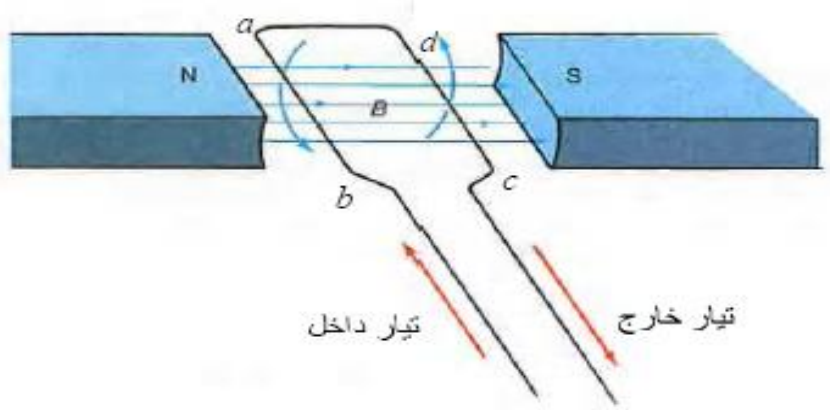
حيث (A) هي مساحة وجه الملف (A = ab) .

هذه العلاقة الاخيرة ( ) تطبق لكل الملفات سواء كانت مستطيلة او دائرية او اي شكل اخر . وهذه المعادلة ايضاً هي اساس لتصميم وعمل الموتورات الكهربية ومعظم الاجهزة المستخدمة لقياس التيار او فرق الجهد الكهربي (الفولتميتر).

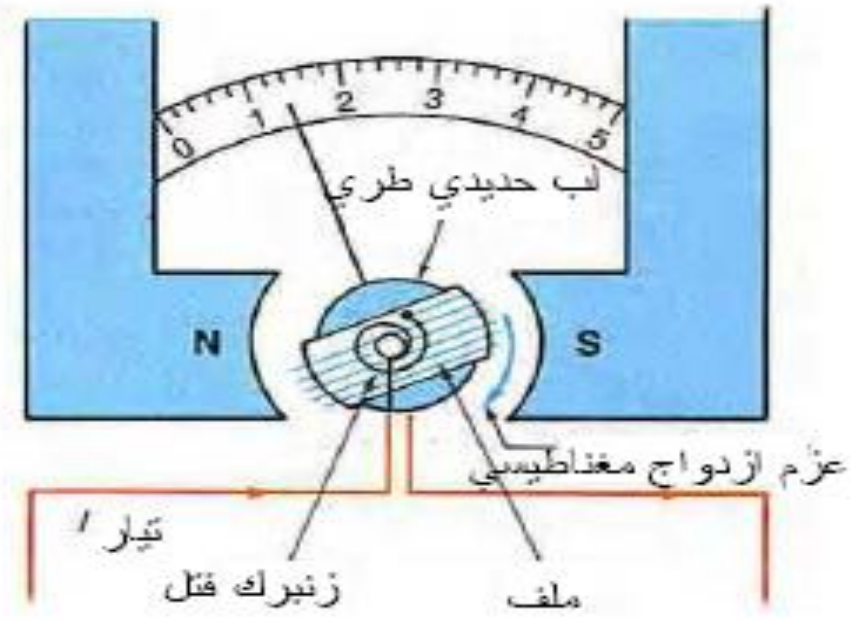
الجلفانوميتر :

للقوة المغناطيسية المؤثرة على الاسلاك الكهربائية تطبيقات عملية مهمة جداً لصناعة الاجهزة الكهربائية التي نستخدمها في حياتنا اليومية . من اهم هذه الاجهزة الجلفانوميتر الذي يتحسس التيارات الكهربائية الضعيفة ويصنع منها مقياس التيار (الاميتر) ومقياس الفولت (الفولتميتر) . ويتألف الجلفانوميتر في
ابسط اشكاله من ملف على شكل عدة لفات مستطيلة مطلقة باستثناء بدايته و نهايته اللتان توصلان بمصدر للتيار المراد قياسه . ويوضع الملف بين فكي مغناطيس كما في الشكل ( ) ، بحيث انه قبل مرور أي تيار فيه يكون ساكنا بوضع افقي تقريبا.
عندما يمر تيار في الملف عندئذ يخضع الضلع ab لقوة مغناطيسية مساوية ومعاكسة للقوة التي يخضع لها الضلع cd بحيث يصير الملف تحت تأثير عزم ازدواج فيدور مع

عقارب الساعة كما هو موضح. وبما ان عزم الازدواج يتناسب مع القوة التي تزيد بازدياد التيار المار في السلك لذلك فإن دوران الملف يتناسب مع التيار وهذا هو مبدأ عمل الجلفانوميتر .



ويوضح الشكل ( ) تركيب الجلفانوميتر حيث يوضع مؤشر بمركز الملف ، الذي يربط بزنبرك فتل ، بحيث يدور الملف تحت تأثير القوة المغناطيسية الي ان يتوازن عزم الازدواج الناتج عنه مع عزم فتل الزنبرك عند زاوية معينة تتناسب مع التيار المار في الجهاز. ويوضع تدريج مقابل المؤشر بحيث يشير للصفر عند عدم مرور أي تيار في الملف ثم تتم معايرته بتمرير تيارات صغيرة معروفة تدريجياً في الملف وتحديد مواضع اتزان المؤشر على التدريج .

