

الكهرومغناطيسية Electromagnetism

المرحلة : رابع فيزياء

اعداد :ا. سوسن عبد الزهرة

المحاضرة (١)

المقدمة :الحث الكهرومغناطيسي هو وصف لسلوك الموصلات الكهربائية عندما يقطعها مجال مغناطيسي. غالبية التقنيات الكهرومغناطيسية اليوم تعتمد كثيراً على المجال المغناطيسي متغير الشدة وتوصف بأنها تقنيات ذات تيار متناوب بينما لا يزال هناك تقنيات تعتمد المجال المغناطيسي ثابت الشدة وتوصف بتقنيات التيار المستمر. لاحظ هانز أورستد في ١٨٢٠ وهو يُعد أحد التجارب أن إبرة البوصلة تنحرف عن اتجاهها نحو الشمال عندما كان يغلق ويفتح التيار في دائرة كهربائية يُعدها وفسر تلك الظاهرة بأن تيارا كهربائيا يمر في سلك يتسبب في حدوث مجالا مغناطيسيا حول السلك وتأكد من وجود علاقة بين الكهربائبة والمغناطيسية. ولم يستطع أورستد تفسير تلك الظاهرة ولم يصيغها في معادلة رياضية تصف سلوكها ولكنه ركز البحث في تلك الظاهرة ثم بين أن مرور تيار كهربائي يتسبب في نشأة مجالا مغناطيسيا حوله وقد سميت وحدة أورستد للحث الكهرومغناطيسي في نظام وحدات سنتيمتر غرام ثانية cgs باسمه .

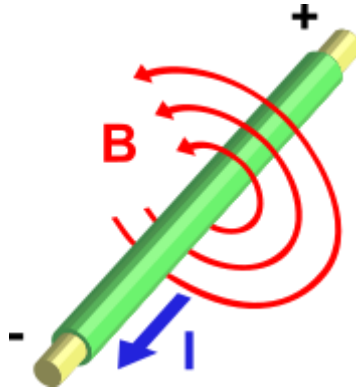
يعتبر هذا التوحيد بين المغناطيسية والكهرباء والذي شاهده فاراداي ثم صاغه ماكسويل بالإضافة إلى ما قام به هيرتز من اعمال يعتبر من أهم الإنجازات العلمية في القرن التاسع عشر في مجال الفيزياء النظرية .وتعلقت بها تبعات هامة من ضمنها فهم طبيعة الضوء.

فإذا كان لديك بوصلة مغناطيسية أو مغناطيس عادي في المنزل وعلفته بخيوط ثم قربته من موصل يمر به تيار كهربائي مستمر (بتوصيل السلك بين طرفي بطارية صغير ٣ فولت) فإنك ستلاحظ أن كلا من الموصل والمغناطيس يحاولان تغيير موضعهما قبل أن يتلامسا وهذا هو ما يعرف بالحث أو التآثر الكهرومغناطيسي (بمعنى وجود علاقة متبادلة بين الكهرباء والمغناطيسية). يمكن تفسير ما يحدث بأن التيار الكهربائي ي نشر حوله مجال مغناطيسي ولا نرى ذلك ولكن عندما نقرب مغناطيس نلاحظ تأثر مجال المغناطيس مع المجال المغناطيسي الموجود حول السلك بفعل مرور تيار به.

اعتقد في الماضي أن ظاهرة المغناطيسية وظاهرة الكهرباء قوتن منفصلتان ولكن تلك الرؤية تغيرت عن طريق جيمس ماكسويل في عام ١٨٧٣ في رسالة علمية تحت عنوان "دراسات عن الكهرباء والمغناطيسية " حيث بين أن التآثر بين شحنات موجبة وسالبة تتح كم فيه قوة واحدة . وبين "ماكسويل" أنه توجد أربعة تأثيرات لتلك التفاعلات المتبادلة تظهر جميعها خلال التجارب العملية وهي:

١. تتجاذب الشحنات الكهربائية أو تتنافر من بعضها البعض بقوة تتناسب تناسباً عكسياً مع مربع المسافة بينهما تتجاذب الشحنات المتضادة (سالبة ، وموجبة) ، وتتنافر الشحنات المتماثلة.
٢. الأقطاب المغناطيسية تتجاذب أو تتنافر بطريقة مماثلة لسلوك الشحنات الكهربائية ويوجد للمغناطيس نوعين من الأقطاب يرتبط قطب شمالي دائماً بقطب جنوبي.
٣. ينتج التيار الكهربائي مجالاً مغناطيسياً دائرياً حول السلك ويكون اتجاه دورانه (إما في اتجاه عقرب الساعة أو في عكس اتجاهها) بحسب اتجاه التيار في السلك ،
٤. عندما يتحرك سلك في مجال مغناطيسي ينشأ فيه بالتأثير تيار كهربائي كما ينشأ تيار كهربائي عند تحريك مغناطيسي إلى سلك أو مبتعداً عنه ويعتمد اتجاه التيار على اتجاه حركة المغناطيس.

ومع اكتشاف نظرية الكم في مطلع القرن العشرين تعمق فهمنا للضوء و للموجات الكهرومغناطيسية، فنعرف اليوم أن تلك الأشعة في صورة كمومية وتنتشر ذاتياً في هيئة مجال كهرومغناطيسي ترددي وباختلاف تردد الاهتزاز تنتج أنواع مختلفة من الأشعة الكهرومغناطيسية منها الموجات الراديوية ذات الترددات المنخفضة إلى الضوء المرئي ذو ترددات متوسطة ، إلى أشعة إكس ذات تردد عالي ، ثم إلى أشعة جاما ذات الترددات العالية جداً.



الظاهرة المغناطيسية عبارة عن قوى تجاذب أو تنافر تنشأ بين عدة قطع من الحديد بسبب الصفات المغناطيسية لها و كلنا يعلم أن الأرض تمثل مغناطيس كبير له قطبان بدليل أنه عند تعليق مغناطيس حديدي تعليقاً حراً فإنه يأخذ وضعاً خاصاً بحيث يشير إلى الشمال والجنوب للأرض ولذلك استغل العلماء هذه الفكرة لصناعة البوصلة التي أصبحت وقتها الدليل لمعرفة الاتجاهات الأصلية.

يحيط بالمغناطيس منطقة تسمى بالمجال المغناطيسي وتحتوي على خطوط المجال المغناطيسي

المجال المغناطيسي نوعان (أ) غير منتظم (مغناطيس مستقيم)



(ب) ومنتظم (مغناطيس حرف U)



المجال المغناطيسي (Magnetic Field):

هو المنطقة التي تحيط بالمغناطيس ويظهر فيها تأثيره المغناطيسي او هو المنطقة المحيطة بمغناطيس طبيعي او بسلك يحمل تيار كهربائي وفيها تظهر اثار المغناطيسية المتجه الاساسي الذي يمثل المجال المغناطيسي يسمى الحث المغناطيسي ويسمى احيانا كثافة الفيض المغناطيسي ويمز له B .

كما مثلنا المجال الكهربائي بخطوط وهمية اطلقنا عليها خطوط القوة الكهربائية كذلك نمثل المجال المغناطيسي بخطوط تسمى خطوط القوة المغناطيسية . ان اتجاه المجال المغناطيسي عند اية نقطة هو نفس اتجاه خط القوة المغناطيسية في تلك النقطة كما ان عدد الخطوط لوحدة المساحة التي تعبر مساحة صغيرة عمودية على اتجاه الخطوط يساوي عدديا مقدار شدة المجال المغناطيسي اما عدد الخطوط الكلية التي تعبر مساحة معينة فتسمى بالفيض المغناطيسي خلال تلك المساحة لذا يعرف الفيض المغناطيسي Φ Magnetic Flux

خلال سطح مساحته S كما يلي:

ا- عندما يكون المجال المغناطيسي B منتظم وعمودي على سطح منتظم مساحته S فان

عدد خطوط الفيض التي تنفذ عموديا خلال هذا السطح Φ تعطى بالعلاقة :

$$\Phi = B S \text{ wb} \quad B = (\text{Wb}/\text{m}^2) \text{ or Tesla}$$

اذن الفيض المغناطيسي (Magnetic Flux) يعرف بعدد خطوط الفيض التي تنفذ

عموديا خلال سطح ما مساحته S ووحدته هي الويبر

ب- إذا كان العمودي على السطح يصنع زاوية مقدارها θ مع اتجاه خطوط القوى فإن

المعادلة السابقة تصبح على الشكل التالي:

$$\Phi = B S \text{ Cos } \theta$$

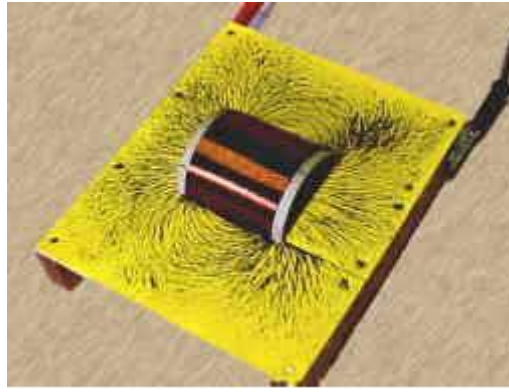
ج- إذا كان السطح غير منتظم الشرائط فيمكن تقسيمه إلى أسطح صغيرة مساحة كل سطح Δs فتصبح المعادلة

$$\Phi = B \cos\theta \Delta s \quad \text{or} \quad \Phi = B \cos\theta ds$$

$$\Phi = \int B \cdot dS$$

ثم يؤخذ التكامل للسطح

أى أن السطح يقسم إلى عناصر متناهية في الصغر ds لحساب الفيض المغناطيسي



يوضح الشكل كيفية استخدام برادة الحديد لرؤية الحقل المغناطيسي

Magnetic Induction (B) كثافة الفيض المغناطيسي (الحث المغناطيسي)