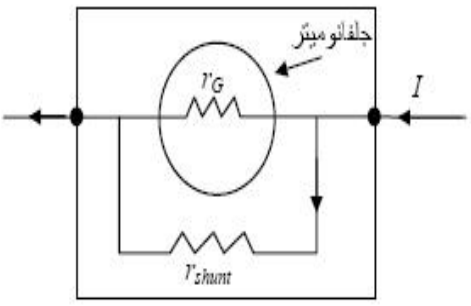


لكن حتى يعمل الجلفانوميتر بشكل دقيق يجب الا يتأثر دوران الملف بوزن السلك ولا بارتباطه بالزنبرك . أي يجب ان تكون كتلة الملف صغيرة ما امكن مما يعني ان السلك المستخدم يجب ان يكون رفيعاً جداً مما يجعل مقاومته عالية نسبياً ، كما يجب ان يرتبط الملف بالزنبرك بدقة و حساسية عالية . لذلك اذا مر في الجهاز تيار كهربائي كبير فإن القدرة الكهربائية المتحولة لحرارة في السلك تكون كبيرة ، بسبب مقاومته العالية ، مما يؤدي الي انصهاره ، كما يمكن ان يدور المؤشر بسرعه كبيرة فجأة مما يكسر نقطة الارتباط بالزنبرك . وفي كلتا الحالتين فإن ذلك يعني دمار الجهاز. لذلك يستخدم الجلفانوميتر لتحري التيارات الصغيرة جداً من مرتبة الميللي امبير او اقل ، ولو اردنا استخدامه لقياس تيارات كبيرة فيجب حمايته ليمكن تحويله لمقياس تيار.

مقياس التيار (الاميتر) :

يمكن ان نستخدم الجلفانوميتر لقياس تيارات كبيرة في دارة كهربائية اذا استطعنا ان نمنع الجزء الاكبر من التيار من المرور داخل الجهاز . ويتم تحقيقي ذلك عادة بوصل مقاومة موزعة صغيرة بالمقارنة مع مقاومة ملف الجلفانوميتر ، علي التوازي معه ، كما هو موضح بالشكل ( ) بحيث يتوزع التيار الي جزأين يمر الجزء الاكبر منه في الموزعة بينما يمر الجزء الاصغر في ملف الجلفانوميتر.

ويوضع الجلفانوميتر مع المقاومة الموزعة بعلبة واحدة تدعي مقياس التيار او الاميتر . كما يبين الشكل ( ).



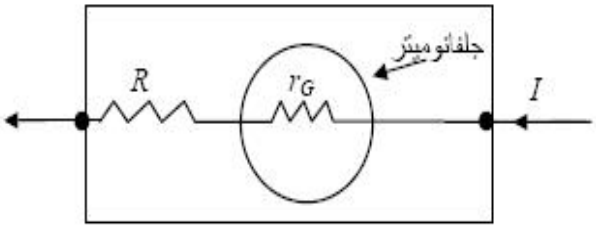
الشكل (5-10): تركيب الأميتر

الشكل (5-11): أميتر

مقياس الفولت (فولتميتر):

يصنع مقياس فرق الجهد او الفولتميتر من الجلفانوميتر بوصل مقاومته بمقاومة كبيرة علي التوالي بحيث يصير فرق الجهد بين طرفي المجموعة مساوياً للقيمة المراد قياسها . كما هو موضح في الشكل ( ) . ويتم وضع الجلفانوميتر مع المقاومة في صندوق واحد يسمي الفولتميتر ، كما هو مبين بالشكل ( ).

الشكل (5-13): فولتمتر



الشكل (5-12): تركيب الفولتمتر

تطبيقات عملية على حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي

العديد من التطبيقات العلمية تعتمد على التأثير الفيزيائي للمجال الكهربي والمجال المغناطيسي على الاجسام المشحونة حيث انه عند تعريض جسم مشحون لكلا المجالين فإن هذا الجسم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربية $F_e=qE$ والمغناطيسية $F_B=qvxB$ ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز.

$$F = q\,E + q\,v \times B$$

وسنتناول في الجزء التالي بعض التطبيقات علي حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي.

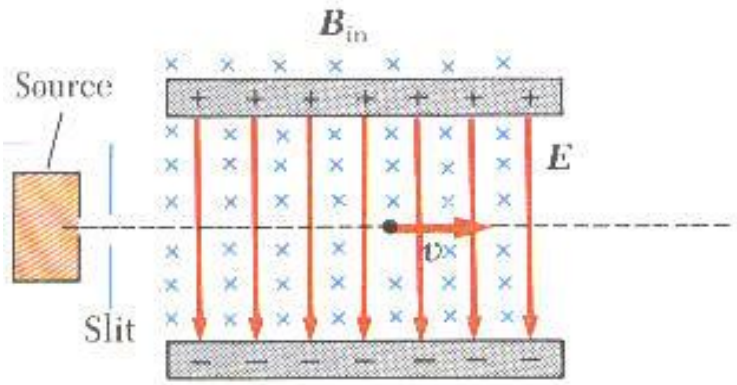
مرشح السرعة

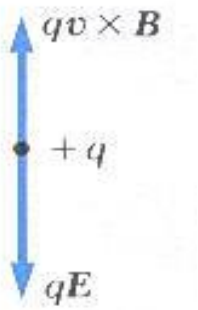
يتبين من اسم هذا الجهاز أنه مرشح للسرعة حيث يمكن باستخدامه التحكم في اختيار حزمة من الجسيمات المشحونة ذات سرعة محددة. وذلك لأنه كما نعلم ان الجسيمات

المنبعثة عند اية درجة حرارة لها توزيع احصائي على نطاق واسع من السرعات ولاختيار سرعة محددة نستخدم جهاز مرشح السرعة selector Velocity.

فكرة العمل

يتكون جهاز مرشح السرعة من مصدر للجسيمات المشحونة Source تنطلق الجسيمات من المصدر بسرعات مختلفة لتمر من الشريحة التي تحدد حزمة من هذه الجسيمات لتمر في منطقة مجال كهربي متعامد مع مجال مغناطيسي كما في الشكل التالي:





تتأثر الجسيمات المشحونة بالمجالين الكهربي والمغناطيسي بحيث يكون اتجاه القوة الكهربية للأسفل واتجاه القوة المغناطيسية للأعلى. وهذا سيؤدي إلى ان الجسيمات

المتحركة بسرعة معينة هي التي ستتحرك في خط مستقيم لأن عند تلك السرعة تتساوى القوة الكهربية مع القوة المغناطيسية بينما الجسيمات المتحركة بسرعات اخرى ستنحرف عن المسار المستقيم لتصطدم بحائل يمنع مرورها من الفتحة الموجودة على محور الجهاز. ولإيجاد هذه السرعة نستخدم قانون لورنتز.

$$q E = q v \times B$$

$$v = E/B$$

أي ان بتغيير قيمة احد المجالين يمكن اختيار الجسيمات المشحونة بالسرعة المطلوبة ولهذا يسمى الجهاز بمرشح السرعة.

مطياف الكتلة

جهاز مطياف الكتلة Mass spectrometer هو جهاز يستخدم لفصل الذرات أو الجزيئات أو الأيونات بناءً على نسبة كتلتها إلى شحنتها.

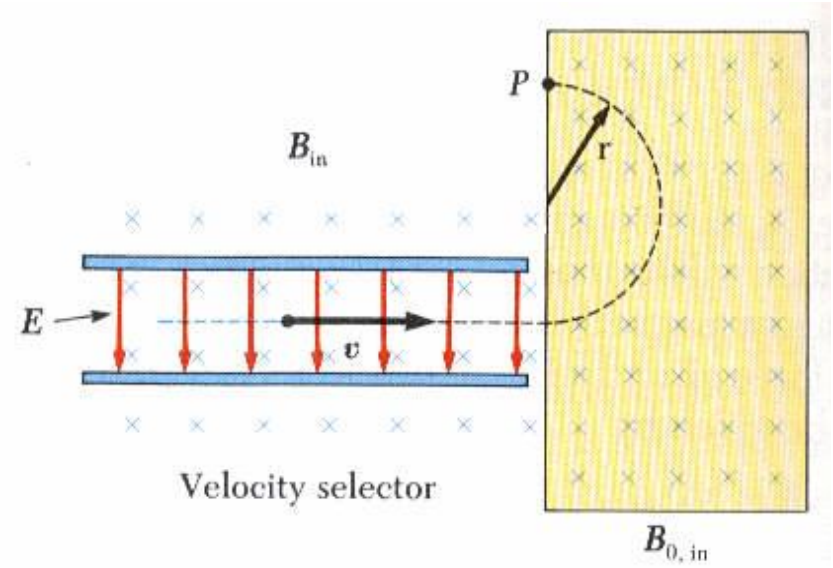
فكرة عمله

تعتمد فكرة عمل مطياف الكتلة اساسا على استخدام جهاز مرشح السرعة لاختيار وتحديد سرعة الاجسام المختلفة المراد فصلها.

يوضح الشكل ادناه فكرة عمل الجهاز حيث يمرر شعاع من الايونات في مرشح السرعة لتخرج جسيمات ذات سرعة تساوي E/B. تمر هذه الايونات إلى مطياف الكتلة المكون من مجال مغناطيسي منتظم B_o تسلك الجسيمات خلال المجال المغناطيسي مسار دائري نصف قطره r لتصطدم بشاشة فوتوغرافية تعطي ومضة تشير إلى موقع اصطدام الايون مع الشاشة نتيجة للمجال المغناطيسي المطبق في جهاز مطياف الكتلة.

ونصف قطر المسار r يعطى بالعلاقة التالية:

$$r = \frac{mv}{qB}$$



اذا النسبة بين الكتلة إلى الشحنة تكون :

$$\frac{m}{q} = \frac{rB_0}{v}$$

بالتعويض عن السرعة v بمعادلة مرشح السرعة نجد أن :

$$\frac{m}{q} = \frac{rB_0B}{E}$$

وبهذه الطريقة يمكن ايجاد النسبة بين الكتلة إلى الشحنة عن طريق قياس نصف قطر دوران الجسم المشحون في مطياف الكتلة. وقيم المجال الكهربي والمغناطيسي لمرشح السرعة والمجال المغناطيسي المستخدم في المطياف.