والذي يتخذ كدلالة على شدة المجال المغناطيسي **Magnetic Field Intensity (H)**

والعلاقة التي تربط بينهما هي :

$$B = \mu_0 H \quad (1)$$

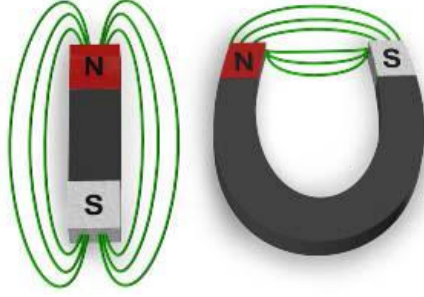
حيث μ_0 معامل نفاذية الفراغ (Permeability) وإذا وجد المجال المغناطيسي في

مادة غير الهواء تصبح المعادلة (1) :

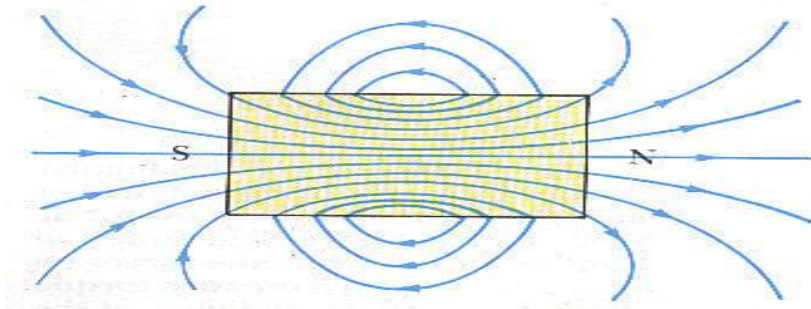
$$B = \mu \mu_0 H$$

ان كثافة خطوط المجال المغناطيسي تكون دلالة على شدة المجال المغناطيسي

ويمكن تمثيل المجال المغناطيسي بخطوط القوى المغناطيسية بحيث يكون كثافة الخطوط لكل وحدة مساحات من عنصر مساحة عمودي على اتجاه خطوط القوى هو مقدار المجال المغناطيسي. ويكون اتجاه المماس لخط القوى عند أي نقطة عليه يعطي اتجاه المجال



المغناطيسي B عند تلك النقطة .



خطوط المجال المغناطيسي تخرج من القطب الشمالي الى القطب الجنوبي

(٢) المحاضرة

القوة المؤثرة على شحنة متحركة في مجال مغناطيسي:-

القوة الكهرومغناطيسية هي واحدة من بين أربع قوى أساسية في الطبيعة ؛ وباقي تلك القوى الأساسية هي القوى النووية القوية (وهي تلك المسؤولة عن ترابط نواة الذرة)، والقوى النووية الضعيفة والجاذبية ؛ فأي قوة في عالمنا عبارة عن تجميع لنسب مختلفة من هذه القوى الأربع الأساسية.

دلت التجارب على انه لو اطلق جسيم مشحون في مجال مغناطيسي لتأثر بقوة جانبية تحرف الجسيم عن اتجاه حركته الاصلي وتسمى القوة المغناطيسية وان اتجاه هذه القوة يكون دائما عموديا على سرعة الجسيم ، اما مقدار هذه القوة فقد لوحظ انه يتغير بتغير الاتجاه الذي تعمله السرعة مع المجال رغم بقاء مقدار السرعة ثابتا ولوحظ ان هناك اتجاها معيناً لو تحرك فيه الجسيم المشحون لاصبح مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة عليه تساوي صفرا ، ان هذا الاتجاه هو نفسه اتجاه المجال المغناطيسي اما اذا انطلق الجسيم باتجاه عمودي على المجال فان القوة تحصل على اقصى قيمة لها وان مقدار القوة المغناطيسية هذه يتناسب طرديا مع مركبة السرعة العمودية على المجال ويتناسب كذلك مع كمية الشحنة التي يحملها الجسيم . يمكن

تعريف المتجه B بدلالة القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة اختبارية متحركة في المجال المغناطيسي وهذا المتجه يسمى شدة المجال المغناطيسي اسوة بالمجال الكهربائي ويمكن ايضا تسميته (كثافة الفيض المغناطيسي) فلو اطلقت شحنة اختبارية موجبة q بسرعة v وتصنع زاوية قدرها θ مع اتجاه المجال المغناطيسي فان شدة المجال المغناطيسي تعطى بالمعادلة التالية

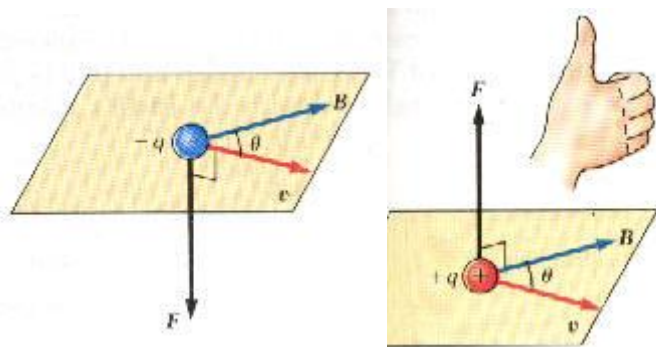
$$B = F / qv \sin \theta \text{-----1}$$

ان تعريف شدة المجال المغناطيسي المتمثل في هذه المعادلة ماهو في الواقع الا تلخيص للحقائق التجريبية والتي تنص على ان القوة المغناطيسية المؤثرة على جسيم مشحون تتناسب طرديا مع كل من الشحنة التي يحملها الجسيم والمركبة العمودية على المجال لسرعة الجسيم ويمكن كتابة المعادلة (1) بالشكل التالي

$$F = (qv \sin \theta) B$$

$$F = qv \times B \text{-----2}$$

ان العلاقة بين المتجهات الثلاث يمكن استنتاجها بسهولة من خصائص الضرب الاتجاهي وعليه يكون اتجاه القوة هو نفس الاتجاه الذي يشير اليه ابهام اليد اليمنى اذا ما وضعت الاصابع الاربعة لنفس اليد بالاتجاه الذي يشير الى تدوير المتجه v نحو متجه المجال B خلال الزاوية الاصغر قيمة بينهما وتسمى هذه بقاعدة اليد اليمنى ويمكن تطبيق نفس القاعدة على الشحنات السالبة مع الانتباه بعكس اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة الاختبار المتحركة ، يمكن القول بان اتجاه المجال المغناطيسي يكون في اتجاه دوران بريمة تدور من v إلى B كما في الشكل التالي:



*اذا وضعت شحنة اختبار ساكنة عند نقطة في منطقة مجال مغناطيسي وجد عملياً أن القوة المغناطيسية عليها تساوي صفر.

*إذا اطلقت شحنة الاختبار q_0 بسرعة v خلال النقطة المراد قياس المجال المغناطيسي عندها فإنها تتأثر بقوة عمودية على اتجاه السرعة.

*وجد عملياً أن القوة المغناطيسية تتناسب مع مقدار الشحنة q_0 وإذا كانت الشحنة سالبة فإن القوة تكون في عكس اتجاه القوة على الشحنة الموجبة.

*تكون القوة المغناطيسية عمودية على اتجاه السرعة ويعتمد مقدراً القوة المغناطيسية على اتجاه سرعة الشحنة بحيث أن B تتناسب طردياً مع $v \sin \theta$ حيث θ الزاوية بين السرعة والمجال المغناطيسي B .

وجد عملياً أن اتجاه القوة يكون دائماً عمودياً على اتجاه المجال المغناطيسي B .

وجد أن القوة المغناطيسية تصبح نهاية عظمى عندما تكون السرعة عمودية على المجال المغناطيسي يمكن تلخيص ذلك بالمعادلات التالية:

$$F \perp v$$

$$F \propto q$$

$$F \propto q_0 v \sin \theta$$

$$F = q_0 v B \sin \theta$$

يعرف مقدار او متجه المجال المغناطيسي B كما يلي :

$$B = F / q_0 v \sin \theta$$

$$F = q_0 v \times B$$

وحدة المجال المغناطيسي B هي **Tesla** ويرمز لها بالرمز T

$$\frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb} \cdot \frac{\text{meter}}{\text{Second}}} = \frac{\text{Newton}}{\text{Ampere} \cdot \text{meter}} = \text{Tesla} \equiv \text{Weber} / m^2$$

وحدة **Tesla** هي وحدة كبيرة ويمكن استخدام وحدة الجاوس في نظام جاوس للوحدات حيث

$$\text{Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$$

قوة لورنتز (قانون القوى الكهرومغناطيسية):

قوة لورنتز هي القوة المؤثرة على شحنة كهربائية تتحرك في مجال كهربائي أو مجال مغناطيسي وهي تسمى باسم العالم الهولندي هندريك لورنتز الذي اكتشفها ففي المجال المغناطيسي تكون قوة لورنتز أكبر ما يمكن عندما تكون اتجاه حركة الشحنة عمودياً على

خطوط المجال المغناطيسي وإذا تحركت الشحنة موازيا لاتجاه خطوط المجال المغناطيسي فلا تنشأ قوة لورنتز وتعمل قوة لورنتز دائما عموديا على اتجاه حركة الشحنة وعلى خطوط المجالات المغناطيسية.