الباب الثالث

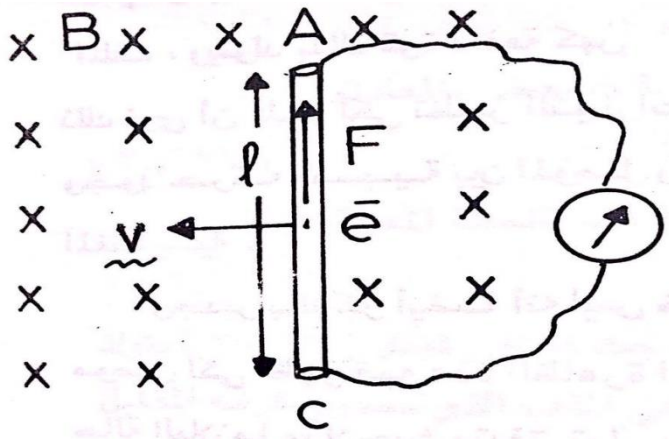
الحث الكهرومغناطيسي

التيارات التأثيرية وقانون فاراداي

قد يكون اهم اعمال فارادي علي الاطلاق هو اكتشافه لطريقة توليد الكهرباء من المجالات المغناطيسية ، فعليها يبني عمل الدينامو والمولدات الكهربية التي تمد المدن والمصانع بالطاقة الكهربية ، كما ينبني عليها عمل معظم الاجهزة الكهرومغناطيسية.

لاحظ فاراداي أنه إذا تغير عدد خطوط القوى المغناطيسية التي تخترق دائرة كهربيه تتولد فيها تيارات لحظية، لا يستمر مرورها إلا إذا استمر التغير في عدد خطوط القوى التي تقطعها. وتعرف هذه التيارات بالتأثيرية أو تيارات الحث.

نفرض سلك توصيل A C كما في الشكل ( ) – يتحرك بسرعة V بحيث يقطع عمودياً مجال مغناطيس B ، تتأثر الالكترونات الحرة داخل السلك بقوة مغناطيسية = F ev B ، في اتجاه السلك فتتحرك الالكترونات متجمعة في طرف السلك A تاركة الشحنات الموجبة عند الطرف C ، فيتولد مجال كهربي داخل السلك يقف نموه عندما تتعادل القوة المغناطيسية مع القوة الكهربية التي نشأت عن تراكم الشحنات . وإذا وصل طرفا السلك بجلفانومتر حساس نشاهد مرور تيار تأثيري ، أي أن حركة السلك في المجال تكون بمثابة مصدر لقوة دافعة كهربية.



شكل ( )

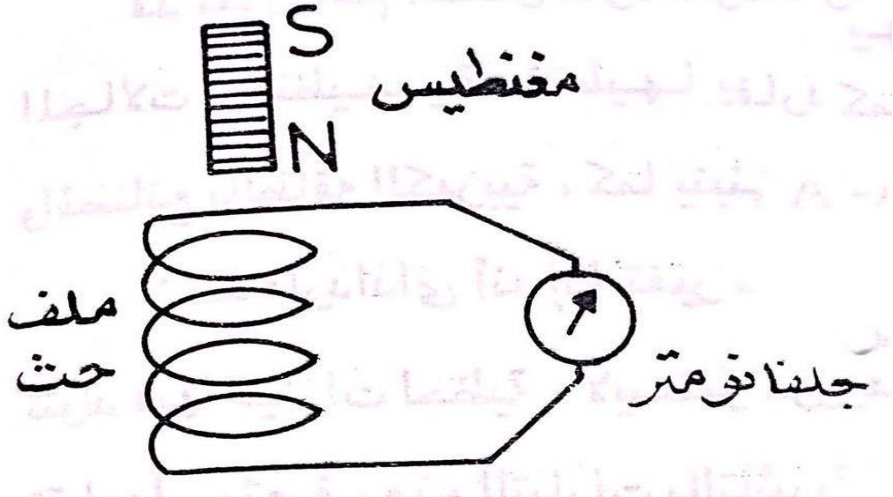
وإذا فرضنا وحدة شحنة موجبة تتحرك داخل السلك فإنها تقع تحت تأثير قوة محركة قدرها v B وإذا كانت المسافة التي تتحركها داخل السلك هي l (طول السلك) يكون الشغل المبذول هو v B l .

ويكون:

$$\varepsilon = b\ v\ l$$

ويلاحظ ان v l هي المساحة التي يكتسحها السلك في الثانية ، وأن B هو الفيض المغناطيسي في وحدة المساحة ، وعلي ذلك تمثل الكمية B v l عدد خطوط القوى المغناطيسية التي يقطعها السلك في الثانية ، اي معدل قطع خطوط القوى المغناطيسية .

ويجب ان نلاحظ هنا أنه ليس بالضرورة ان يكون السلك هو المتحرك لتحدث القوة الدافعة الكهربية ، ولكن يحدث نفس الشئ إذا ما كان مصدر المجال المغناطيسي هو المتحرك ، كما في الشكل ( ).

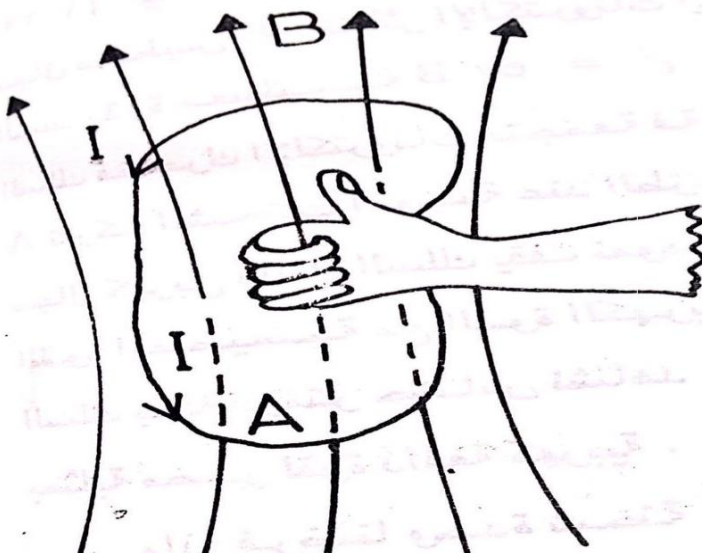


شكل ( )

فعند ادخال المغناطيس في الملف أو عند إخراجه منه تقطع خطوط القوى المغناطيسية الملف ، ويتولد بذلك قوة دافعة كهربية تأثيرية . وعلي ذلك نري أن المهم لكى تظهر التيارات التأثيرية هو وجود حركة نسبية بين الموصل وخطوط القوى المغناطيسية.

وجدير بالذكر أيضاً أنه ليس ضرورياً وجود موصل لكي تظهر فيه هذه الظاهرة التأثيرية، ففي حالة البلازما مثلاً حيث يتدفق تيار من الأيونات في مجال مغناطيس، تتكون قوة دافعة كهربية تأثيرية علي جانبيها المتقابلين، وتلك هي نظرية المولد المغناطيسي الهيدروديناميكي.

ولكتابة قانون فاراداي بصورة عامة نفرض مساراً مغلقاً في مجال مغناطيسي متغير، كما في شكل ( ) .



شكل ( )

تكون القوة الدافعة الكهربية المتولدة في المسار مساوية لمعدل تغير الفيض المغناطيسي $\emptyset_A$ الذي يقطع المساحة التي يحدها المسار ، أي أن :

$$\mathcal{E} = - \frac{d \emptyset_A}{dt}$$

وقد وضعت اشارة سالبة نسبة للعلاقة بين اتجاه خطوط القوى المغناطيسية واتجاه القوى الدافعة الكهربية التأثيرية ، والتي يحددها قاعدة اليد اليمني، فإذا كان اصبع الإبهام مشيراً إلي اتجاه الفيض المغناطيسي ، كان انحناء باقي أصابع اليد مشيراً الي اتجاه التيار التأثيري في المسار.

فإذا كان المجال تناقصياً كانت ($d \Ø_A / dt$) سالبة وكانت $\mathcal{E}$ موجبة ، وعندئذ يكون اتجاه التيار كما يبين شكل ( ) . أما إذا كان المجال متزايداً فإن ($d\Ø_A/dt$) تكون موجبة ، ولذلك نحصل علي قيمة ε سالبة ، أي أن التيار التأثيري في هذه الحالة يمر في عكس الاتجاه المبين بالشكل.

ويلاحظ ان الفيض المغناطيسي الذي يقطع المساحة A يعطي بالمعادلة

$$\Ø_A = \int B \, ds$$

حيث B هو شدة المجال المغناطيسي في تلك المنطقة عند اللحظة المعينة.

قانون لنز

عند اقتراب القطب الشمالي المغناطيسي من ملف حث كما في شكل ( ) يتولد تيار تأثيرى في الملف يسبب ظهور مجال مغناطيس في الملف الذي يصبح طرفه المقابل للقطب الشمالي للمغناطيس قطباً شمالياً يعوق حركة دخول المغناطيس في الملف . وكذلك عند اخراج المغناطيس من الملف تتولد قوة دافعة تأثيرية، تعمل علي أن يصير الجزء العلوي من الملف قطباً جنوبياً ، ليحول دون خروج القطب الشمالي للمغناطيس. وينص قانون لنز علي ان القوة الدافعة الكهربية الناتجة تأثيرها تكون دائماً في اتجاه يعاكس التغير الذي أحدثها . أي أن المجال المغناطيسي الناشئ عن التيار التأثيري يعمل علي معاكسة الحركة أو التغير الذي احدث التيار.

مثال:

ملف مساحته 0.02 م^2 وعدد لفاته 50 لفة ومقاومته 10 اوم . وضع بين قطبي مغناطيس كهربائي كبير ، بحيث يكون سطحه متعامداً مع خطوط القوى المغناطيسية عند ايقاف المغناطيس بقطع التيار، يتناقص المجال بمعدل 20 تسلا في الثانية . اوجد القوة الدافعة في الملف وشدة التيار فيه واتجاهه.

الحل

الفيض المغناطيسي داخل الملف $\emptyset = N\ A\ B$

حيث N عدد لفات الملف ، A هي مساحته ، B شدة المجال المغناطيسي. من قانون فاراداي :

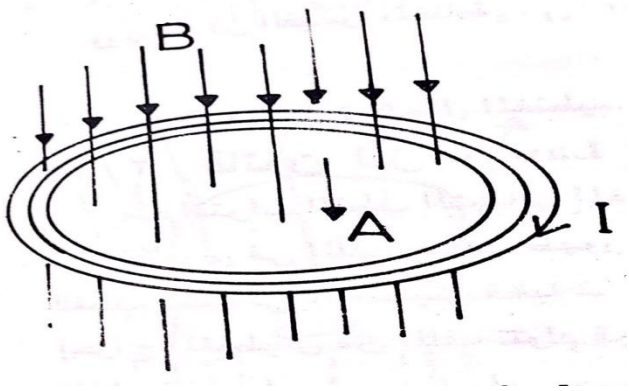
$$\mathscr{E} = -\frac{d\emptyset}{dt} = -NA\frac{dB}{dt}$$

$$= 50 \times 0.02 \times 20 = 20\ \text{Volt}$$

من قانون أوم : التيار التأثيري I هو :

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R} = \frac{20}{10} = 2\ \text{amp}.$$

بتطبيق قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه التيار كالمبين بالشكل ( ) . إذ أن $d\emptyset/dt$ سالب لأن المجال المغناطيسي يتناقص ، لذلك تكون القوة الدافعة الكهربية التأثيرية $\mathscr{E}$ موجبة ، ولذلك تدفع في الدائرة تياراً في الاتجاه المبين.