الكتب الحديثة تعتبر قوة لورنتز هي القوة التي يؤثر بها مجال كهرومغناطيسي على شحنة نقطية بصفة عامة. فإذا تحرك جسيم مشحون بالشحنة q بسرعة v في وجود مجال كهربائي E ومجال مغناطيسي B ، فإنه يتأثر بقوة قدرها :

$$F = q(E + v \times B)$$

تلك هي المعادلة الأساسية لقوة لورنتز وهي تجمع بين شقين : قوة لورنتز وهي تأثير مجال مغناطيسي على شحنة تتحرك ، وشق كهربائي ناشيء عن تأثير مجال كهربائي على شحنة ، وتسمى القوة الكهربائية قوة كولوم

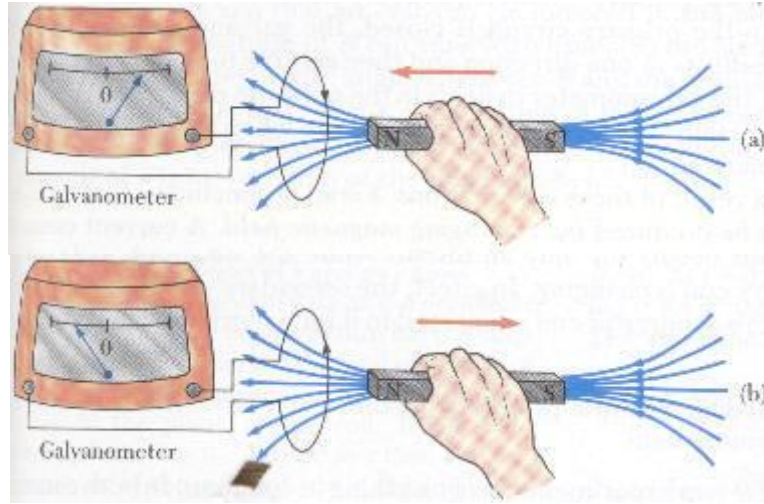
المحاضرة (٣)

قانون فارادي (الحث الكهرومغناطيسي)

Faraday's Law

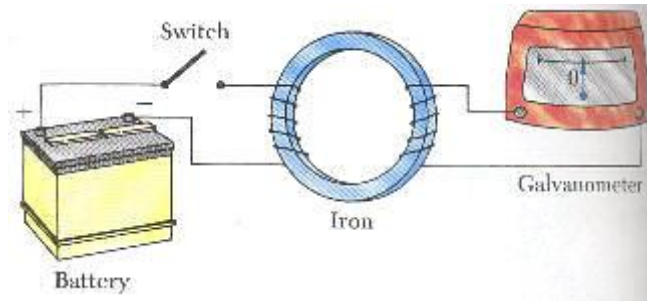
يعلم الطالب كيفية الحصول على مجال مغناطيسي من تيار كهربائي يمر في اشكال مختلفة من السلك ، ولكن هل يمكن الحصول على تيار كهربائي من المجال المغناطيسي ؟ وهذا ما تم الإجابة عنه كل من العالمين مايكل فارادي البريطاني وجوزيف هنري الأمريكي حيث اكتشف قانون فارادي عام ١٨٣١ بعد أن قام كل من العالمين بعدة تجارب ادت إلى نتائج متشابهة وهي ما تعرف بقانون فارادي للحث **Faraday's law of induction**. والتي من خلالها يمكن الحصول على تيار كهربائي من المجال المغناطيسي.

لوحظ أنه عند اقتراب مغناطيس من الدائرة المبيّنة في الشكل (١) يتحرك مؤشر الجلفانومتر باتجاه معين وعند ثبوت المغناطيس يعود مؤشر الجلفانومتر إلى الصفر أما عند سحب المغناطيس الى الخلف ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه الأخر مما يشي إلى مرور تيار كهربائي في الدائرة عند حركة المغناطيس يعرف هذا التيار بالتيار الحثي **Current Induced** وهو ناشئ من قوة دافعة كهربائية محتثة **Electromotive Force Induced**.



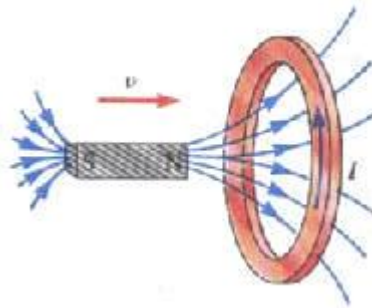
شكل (١)

في تجربة أخرى مبينة في الشكل (٢) نلاحظ عند لحظة اغلاق مفتاح الدائرة الكهربائية الأولى ولحظة فتح الدائرة الكهربائية مرور تيار في الدائرة الثانوية، وهذا يعود إلى انه في حالة فتح الدائرة الكهربائية أو اغلاقها فإن التيار يتغير بين القيمة صفر واقصى قيمة مما يؤدي إلى تغيير في المجال المغناطيسي المتولد في الملف على الجانب الأيسر للدائرة وهذا يؤدي إلى مرور تيار كهربائي حثي في الدائرة الثانوية.



شكل (٢)

عند اقتراب المغناطيس من الملف فإن التيار الحثي المتولد سوف يعطي مجالاً مغناطيسياً، معاكساً للزيادة في المجال المغناطيسي ولهذا فإن التيار الحثي المتولد الحلقة سيكون في اتجاه عكس عقارب الساعة ليكون اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عنه في عكس الزيادة في التدفق



الذاتج من المغناطيس الخارجي.	
لا حظ ان التيار الحثي المتولد في الحلقة نتيجة لاقترب المغناطيس من الحلقة ينشئ مجالاً مغناطيسياً له قطب جنوبي وقطب شمالي ليتنافر مع المغناطيس المتحرك	

شكل (٣) طريقة توليد التيار الحثي

خطوط المجال المغناطيسي لحلقة يمر بها تيار	خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم

شكل (٤) طرق انتاج خطوط المجال المغناطيسي

من الملاحظات العملية على التجارب السابقة الذكر نستنتج أن القوة الدافعة الكهربية في الدائرة يتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي خلال الدائرة.

أي أن

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Faraday's Law of Induction

حيث أن Φ_m هي الفيض المغناطيسي المار خلال الدائرة الكهربية والتي تحسب من القانون

التالي (قانون كاوس في المغناطيسية)

ملاحظة: لا يؤخذ التكامل لسطح مغلق، لماذا؟

$$\Phi_m = \int B \cdot dA$$

في حالة كون الدائرة الكهربية من عدة لفات N فإن قانون فارادي للحث يصبح في الصورة التالية:

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

ولتغيير الفيض المغناطيسي يمكن استخدام عدة طرق وهي:

١- تغيير المجال المغناطيسي.

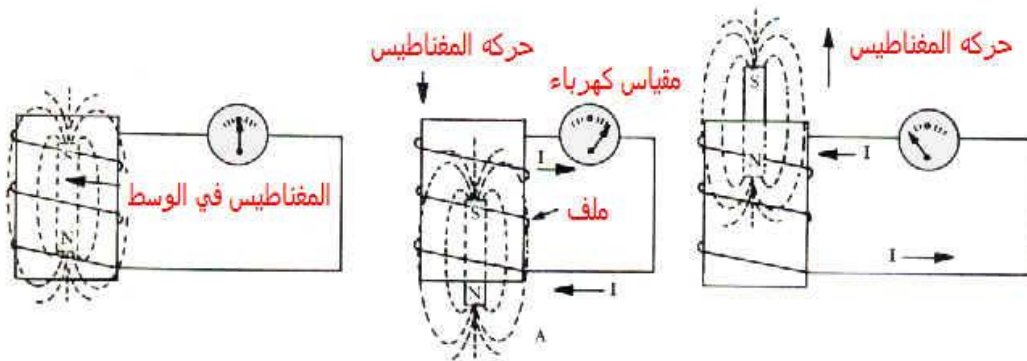
٢- تغيير مساحة الدائرة الكهربية.

٣- تغيير الزاوية بين متجه المساحة العمودي على المساحة و متجه المجال المغناطيسي.
تدل الإشارة السالبة في قانون فارادي على ان اتجاه التيار الحثي الذي يتولد في الدائرة الكهربية معاكس للتغير في الفيض المغناطيسي

$$\varepsilon = - \frac{d}{dt} (BA \cos \theta)$$

توليد مجال كهرومغناطيسي

عند مرور تيار كهربي خلال جزء من سلك فإنه يتولد مجال مغناطيسي حوله , عند لف السلك حول قطعة من المعدن مع ترك القطبين الشمالي والجنوبي مكشوفين يتمغنط المعدن بحيث يصبح مغناطيساً كهربياً. وعادة ما يستخدم تجار الحديد الخردة مغناطيسات كهربية ضخمة لالتقاط السيارات القديمة، وعند فصل التيار الكهربي عن المغناطيس فإنه يفقد قوته



يوضح الشكل (٥) ان اتجاه التيار يعتمد على حركة المغناطيس داخل الملف

باستخدام قانون لنز يمكن تحديد اتجاه التيار الحثي، وينص قانون لينز على ما يلي:

قانون لنز: يكون اتجاه التيار الحثي في الدائرة الكهربائية بحيث يولد مجالاً مغناطيسياً يعاكس المجال المغناطيسي الذي انشأه.

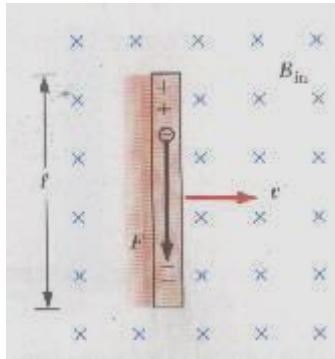
وإحدى الطرق التي توضح العلاقة بين اتجاه التيار والأقطاب المغناطيسية هي قاعدة اليد اليمنى، امسك سلكاً على هيئة ملف في يدك اليمنى واعتبر هذا الملف مغناطيساً كهربائياً ثم لف أصابعك حوله بحيث تشير إلى اتجاه التيار عندها يشير إصبع الإبهام إلى القطب الشمالي المغناطيسي ولا تنطبق هذه الطريقة إلا في حالة سريان التيار من الطرف الموجب إلى الطرف السالب.

والأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر كما هو الحال بالنسبة لقطبين شماليين والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب مع بعضها. فإذا تم تعليق قضيب مغناطيسي بين طرفي مغناطيس على هيئة حدوة حصان فإنه سيدور حتى يصبح قطبه الشمالي في مقابل القطب الجنوبي لمغناطيس حدوة الحصان في حين يكون القطب الجنوبي لمغناطيس القضيب في مقابل القطب الشمالي لمغناطيس حدوة الحصان

المحاضرة (٤)

حساب القوة الدافعة الكهربائية المحتثة The Induced emf

عند تحريك قطعة مستقيمة من موصل طوله l بسرعة منتظمة v في مجال مغناطيسي B داخل إلى الصفحة كما في الشكل المقابل يحدث التسلسل التالي:



شكل (٦) سلك موصل في مجال مغناطيسي

- تتولد قوة مغناطيسية $F = qv \times B$ داخل مادة الموصل.
- تعمل القوة المغناطيسية المتولدة على تحريك الشحنات بحيث تتراكم الشحنات الموجبة في طرف والشحنات السالبة في الطرف الآخر.
- ينشأ مجال كهربائي شدته E نتيجة تراكم الشحنات.

- ينشأ المجال الكهربائي قوة كهربائية تعمل في عكس اتجاه القوة المغناطيسية.
- تتوقف الشحنات عن الحركة إلى اطراف الموصل نتيجة لتساوي القوة الكهربائية مع القوة المغناطيسية.

$$F_e = qE \quad \& \quad F_m = qvB$$

$$F_e = F_m$$

$$qE = qvB$$

$$E = vB$$

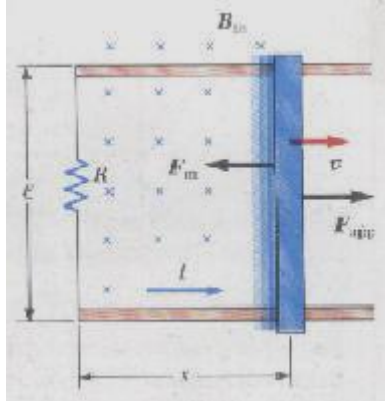
يمكن التعبير عن المجال الكهربائي بفرق الجهد الكهربائي V حيث $V = El$

$$V = B l v$$

يبقى فرق الجهد بين طرفي الموصل طالما هناك حركة للموصل في المجال المغناطيسي

المحاضرة (٥)

التيار الحثي Induced Current



شكل (٧) موصل يتحرك بين سلكين بينهما مقاومة

إذا افترضنا ان الموصل ضمن دائرة كهربائية كالموضحة في الشكل (٧) وحركة الموصل تؤدي إلى تغير في الفيض المغناطيسي مع الزمن لأن المساحة المحصورة بالدائرة الكهربائية تتغير مع حركة الموصل.

تحت تأثير قوة خارجية F_{app} يتحرك الموصل بسرعة v ، ومرة أخرى تتأثر الشحنات الحرة داخل مادة الموصل بالقوة المغناطيسية $F=qv \times B$ ولكن في هذه الحالة سوف لا تتراكم على طرفي الموصل بل ستتحرك خلال الدائرة الكهربائية. وحركة الشحنة تعني تيار كهربائي يسري في الدائرة ناتج عن تغيير الفيض المغناطيسي بتغيير المساحة x .

$$\Phi_m = B A$$

$$\Phi_m = B / x$$

$$\varepsilon = - d\Phi_m/dt = - d/dt (B / x) = - B / dx/dt$$

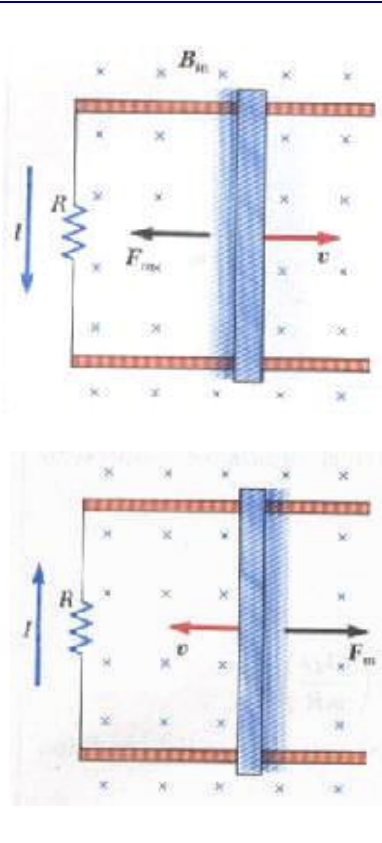
$$\varepsilon = -Blv$$

إذا كانت مقاومة السلك معلومة يمكن إيجاد قيمة التيار الكهربائي المحتث **Induced current** كما يلي:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Blv}{R}$$

نفترض مجالا مغناطيسيا خارجيا في اتجاه الصفحة للداخل كما هو موضح في الشكل بعلامة \times . عند تحريك الساق المعدنية إلى اليمين يزداد الفيض المغناطيسي داخل الدائرة مع الزمن لأن المساحة تزداد. من قانون لينز ينشئ تيار حثي بحيث ينشئ قوة تقاوم حركة الساق إلى اليمين لتمنع الزيادة في الفيض المغناطيسي في الدائرة وعليه يكون اتجاه التيار الحثي عكس عقارب الساعة. لهذا التيار الحثي مجال مغناطيسي (في اتجاه خارج من الصفحة عكس المجال الخارجي) ليقاوم الزيادة في الفيض المغناطيسي.

إذا تحركت الساق المعدنية في المثال السابق



إلى اليسار بحيث يقل الفيض المغناطيسي مع الزمن فإن التيار الحثي الناتج يكون مع عقارب الساعة بحيث يكون المجال المغناطيسي الناشئ عنه في اتجاه داخل على الصفحة (مع المجال المغناطيسي الخارجي) وذلك ليقاوم النقصان في الفيض المغناطيسي.

يوضح الشكل في الأعلى بانه بتحريك الساق الى اليمين يزداد الفيض المغناطيسي وإذا تحرك الى اليسار يقل الفيض (علل ذلك)

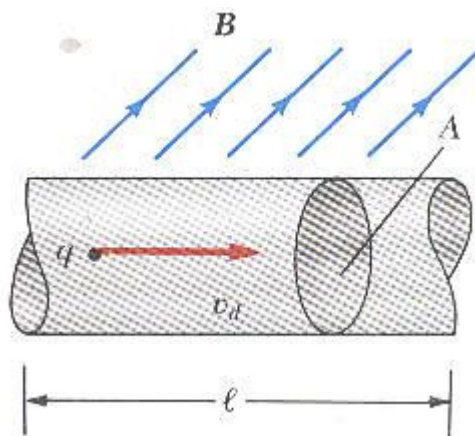
المحاضرة (٦)

تأثير المجال المغناطيسي على موصل يحمل تيار

لاحظنا ان القوة المغناطيسية تؤثر على الشحنة المتحركة بسرعة v في مجال مغناطيسي B . وحيث أن التيار الكهربائي المار في سلك موصل هو حركة للشحنات في السلك، لذا سنقوم بدراسة تأثير المجال المغناطيسي على سلك يمر به تيار كهربائي شدته I .

افترض سلك من مادة موصلة طولها l ومساحة مقطعها A يمر بها تيار كهربائي I ، والسلك موجود في منطقة مجال مغناطيسي B كما في الشكل المقابل. تتحرك الشحنات داخل مادة الموصل بسرعة تسمى سرعة الانجراف v_d Drift velocity ويكون تأثير المجال المغناطيسي على كل شحنة متحركة هو توليد قوة مقدارها:

$$F = q_0 v_d \times B$$



ولإيجاد القوة المغناطيسية التي تؤثر على السلك يجب ان نوجد عدد الشحنات المارة في السلك وسنفترض ان عدد تلك الشحنات هو nAl حيث أن n هو عدد الشحنات لكل وحدة حجوم وعليه تكون القوة المغناطيسية الكلية تعطى بالمعادلة التالية:

$$F = q_0 v_d \times B (nAl)$$

$$v_d = i/nqA$$

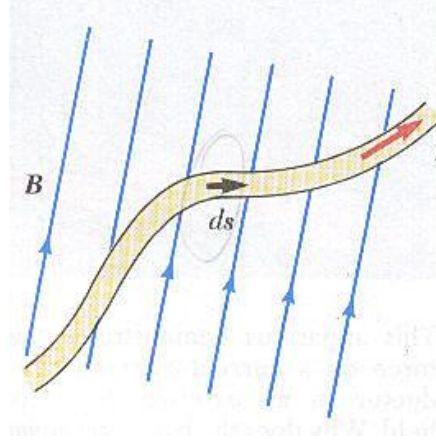
بالتعويض عن سرعة الانجراف نحصل على المعادلة التالية:

$$F = il \times B$$

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

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

$$dF = i ds \times B$$



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

$$F = i l B$$

حيث l هي الازاحة بين نقطة البداية والنهية للسلك.

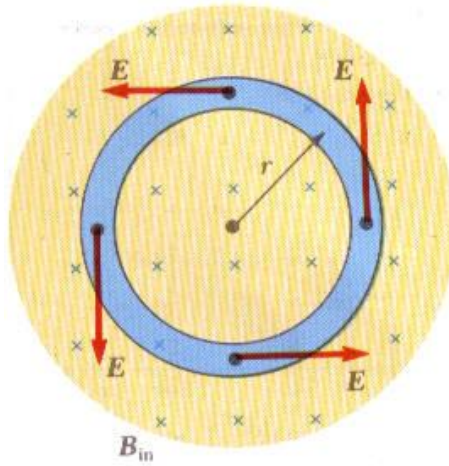
المحاضرة (٧)

امثلة:

مثال ١: قطعة من سلك موصل طولها 0.5m يمر بها تيار مقداره 12A يصنع زاوية مقدارها 30 درجة يؤثر فيها مجال مغناطيسي $2 \times 10^{-2} T$ اوجد مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على القطعة

مثال ٢: سلك نحاسي مستقيم بشكل افقي في مجال مغناطيسي ويمر به تيار قدره 28A اوجد مقدار واتجاه المجال المغناطيسي بحيث يبقى السلك عائما وتوازن القوة المغناطيسية وزن السلك اذا علمت ان الكثافة الطولية لمادة السلك 46.6gm/m

القوة الدافعة الكهربائية المحتثة والمجال الكهربائي (معادلة ماكسويل الثالثة)



شكل (٦) يوضح اتجاه المجال الكهربائي المتولد

لاحظنا ان بتغير الفيض المغناطيسي يولد قوة دافعة كهربائية حثية وتيار حثي في الدائرة وهذا يؤكد على وجود مجال كهربائي حثي نتيجة لتغير في الفيض المغناطيسي. ومن النظرية الكهرومغناطيسية ان مجال كهربائي ينتج من تغير الفيض المغناطيسي في الفراغ ويمكن حساب العلاقة بين المجال الكهربائي المستحث والتغير في الفيض المغناطيسي.