شكل ( )

الحث الذاتي والحث التبادل

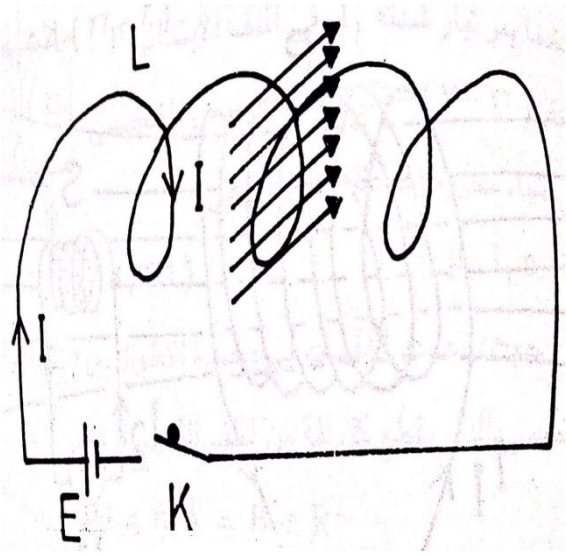
عندما يتغير تيار كهربي مار في دائرة ، يتغير تبعاً لذلك الفيض المغناطيسي الذي يقطعه ، وينشأ عن ذلك التغير قوة دافعة كهربية تأثيرية في الملف تضاد زيادة أو نقص شدة التيار . تعرف هذه الظاهرة بالحث الذاتي.

أي أن الحث الذاتي لملف هو خاصية الملف لمقاومة حدوث أي تغير في التيار المتردد.

ولكي نفهم كيف يحدث الحث الذاتي في ملف نفرض أن كل لفة منه تعمل وكأنها ملف ثانوي بالنسبة للفة التي تجاورها. فعندما تتغير قيمة التيار في اللفة الاولي يتولد تيار تأثيري في اللفة المجاورة ، ويكون اتجاهه وفقاً لقاعدة لنز مضاداً دائماً لاتجاه التيار الأصلي ، لذلك يقاوم التيار الحثي التيار المار في الملف. فمثلاً عند توصيل أو قطع التيار في الدائرة شكل ( ) بضغط أو رفع المفتاح K ينمو التيار أو يضمحل تدريجياً في اللحظات الأولي حتي يستقر مرور التيار في الملف. عند لحظات نمو او اضمحلال التيار يتكون مجال مغناطيسي ناشئ عن مرور التيار في اللفة الأولي ، يقطع خطوط

القوى لهذا المجال اللفة الثانية من الملف، فيحدث فيها تياراً تأثيرياً معاكساً لاتجاه التيار الأصلي .

وهكذا بالنسبة لجميع اللفات . أى أن القوة الدافعة الكهربية الناتجة عن طريق الحث تعمل علي تأخير نمو أو اضمحلال التيار في الملف.



شكل ( )

ومن الملاحظ ان الزمن الذي يستغرقه التيار لكي تضمحل قيمته الي الصفر عند القطع يكون صغيراً جداً بالنسبة للزمن الذي يستغرقه للوصول من الصفر الي قيمته الثابته عند ضغط المفتاح لذلك يكون معدل تغير الفيض المغناطيسي الحثي اكبر في حالة القطع عنها في حالة التوصيل وكذلك تكون القوة الدافعه الحثية ولذلك تري عادة شراره كهربيه عند طرفي المفتاح K عند لحظة قطع التيار.

من قانون فاراداي تتناسب القوة الدافعة الحثية $\mathcal{E}$ تناسباً طردياً مع معدل تغير الفيض المغناطيسي ($d\Phi/dt$) كما ان الفيض المغناطيسي الذي يقطع الملف والذي ينشأ عن مرور التيار I فيه يتناسب مع شدة التيار . أي أن :

$$\mathcal{E} = \frac{d\emptyset}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

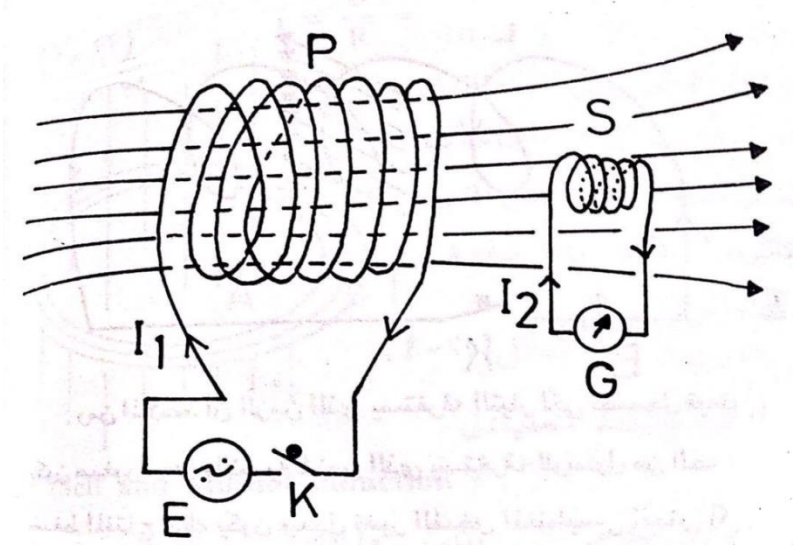
حيث L هو ثابت تناسب يعرف بمعامل الحث الذاتي للملف ، ويعرف بأنه القوة الدافعة الكهربية الحثية المتولدة في الملف ، نتيجة لمعدل تغير في التيار بالنسبة للزمن مساوياً للوحدة.

وحدة الحث هي الهنري Henry حيث :

$$1\ \text{Henry} = \frac{1\ \text{volt}}{1\ \text{amp/ Sec}}$$

وتعرف وحدة الهنري بأنها الحث الذي اذا تغير التيار في ملف بمعدل امبير واحد في الثانية ، تولدت قوة دافعة كهربية حثية مقدارها فولت واحد.

ينشأ ايضاً حث متبادل عند وضع ملفين متقاربين يمر في احدهما تيار متغير كمل في شكل ( )



شكل ( )

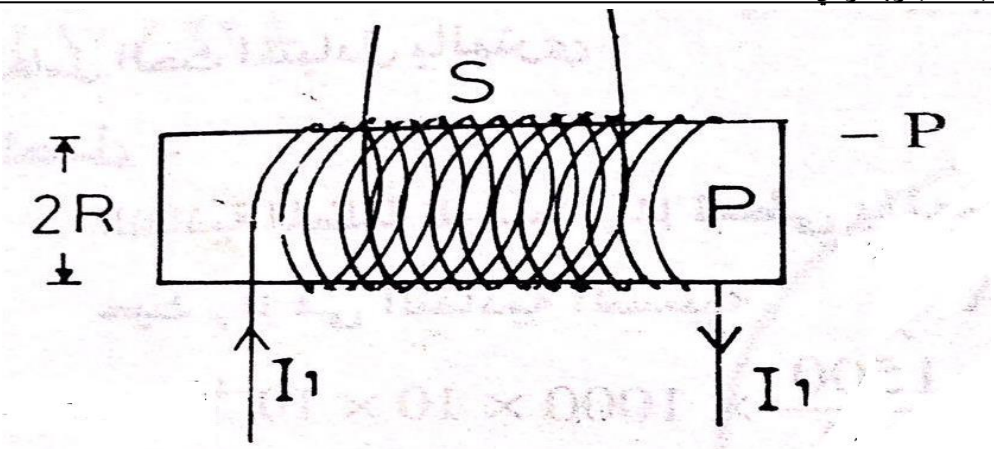
عند نمو التيار او اضمحلاله في الملف الابتدائي P تزداد او تنقص بالتبعية كثافة الفيض المغناطيسي ، وتقطع خطوط القوي الملف الثانوي S ، فيتولد عن ذلك قوة دافعة كهربية تأثيرية فقط فترة التغير في تيار الملف الابتدائي . ويكون اتجاه التيار الحثي في الملف S بحيث يقاوم التغير المحدث له وفقاً لقاعدة لنز ، أي أن المجال المغناطيسي الحثي للملف S يضاد التغير في الملف الابتدائي P، ويتولد لذلك في الملف الابتدائي تيار حتي يقاوم التيار الابتدائي فيه.

تتناسب القوة الدافعة الكهربية الحثية $\mathscr{E}$ ناشئة في الملف الثانوي تناسباً طردياً ، مع معدل تغير التيار I في الملف الابتدائي ، وعلي ذلك يكون :

$$\mathscr{E} = - \frac{d\emptyset}{dt} = - M \frac{dI}{dt}$$

ويسمي ثابت التناسب M بمعامل الحث المتبادل ووحدته ايضاً الهنري. ويعرف معامل الحث المتبادل بين ملفين بأنه مقدار القوة الدافعة الحثية المتولدة في احد الملفين ، مقدرة بالفولت عندما يكون معدل تغير شدة التيار في الملف الاخر هو امبير لكل ثانية.

في حالة ملفين احدهما ملفوف علي الاخر يمكن حساب الحث المتبادل بينهما بدلالة نصف قطر الملفين R وعدد اللفات فيهما . عندما يمر تيار شدته I_1 في الملف الابتدائي (P-) شكل ( )



تكون كثافة الفيض المغناطيسي في اتجاه محوره هي:

$$B = \mu_o I_1 n$$

حيث n عدد اللفات في وحدة الاطوال بين الملف الابتدائي P ويكون الفيض المغناطيسي الذي يقطع كل لفة من الملف الثانوي S هو :

$$\emptyset = B A = B \pi R^2$$

$$\emptyset = \mu_o I_1 n \pi R^2$$

الفيض المغناطيسي الذي يقطع عدد N من اللفات التي يحتويها الملف الثانوي S هو :

$$\Phi = B A N = \mu_o I_1 n N \pi R^2$$

حيث N هو العدد الكلي للفات الملف الثانوي S ، واذا تغير التيار I في الملف الابتدائي بمعدل (dI/dt) ، تكون القوة الدافعة الكهربية الحثية المتولدة في الملف الثانوي هي :

$$\mathcal{E} = -M\frac{dI}{dt} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

وبالتعويض من معادلة ( ) نحصل علي :

$$M = \mu_O\, n\, N\, \pi\, R^2 \quad \text{henry}$$

ويجب ملاحظة ان n هي عدد اللفات لوحدة الاطوال من الملف الابتدائي ، بينما N هو العدد الكلي للفات الملف الثانوي.