نفرض وجود حلقة موصلة نصف قطرها r موضوعة في مجال مغناطيسي خارجي متغير مع الزمن عمودي على مستوى الحلقة من قانون فارادي فإن القوة الدافعة الكهربائية تعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

تعمل القوة الدافعة الكهربائية على توليد تيار كهربائي في الحلقة الموصلة وهذا بدوره يشير إلى وجود مجال كهربائي يتناسب مقداره والتيار المار في الحلقة وله اتجاه المماس على الحلقة كما في الشكل (٦).

بحساب الشغل المبذول لتحريك شحنة q في الحلقة الموصلة بواسطة كلاً من المجال الكهربائي الناشئ والقوة الدافعة الكهربائية ومساواة المعادلتين ينتج ان:

$$\text{الشحنة} \times \text{القوة الدافعة الكهربائية} = \text{القوة} \times \text{المسافة}$$

$$q\varepsilon = qE(2\pi r)$$

$$E = \frac{\varepsilon}{2\pi r}$$

$$\text{Since } \Phi_m = BS = \pi r^2 B$$

$$E = - \frac{1}{2\pi r} \frac{d\Phi_m}{dt} = - \frac{r}{2} \frac{dB}{dt}$$

من المعادلة السابقة نلاحظ أنه إذا علمنا معدل التغير في المجال المغناطيسي بالنسبة للزمن يمكن حساب المجال الكهربائي الناشئ بالحث. وتدل الإشارة السالبة على أن المجال الكهربائي في اتجاه يعاكس التغير في المجال المغناطيسي. والصورة العامة لقوة الدافعة الكهربائية على مسار مغلق تعطى بالعلاقة التالية والتي تسمى معادلة فرايدي العامة

$$\varepsilon = \oint E \cdot ds = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

المحاضرة (٨)

معادلات ماكسويل

قوانين او معادلات ماكسويل عبارة عن مجموعة من أربع معادلات تصف سلوك وتغيرات الحقلين الكهربائي والمغناطيسي وتأثيراتهما مع المادة وتحولاتهما إلى أشكال أخرى من الطاقة. هذه القوانين من وضع الفيزيائي جيمس ماكسويل وهذه المعادلات تصف العلاقات المتبادلة بين كل من المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية والشحنات الكهربائية والتيار الكهربائي.

فالمعادلة الأولى ما هي إلا قانون جاوس بشكله التفاضلي والذي مفاده أن أي شحنة كهربائية نقطية في الفضاء لا بد أن تولد حولها مجالاً كهربائياً تنطلق خطوطه من مكان الشحنة ويكون هذا المجال ساكناً لا يتغير مع الزمن إذا كانت الشحنة ساكنة ومتغيراً مع الزمن إذا كانت متغيرة

أما المعادلة الثانية فما هي إلا قانون جاوس للمغناطيسية بشكله التفاضلي والذي ينص على أنه لا وجود للشحنات المغناطيسية وعليه فإن خطوط المجال لا بد وأن تكون مغلقة على نفسها.

أما المعادلة الثالثة فما هي إلا قانون فارادي للحث حيث قام ماكسويل بتحويله من شكله التكاملي

إلى شكله التفاضلي أو النقطي ومفاد هذه المعادلة أن المجال المغناطيسي المتغير مع الزمن يولد حوله مجالاً كهربائياً تتناسب قيمته وتوزعه في الفضاء مع معدل تغير كثافة المجال المغناطيسي مع الزمن

أما المعادلة الرابعة فهي شكل معدل لقانون أمبير فبعد أن قام ماكسويل بتحويله من شكله التكاملي إلى شكله التفاضلي أضاف إليه حداً جديداً أطلق عليه اسم تيار الإزاحة وهذه الإضافة هي من أهم إسهامات ماكسويل في مجال الكهرومغناطيسية حيث مكنته من التنبؤ بوجود الأمواج الكهرومغناطيسية. وبإضافة تيار الإزاحة لمعادلة أمبير أصبح مفاد معادلة ماكسويل الرابعة أن التيار الكهربائي أو المجال الكهربائي المتغير مع الزمن يولد حوله مجالاً مغناطيسياً تتناسب قيمته وتوزعه في الفضاء مع قيمة واتجاه التيار وكذلك مع معدل تغير شدة المجال الكهربائي مع الزمن واتجاهه في الفضاء

وفي عام ١٨٦٥ م تمكن ماكسويل من خلال دمج المعادلات الثلاثة والرابعة وهما قانون فارادي وقانون أمبير المعدل للحصول على معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية وعندما حل هذه المعادلة تبين له

أن المجالات الكهربائية والمغناطيسية لا بد وأن تنتشر على شكل موجات في الفضاء وبهذا فقد اثبت وتنبأ من خلال التحليل الرياضي البحت وجود ما يسمى بالموجات الكهرومغناطيسية وتسير الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ أو في أي وسط متجانس على شكل خطوط مستقيمة ولكنها قد تتعرض لظواهر عدة عند انتقالها من وسط إلى آخر مثل الحيود

(diffraction) والانعكاس (refraction) والانعكاس (reflection)

فبعد انتقال موجة كهرومغناطيسية من وسط إلى وسط بينهما حد منتظم غير متعرج فإن جزءاً من هذه الموجة سينعكس راجعاً في الوسط الذي جاء منه بحيث تساوي زاوية الانعكاس زاوية السقوط بينما ينفذ الجزء المتبقي من الموجة الساقطة إلى الوسط الثاني ويسير فيه بشكل منكسر حيث تتحدد زاوية الانكسار من زاوية السقوط وكذلك معاملات الانكسار وإذا ما سقطت موجة على وسط ذي سطح متعرج فإن الانعكاس لن يكون حسب قانون سنل

ولن يكون في اتجاه واحد بل في اتجاهات متعددة وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة التشتت. وعندما تسقط موجة على جسم له أبعاد تقل عن طول الموجة فإن هذه الموجة لن تتأثر كثيرا بوجود هذا الجسم بل ستحيد عنه وتكمل مسارها وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة الحيود. وجدير بالذكر أن جميع المعادن لا تسمح بالموجات الكهرومغناطيسية بالنفاذ من خلالها بل تعكسها كليا إلى الوسط الذي جاءت منه وعليه فإنه لا يمكن إستقبال أو إرسال هذه الموجات من داخل مباني جدرانها وأسقفها من المعادن وبما ان الاتصالات الكهربائية تعمل على سطح الأرض الكروية الشكل وكذلك ضمن الغلاف الجوي المحيط بها والذي تتغير خصائصه بشكل مستمر مع تغير الليل والنهار وتغير الفصول فإنها تتعرض في الغالب إلى عدد من الظواهر بعضها ذا فائدة كبيرة لبعض أنظمة الاتصالات وبعضها الآخر يقلل من حسن أدائها.

ومن هذه الظواهر انعكاس الأمواج عند ارتطامها بالأرض وبعض طبقات الغلاف الجوي مما يؤدي إلى تغيير اتجاه انتشارها ومنها انكسار الأمواج عند انتقالها من طبقة إلى طبقة أخرى في الغلاف الجوي وهناك ظاهرة الحيود حيث تقوم بعض الأمواج بتخطي بعض العوائق الطبيعية وتكمل مسارها وهناك الفقد الناتج

عن امتصاص مكونات الغلاف الجوي لبعض طاقة الأمواج وهناك التبثر الناتج عن ارتداد جزء من الموجة عند ارتطامها بمنطقة غير متجانسة في الغلاف الجوي. وتقسم الموجات من حيث طريقة انتشارها فوق سطح الأرض

يتم توليد الموجات الكهرومغناطيسية باستخدام ما يسمى بهوائيات الإرسال التي تقوم بتحويل الإشارات الكهربائية التي تغذى إليها من المرسل إلى موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفضاء ويتم التقاط هذه الموجات المنتشرة في الفضاء بما يسمى هوائيات الاستقبال التي تقوم بتحويلها إلى إشارات كهربائية مرة ثانية إلى المستقبل يمكن لأي سلك أو سطح معدني إشعاع والتقاط الموجات الكهرومغناطيسية

ولكن الهوائيات العملية لها أشكال وأبعاد معينة تحدد حسب الغرض الذي صنعت من أجله. إن من أهم مواصفات الهوائيات هو الذي يحدد طريقة توزيع الطاقة الذي يبثها أو يلتقطها ما يسمى بنسق الإشعاع

العلاقة الفيزيائية	الظاهرة الطبيعية الفيزيائية
<u>قانون كاولس للكهربائية</u>	يعبر هذا القانون عن العلاقة بين فيض المجال الكهربائي من سطح مغلق والشحنة الموجودة داخل السطح المغلق.
<u>قانون كاولس للمغناطيسية</u>	ويعبر هذا القانون عن الحقيقة التجريبية القائمة حتى الآن وهو عدم وجود شحنة مغناطيسية أو أقطاب مغناطيسية منفردة.
<u>قانون فاراداي</u>	يعبر عن العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية ق.د.ك

الرائشة بالحث في مسار مغلق ومعدل تغير فيض المجال المغناطيسي خلال أي سطح محدود بالمسار المغلق، ويبرهن عدم اعتماد فرق الجهد على المسار الذي يسلكه.	
يعبر عن العلاقة بين المجال المغناطيسي والتيارات المنشئة له (تيار التوصيل الفعلي وتيار الإزاحة	قانون أمبير - ماكسويل (Ampere- Maxwell Law)

١- قانون جاوس في الكهربية يبين كيف أن الشحنات الكهربية تولد مجالاً كهربياً، أي

$$\Phi = \oint E ds = q/\epsilon_0$$

واحيانا يعطى بالصيغة التالية في حالة شحنة موزعة توزيع حجمي:

$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q$$

وباستخدام نظرية التباعد **Divergence** نجد أن:

$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_v (\nabla \cdot \vec{D}) dv$$

ولكن:

$$Q = \int_v \rho dv$$

إذن:

$$\int_v (\nabla \cdot \vec{D}) dv = \int_v \rho dv$$

وعليه نجد أن:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

المحاضرة (٩)

2- قانون جاوس في المغناطيسية والذي يثبت عدم وجود القطب المغناطيسي المنفرد مناظراً للموجود في حالة الكهرباء، أو أن الفيض المغناطيسي دائماً ما يوجد في مسارات مغلقة ولا تنتهي عند نقطة بعينها، أي:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \text{zero}$$

3- قانون فاراداي والذي ينص على أن المجالات المغناطيسية المتغيرة مع الزمن تولد مجالات كهربية، وبالتالي فإن القود الدافعة الكهربائية الناتجة ستكون عبارة عن المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي، أي:

$$emf = - \frac{d\Phi}{dt} \text{-----1}$$

ولكن الفيض المغناطيسي خلال سطح ما هو

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \text{-----2}$$

وأيضاً القوة الدافعة الكهربائية هي

$$emf = \oint \vec{E} \cdot d\vec{L} \text{-----3}$$

بتساوي معادلة ١ مع معادلة ٣ نستنتج معادلة ماكسويل الثالثة

$$d\Phi/dt = - \oint E dl$$

وهذه المعادلة تدل على وجود مجال كهربائي ناشئ من تغير المجال المغناطيسي

٤- قانون أمبير - ماكسويل يثبت تولد مجال مغناطيسي ناشئ من تغير المجال الكهربائي وبوجود نوعين من التيارات في الدائرة (تيار التوصيل وتيار الازاحة)

قوانين ماكسويل في حالة الابعاد الثلاثة معطاة في الجدول التالي:

الشكل التفاضلي	مسمى المعادلة
	<u>قانون غاوس:</u>
$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	<u>قانون غاوس للمغناطيسية:</u>
$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	<u>قانون الحث لفرداي:</u>
	<u>قانون أمبير مضافا إلى تصحيح ماكسويل:</u> $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

يمكن إعادة المعادلات السابقة على افتراض أن الضوء ينتشر في الفراغ حيث لا توجد أي شحنات كهربائية أي أن $\rho = 0$ و $\mathbf{J} = 0$ فتصبح بالصورة

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{قانون غاوس لتدفق الحقل الكهربائي}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \text{قانون غاوس للمغناطيسية}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{قانون الحث لفرداي}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad \text{قانون أمبير}$$

المحاضرة (١٠)

عمل ماكسويل على تعميم قانون أمبير للمجالات المتغيرة زمنياً وأصبحت العلاقة

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mu \mathbf{J} + \mu \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

بالصورة

حين قام ماكسويل بحل هذه المعادلات الأربع في الفراغ وتوصل إلى الصلة الوثيقة بين سرعة الموجة الكهرومغناطيسية وبين ثابت العزل وثابت المغناطيسية.

لإيجاد معادلة الموجة يجب إيجاد المشتقة الثانية في كل من الزمن والفضاء. بداية بأخذ الالتواء لطرفي المعادلة الثالثة وبتعويض النتيجة في المعادلة الرابعة نجد أن

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\frac{\partial \nabla \times \mathbf{B}}{\partial t}$$

من نظرية تفاضل المتجه، نعلم أن $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\nabla^2 \mathbf{E} + \nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{E})$

على هذا الأساس تصبح

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

وهذه معادلة موجة في ثلاثة أبعاد، وللتبسيط يمكن دراستها في بعد واحد بالشكل

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

بالبحث عن حل للمعادلة الجيبية، بدلالة السرعة v والطول الموجي λ يفترض أن تكون

$$E = E_0 \sin\left(2\pi \frac{x - vt}{\lambda}\right)$$

بمفاضلة هذه المعادلة مرتين نحصل على

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = -E_0 \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \sin\left(2\pi \frac{x - vt}{\lambda}\right)$$

و

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = -E_0 \left(\frac{2\pi v}{\lambda}\right)^2 \sin\left(2\pi \frac{x - vt}{\lambda}\right)$$

بالتعويض عنها مرة أخرى في معادلة الموجة نجد أنها تمثل حلاً شريطة أن

$$v^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$$

أثارت هذه النتيجة فضول آينشتين وكانت السبب الرئيس في تطويره لنظرية النسبية الخاصة

- إحدى نتائج قوانين الكهرومغناطيسية (مثل معادلات ماكسويل) هي أن c هي سرعة الأمواج الكهرومغناطيسية ، وهي لا تتعلق بسرعة الجسم الذي يطلقها ، أي أن سرعة موجة ضوئية منبعثة من جسم متحرك لا تختلف باختلاف سرعة المصدر. ستكون سرعة الضوء ثابتة (مع أن لون شعاع الضوء ستختلف ، إذ سيختلف طول موجته ، وهذا ما يسمى بتأثير دوبلر).

- كانت استنتاجات ماكسويل المذهلة هي الصيغة التالية التي تمثل سرعة الضوء:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

• حيث:

- c سرعة الضوء أو الموجة الكهرومغناطيسية
- μ_0 معامل النفاذية وقيمته $(\pi \times 10^{-7} \text{ H/m})$ هنري\متر
- ϵ_0 معامل السماحية وقيمته $(1.0 \times 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})$ فاراد\متر
- إذا ما أضفنا إلى ذلك الاستنتاجات من النظرية النسبية يقودنا ذلك إلى أن جميع المتفرجين سوف يقيسوا سرعة الضوء بالفراغ متساوية باختلاف سرعتهم وسرعة الأجسام التي تطلق الضوء. هذا ما قد يقودنا إلى رؤية c كقيمة لثونية ثابتة وأساساً للنظرية النسبية. من الجدير بالذكر ان القيمة c هي القيمة الكونية وليس سرعة الضوء، فإذا تم التلاعب بسرعة الضوء بطريقة أي كانت لن تتأثر النظرية النسبية بذلك.

الدافع وراء نسبة هذه المعادلات إلى ماكسويل رغم أنه ليس هو من وضعها هو اكتشافه وبرهنته على أنها سليمة فقط في حال كان المجال الكهربائي E ساكناً. أي أن المعادلات السابقة هي حالة خاصة ولا تنطبق إلا عندما يكون:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = 0$$

قام ماكسويل بافتراض تصحيحات لهذه المعادلات ولم يثبتها في التجربة وقام بتعميمها لتشمل المجالات الكهربائية المتغيرة زمنياً مما مهد الطريق لاكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية ومعادلتها كما فرض أن الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية إضافة إلى أهم ما قام به وهو افتراض وجود تيار يسري في العوازل أطلق عليه مسمى تيار الإزاحة.

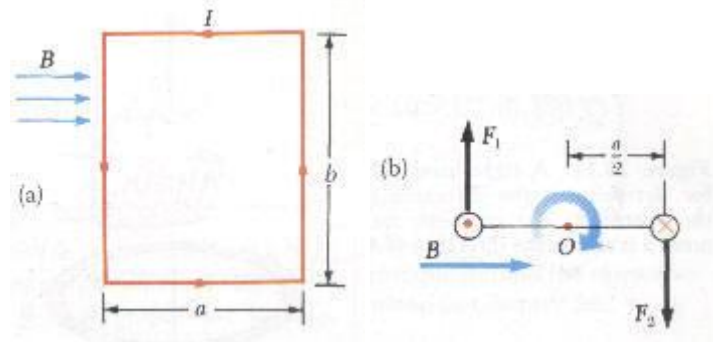
تأثير المجال المغناطيسي على حلقة يمر بها تيار

Torque on a current loop

وجدنا ان قوة مغناطيسية تؤثر على سلك (١) يمر به تيار (٢) وموضوع في مجال مغناطيسي خارجي وفي وضعية مشابهة نجد ان القوة المغناطيسية تؤثر بقوة عزم ازدواج على حلقة يمر بها تيار موضوعة في مجال مغناطيسي خارجي.

١- حالة خاصة اذا كان 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 $F = IbB$ ، ومتعاكسة في الاتجاه ولكن خط عملهما مختلف مما ينتج عن ذلك ازدواج Torque . يعطى بالعلاقة التالية:

$$\tau = IAB$$

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

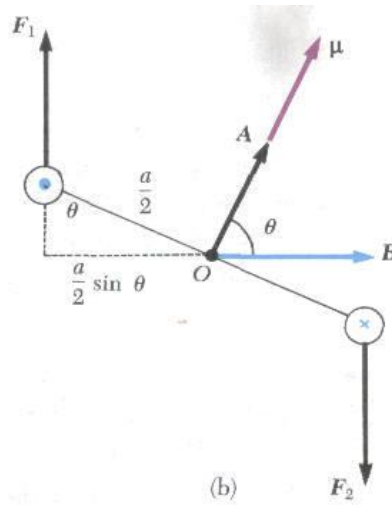
ب- الحالة العامة اذا كان المجال المغناطيسي يعمل زاوية مع مستوى الحلقة

بنفس الطريقة السابقة سيكون تأثير المجال المغناطيسي على الحلقة هو ازدواج يتولد على طرفي الضلعين b ولحساب الازدواج نقوم بضرب القوة المؤثرة في المسافة العمودية على النحو التالي:

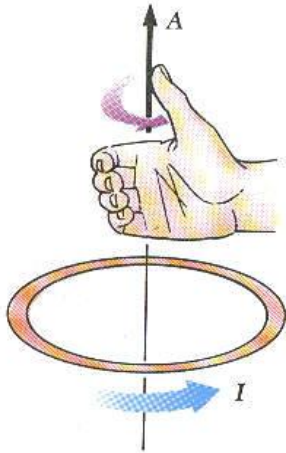
$$\tau = F_1 (a/2) \sin\theta + F_2 (a/2) \sin\theta$$

$$\tau = IbB (a/2) \sin\theta + IbB(a/2) \sin\theta$$

$$\tau = IAB \sin\theta$$



والمعادلة السابقة تكتب في الصورة الاتجاهية بالصورة التالية:



$$\tau = IA \times B$$

حيث A هو متجه المساحة ومقداره مقدار المساحة ويكون اتجاهه عمودي على المساحة. ويعرف حاصل ضرب متجه المساحة في التيار بعزم المجال المغناطيسي **Magnetic Moment** μ .

$$\mu = I A$$

The SI unit of the magnetic moment is (A.m²)

يتم تحديد اتجاه عزم المجال المغناطيسي باستخدام قبضة اليد اليمنى كما في الشكل المقابل... ويكتب عزم الازدواج بالصورة التالية.

$$\tau = \mu \times B$$

المحاضرة (١١)

س ١: قطعة من سلك موصل طولها 0.5m يمر بها تيار مقداره 12A يصنع زاوية مقدارها 30 درجة يؤثر فيها مجال مغناطيسي $2 \times 10^{-2} T$ اوجد مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على القطعة

س ٢: سلك نحاسي مستقيم بشكل افقي في مجال مغناطيسي ويمر به تيار قدره 28A اوجد مقدار واتجاه المجال المغناطيسي بحيث يبقى السلك عائما وتوازن القوة المغناطيسية وزن السلك اذا علمت ان الكثافة الطولية لمادة السلك 46.6gm/m

س ٣: اذا كانت قيمة الفيض المغناطيسي التي تقطع دائرة كهربائية مجاورة هي $5 \times 10^{-4} w$ وعند فتح الدائرة الاولى انخفضت قيمة الفيض المغناطيسي الى الصفر خلال زمن قدره 0.02 sec اوجد قيمة القوة الدافعة المحتثة المتولدة في الدائرة الثانية .