مثال:-

ملف حلزوني طوله 20 سم ومساحة مقطعة 10 سم^2 به 1500 لفة وملفوف علي وسط نفاذيته النسبية 800 ، لف ملف ثانوي حول الجزء الاوسط منه عدد لفاته 1000 لفة اوجد معامل الحث المتبادل بالهنري.

الحل:-

النفادية المطلقة للوسط μ_a تعطي بالعلاقة :-

$$\mu_r = \mu_a / \mu_O$$

حيث μ_r هي النفاذية النسبية

$$M = \mu_r\, \mu_O\, nN\, A$$

$$= 800 \times 4 \times 10^{-7} \times \frac{1500}{0.2} \times 1000 \times 10 \times 10^{-4}$$

$$= 9.42 \text{ Henry}$$

الطاقة المغناطيسية

تختزن ملفات الحث الطاقة المغناطيسية مثلها مثل المكثفات الكهربية التي تختزن الطاقة الكهربية ،عند تطبيق قاعدة لنز في حالة نمو تيار كهربائي في ملف تنشأ قوة دافعة حثية تقاوم مرور التيار ، مما يحدث للتيار ما يشبه القصور الذاتي بالنسبة للحركة الميكانيكية للاجسام . ولذلك يجب بذل شغل كهربي للتغلب علي مقاومة مرور التيار عند نموه ، يكون هذا الشغل علي حساب الطاقة الكهربية المحركه ، بينما يحدث العكس عند اضمحلال التيار بعد قطع الطاقة الكهربية الخارجية ، فالشغل المبذول لحفظ التيار ماراً في الملف لفترة بعد القطع ، يكون مبذولاً بواسطة الملف الحثي ذاته . أي ان الملف يعطي الطاقة لامرار التيار.

ولحساب الطاقة المختزنة U نستخدم المعادلة ( ) والتي تعطي القوة الكهربية الحثية $\mathcal{E}$ علي الصورة:

$$\mathcal{E} = -L\frac{dI}{dt}$$

ويكون معدل بذل الشغل علي التيار عند تزايده هو :

$$\mathcal{E}\, I = -L\, I\frac{dI}{dt}$$

والاشارة السالبه هنا تعني ان الطاقة تعطي من التيار الي الموصل ، اذا كانت الطاقة المختزنة dU في زمن قدره dt يكون معدل امتصاص الطاقة هو :

$$-\frac{dU}{dt} = \mathcal{E}I = -LI\frac{dI}{dt}$$

$$dU = LI\,dI$$

$$\therefore U = \int LI\,dI = \frac{1}{2}LI^2$$

ومنها

وتشبه هذه العلاقة الطاقة المختزنة في مكثف سعته C وعليه شحنة Q حيث تكون الطاقة المختزنة :

$$U = \frac{1}{2}CQ^2$$

ويمكن حساب كثافة الطاقة المغناطيسية في مجال ، باعتبار ملف طوله l ونصف قطره R يمر به تيار I ، ويكون بذلك المجال المغناطيسي داخله :

$$B = \mu_0 n I$$

ويكون عدد لفاته الكلية nl كل لفة منها يقطعها فيض مغناطيسي $\pi R^2 B$ وبذلك يكون الفيض المغناطيسي الكلي في الملف هو :

$$\Phi = \pi R^2 B n \ell = \pi R^2 n^2 \ell \mu_o I$$

$$= L I$$

$$\therefore L = \mu_o n^2 \pi R^2 \ell$$

حيث L هو معامل الحث الذاتي للملف .

الطاقة المختزنة U هي :

$$U = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \mu_o n^2 \pi R^2 \ell I^2.$$

ومن معادلة شدة المجال يكون :

$$U = \frac{1}{2\mu_o} B^2 (\pi R^2 \ell)$$

لكن $\pi R^2 l$ هو حجم الملف ، حيث يوجد المجال المغناطيسي B ، لذلك فإن كثافة الطاقة u في المجال المغناطيسي ، وهي الطاقة لوحدة الحجوم منه تصبح:

$$u = B^2 / 2\mu_o$$

مثال

اوجد النسبة بين الطاقة المغناطيسية والطاقة الكهربية في جو الارض ، علماً بأن المجال المغناطيسي للارض 0.3×10^{-4} تسلا ، وأن المجال الكهربي في الجو هو 100 فولت/ متر.

الحل

نوجد كثافة الطاقة لكل مجال:

$$u_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2 = \frac{(0.3 \times 10^{-4})^2}{2 \times 1.26 \times 10^{-6}} = 3.6 \times 10^{-4}\ J/m^3$$

$$u_E = \frac{\varepsilon_0}{2} E^2 = \frac{8.85 \times 10^{-12}}{2} \times (100)^2 = 4.4 \times 10^{-8}\ J/m^3$$

$$\therefore \frac{u_B}{u_E} = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0} \left(\frac{B}{E}\right)^2 = 8.18 \times 10^3$$