س ٤: جسيم كتلته 0.02gm وشحنته $50 \mu c$ يتحرك عموديا بسرعة 10m/sec داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافته 20T جد نصف قطر المسار لهذا الجسيم ، ثم احسب زمن الدورة الواحدة.

س ٥: ملف حلزوني يحتوي على مائتي لفة لكل سنتيمتر واحد من طوله ويحمل تيارا تزداد قيمته بمعدل 100A/sec وضع داخله ملف دائري صغير مكون من مائة لفة ومساحة مقطعه $2cm^2$ ينطبق محوره مع محور الملف الحلزوني ، احسب مقدار ق.د.م فيه.

س ٦: مجال مغناطيسي خارجي يتخلل ملف مكون من 10 turns ، نصف قطر الملف 50mm ومقاومته 2Ω تزداد المركبة العمودية لهذا المجال من صفر الى 18T في ثلاث ثواني ماهي شدة التيار الحثية وما هو اتجاهه.

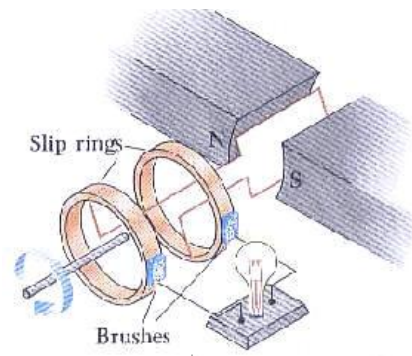
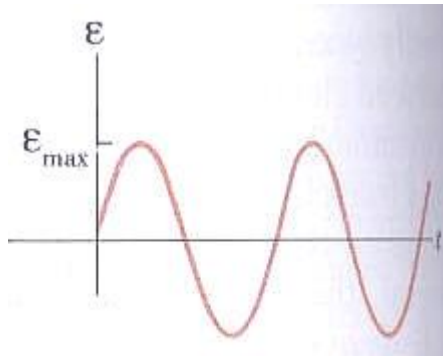
Generators and Motors

المولد الكهربى والمحرك الكهربى

تعتبر المولدات الكهربىة والموتورات الكهربىة من الاجهزة المهمة في حياتنا العملية التي تعمل على اساس الحث الكهرومغناطيسى.

المولد الكهربى:

يقوم المولد الكهربى بتوليد التيار الكهربى المتردد الذى من خلاله يمكن تشغيل جميع الاجهزة الكهربىة المستخدمة في حياتنا العملية، وتعتمد فكرة عمله على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربىة من خلال تدوير ملف كهربى في وجود مجال مغناطيسى . ولتدوير الملف الكهربى نحتاج إلى مصدر طاقة ميكانيكية قد تكون الرياح أو المياه الساقطة من الشلالات أو من حرق الفحم أو البترول أو من الطاقة النووية كل هذه المصادر المختلفة تقوم بتوليد الطاقة اللازمة لإدارة الملف بين قطبي مجال مغناطيسى. يوصل نهاية الملف الكهربى بحلقتين تدوران امام فرشاتين من مادة موصلية لنقل التيار الكهربى المتولد إلى خطوط نقل الطاقة الكهربىة .



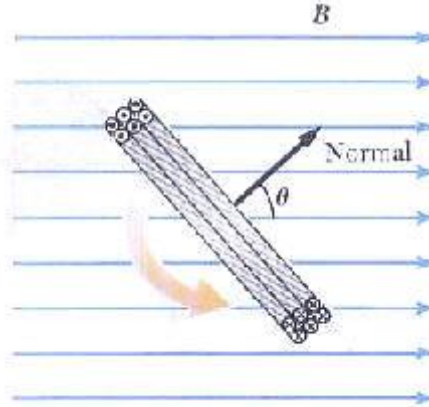
لنفرض أن عدد لفات الملف الكهربى N لفة ومساحة الملف A وسرعة دوران الملف هي سرعة زاوية مقدارها ω . اذا كانت الزاوية θ هي الزاوية الحصورة بين المجال المغناطيسى والعمودي على مستوى الملف الكهربى فإن الفيض المغناطيسى للملف عند أي زمن t يعطى بالعلاقة التالية:

$$\Phi_m = BA \cos\theta = BA \cos\omega t$$

where $\theta = \omega t$

Hence the induced *emf* in the coil is given by

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_m}{dt} = -NAB \frac{d}{dt} (\cos \omega t) = NAB \omega \sin \omega t$$



توضح المعادلة السابقة أن القوة الدافعة الكهربائية *emf* متغيرة بدالة جيبيية في الزمن ولهذا السبب يسمى التيار الناتج عن المولد الكهربائي والتيار المتردد. وتكون أكبر قيمة للقوة الدافعة الكهربائية عندما تكون الزاوية θ تساوي 90° أو 270° درجة وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_{\max} = NAB \omega$$

تكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية مساوية للصفر عندما تكون الزاوية θ تساوي صفر و 180° درجة

المحرك الكهربائي

بناءً على نوع الكهرباء المستخدمة، هناك نوعان رئيسيان للمحركات

1- محركات تعمل بالتيار المتردد.

2- محركات تعمل بالتيار المستمر.

يعكس التيار المتردد اتجاه سرعته خمسين أو ستين مرة في الثانية. وهو التيار المستعمل في المنازل. وتستخدم محركات التيار المستمر أيضاً بشكل شائع في الأدوات المنزلية. ويسير التيار المستمر في اتجاه واحد فقط، ومصدره الرئيسي هو البطارية. وتستخدم محركات التيار المستمر استخداماً شائعاً لتشغيل المعدات الميكانيكية في المصانع.

كما أنه يستخدم باديء تشغيل في المحركات التي تعمل بالبنزين. وتعتمد المحركات الكهربائية على مغناط كهربائية لتنتج القوة اللازمة لإدارة الآلات أو المعدات الميكانيكية. وتسمى الآلات أو المعدات التي تدار بالمحرك الكهربائي الحمل.

يعمل المحرك الكهربائي من خلال تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية بنفس فكرة المولد الكهربائي ولكن هنا يمرر التيار الكهربائي في الملف الموضوع بين قطبي المغناطيس وتكون النتيجة هي دوران الملف. وهذا الدوران يستخدم في فكرة عمل العديد من الأجهزة مثل مروحة الهوائية ومروحة الخلاط وموتور رفع المواد الثقيلة وتحريك الأبواب وغيره من الأمثلة العديدة.

يتكون المحرك الكهربائي أساساً من مغناطيس ثابت وموصل متحرك. وتشكل خطوط القوى بين أقطاب المغناطيس مجالاً مغناطيسياً ثابتاً. وعندما يمر تيار كهربائي خلال الموصل يصبح الموصل كهرومغناطيسياً وينتج مجالاً مغناطيسياً آخر. ويقوي المجالان المغناطيسيان كل منهما الآخر ويدفعان ضد الموصل.

يعتمد تشغيل المحرك الكهربائي على ثلاثة مبادئ رئيسية: ١- يولد التيار الكهربائي مجالاً مغناطيسياً، ٢- يحدد اتجاه التيار في المغناطيس الكهربائي موقع الأقطاب المغناطيسية، ٣- تتجاذب الأقطاب المغناطيسية أو تتنافر مع بعضها.

فعندما يمر تيار كهربائي خلال سلك يولد مجالاً مغناطيسياً حول السلك. وإذا تم لف السلك على هيئة ملف حول قضيب معدني، فإن المجال المغناطيسي يتعاظم حول السلك ويصبح القضيب المعدني مغناطياً. وهذا الترتيب للقضيب وسلك الملف هو مغناطيس كهربائي بسيط، وتعمل نهاياته كقطبين شمالي وجنوبي.

أجزاء المحرك الكهربائي

يتكون المحرك الكهربائي أساساً من:

موصل كهربائي دوار

موضوع بين قطبين شمالي وجنوبي لمغناطيس ثابت. ويعرف الموصل باسم الحافظة (غلاف الأرماتور)، بينما يعرف المغناطيس الثابت باسم بنية المجال. وهناك أيضاً المبدل الذي يعد جزءاً ضرورياً في كثير من المحركات الكهربائية وخاصة محركات التيار المستمر. يتكون المجال المغناطيسي من خطوط قوى توجد بين قطبي المغناطيس الثابت. وتتكون بنية المجال في محرك التيار المستمر البسيط من مغناطيس دائم يسمى مغناطيس المجال. وفي بعض المحركات الأكبر حجماً والأكثر تعقيداً تتركب بنية المجال من أكثر من مغناطيس كهربائي تتغذى بالكهرباء عن طريق مصدر خارجي. وتسمى مثل هذه المغناطيس الكهربائية ملفات المجال.

الحافظة

تصبح الحافظة - التي عادة ما تكون أسطوانية الشكل - مغناطيساً كهربائياً عندما يمر التيار من خلالها. وهي متصلة بعمود إدارة، حتى تتمكن من إدارة الحمل. وتدور الحافظة في محركات التيار المستمر البسيطة الصغيرة بين أقطاب المجال المغناطيسي حتى يصبح قطبها الشمالي مقابلاً للقطب الجنوبي للمغناطيس. ويعكس عندها اتجاه التيار لتغير قطب الحافظة الشمالي ليحوله قطباً جنوبياً، فيتنافر القطبان الجنوبيان، مما يجعل الحافظة تقوم بنصف دورة. وعندما يصبح قطب الحافظة مقابلاً للقطبين المختلفين للمجال المغناطيسي مرة أخرى يتغير اتجاه التيار مرة أخرى.

وفي كل مرة ينعكس فيها اتجاه التيار، تدور الحافظة نصف دورة. وتتوقف الحافظة عن الدوران عندما لا ينعكس اتجاه التيار. وعندما تدور الحافظة فإنها لاتقطع خطوط القوى المغنطيسية التي تولدها بنية المجال. وينتج قطع المجال المغنطيسي جهداً في الاتجاه المعاكس للقوة المحركة. وهذا الجهد الكهربائي يسمى القوة الدافعة الكهربائية المعاكسة التي تقلل من سرعة دوران الحافظة، كما أنها تقلل من التيار الذي تحمله. فإذا كان المحرك يدير حملاً بسيطاً فإن الحافظة ستدور بسرعة عالية وتولد قوة دافعة كهربائية معاكسة أكبر. وعندما يزداد الحمل تدور الحافظة أبطأ حيث تقطع عدداً أقل من خطوط القوى المغنطيسية. وعلى ذلك، فإن المحرك الذي يحمل حملاً أكبر يعمل بكفاءة أكثر لأنه يستخدم طاقة أقل لبذل شغل.

المبدل

يستخدم المبدل بصفة أساسية في محركات التيار المستمر، حيث يعكس اتجاه التيار في الحافظة ويساعد على نقل التيار بين الحافظة ومصدر القدرة. ويتكون المبدل في محرك التيار المستمر من حلقة مقسمة إلى جزئين أو أكثر، ومثبتة في عمود الإدارة مقابل الحافظة. وتتصل نهايات ملفات الحافظة بالأجزاء المختلفة.

يوصل التيار الكهربائي القادم من مصدر القدرة الخارجي بالمبدل عن طريق قطعة صغيرة تسمى الفرشاة. وهناك أيضاً فرشاة أخرى موضوعة في الجانب الآخر للمبدل تعمل على حمل التيار، وإرجاعه إلى مصدر القدرة. وعندما تتصل إحدى الحلقات مع الفرشاة الأولى، تلتقط التيار الكهربائي من الفرشاة وترسله عبر الحافظة، وعندما تقع الأقطاب المغنطيسية التي تتكون على الحافظة بعد الأقطاب المتشابهة لمغنطيس المجال، تدور الحافظة نصف دورة مارة بإحدى الفجوات التي تفصل الحلقات. ثم تتصل الحلقة الثانية من المبدل مع الفرشاة الأولى وتصبح حاملة للتيار إلى الحافظة، وبهذا ينعكس اتجاه التيار كما ينعكس موضع الأقطاب في الحافظة. وعندما تتقابل الأقطاب المتشابهة لمغنطيس المجال والحافظة تستمر الحافظة في الدوران.

اسئلة:

س ٤: اشرح اساس عمل المحرك الكهربائي ثم اذكر الفرق بينه وبين المولد الكهربائي .

س ٥: اثبت ان القوة الدافعة المتولدة في موصل طوله l ويتحرك بسرعة v في مجال مغنطيسي هي

$$\varepsilon = Blv$$

الحث الذاتي Self Inductance

اعتبر دائرة كهربية مكونة من بطارية ومقاومة ومفتاح كهربي ، عند غلق فإن التيار المار في الدائرة سوف لن يصل إلى قيمته العظمى فور غلق المفتاح انما سوف يستغرق بعضا من الوقت نتيجة لقانون فارادي .

عند غلق المفتاح في الدائرة الكهربية يحدث ما يلي:

١. يزداد التيار المار في الدائرة مع الزمن.
٢. يزداد الفيض المغناطيسي خلال الدائرة نتيجة لزيادة التيار.
٣. الفيض المتزايد يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربية في الدائرة ليعاكس الزيادة في الفيض المغناطيسي Lenz's Law .

هذه القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الدائرة تعمل في عكس اتجاه التيار الأصلي وهذا نتج عن الزيادة في الفيض المغناطيسي نتيجة لزيادة التيار عند غلق المفتاح... هذا التأثير في الدائرة يعرف باسم التأثير الحثي الذاتي. Self Induction.

من قانون فارادي يمكننا من ايجاد صيغة رياضية للتعبير عن الحث الذاتي . حيث ان الفيض المغناطيسي يتناسب مع المجال المغناطيسي والاخير يتناسب مع التيار في الدائرة لذا فإن القوة الدافعة الكهربية للحث الذاتي تتناسب مع التغير في التيار الكهربي.

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

where L is a proportionality constant, called the inductance of the device.

الحث الذاتي L في المغناطيسية يناظر السعة الكهربية C. ويمكن التعبير عن الحث الذاتي L بالابعاد الهندسية للدائرة. فإذا افترضنا ملف عدد لفاته N فإن L تعطى بالعلاقة التالية:

$$L = \frac{N\Phi_m}{I}$$

وتعتمد العلامة (+ أو -) في المعادلة السابقة على اتجاه التيار والجهد.

كما يمكن التعبير عن الحث الذاتي بالمعادلة التالية:

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

وهذه المعادلة تعطي قيمة الحث الذاتي للدائرة بغض النظر عن ابعادها الهندسية وانما تعتمد على قياس الكميات الفيزيائية مثل القوة الدافعة الكهربية والتغير في التيار وتكون وحدة الحث الذاتي هي الهنري. Henry

$$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{V}\cdot\text{s}}{\text{A}}$$

اعتبر ملف عدد لفاته N وطوله اكبر بكثير من نصف قطر الملف ملف (حلزوني) ينشأ عنه مجالاً مغناطيسياً يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$$

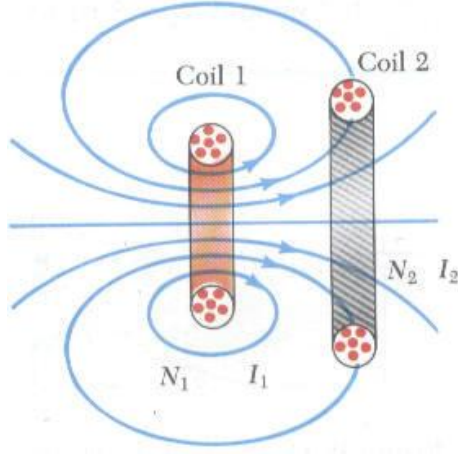
اما الفيض الكهربي فيعطى بالعلاقة التالية:

$$\Phi_m = BA = \mu_0 \frac{NA}{\ell} I$$

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell}$$

ومن هذا يتضح ان الحث الذاتي للملف يعتمد على خواصه الهندسية (الطول والمساحة وعدد اللفات) تحدث المحاثّة المتبادلة عندما يؤثر تغير للتيار في أحد الملفات منتجا جهدا في ملف آخر قريب. وتلك الحالة مهمة حيث يعتمد عليها عمل المحول الكهربائي ، كما تتسبب أحيانا في تأثير غير مرغوب فيه في بعض الدوائر الكهربائية.

الحث المتبادل Mutual Inductance



نتيجة للتغير في التيار الكهربائي في دائرة يؤدي إلى تغيير في الفيض المغناطيسي في دائرة كهربية مجاورة. وهذا بالتأكيد يولد قوة دافعة كهربية في تلك الدائرة ويسمي هذا التأثير بالتأثير الحثي المتبادل **Mutual Inductance** لأنه نتج من تأثير دائرة كهربية على أخرى.

في الشكل المقابل توضيح للتأثير الحثي المتبادل حيث ملفين متجاورين يمر في الملف الأول وعدد لفاته N_1 تيار كهربي قيمته I_1 ينشئ مجالاً مغناطيسياً يؤثر على الملف الثاني وعدد لفاته N_2 بفيض مغناطيسي Φ_{21} يؤدي إلى تيار حثي في الملف الثاني وقيمته I_2 . يعرف التأثير الحثي المتبادل M_{21} في الملف الثاني من خلال المعادلة التالية:

$$M_{21} \equiv \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1}$$

$$\Phi_{21} = \frac{M_{21}}{N_2} I_1$$

إذا كان التيار I_1 في الملف الأول متغير مع الزمن فإن من قانون فارادي تكون القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الملف الثاني نتيجة للملف الأول هي:

$$\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

وبنفس الفكرة إذا كان التيار I_2 في الملف الثاني متغير مع الزمن فإن من قانون فارادي تكون القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الملف الأول نتيجة للملف الثاني هي:

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

أي ان القوة الدافعة الكهربية المتولدة في ملف تتناسب طردياً من معدل التغير في التيار الكهربي في الملف الآخر . وتعتبر المحاثة المتبادلة M أيضاً مقياس للترابط بين اثنين من الموصلات .

حالة خاصة:

في حالة ما يكون معدل التغير في التيار $\frac{dI_1}{dt} = \frac{dI_2}{dt}$ فإن القوة الدافعة الكهربية

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$$

وهذا يعني أن

$$M_{21} = M_{12} = M$$

وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربية في الملفين تعطى بـ

$$\mathcal{E}_1 = -M \frac{dI_2}{dt}$$

$$\mathcal{E}_2 = -M \frac{dI_1}{dt}$$

وتكون وحدة الحث المتبادل هي الهنري Henry

وبتعيين المحاثة المتبادلة M بواسطة تلك المعادلة ، فيمكن استخدامها لمعرفة خصائص الدائرة:

$$V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt}$$

حيث:

V_1 الجهد عبر الملف المرغوب فحصه,
 L_1 محاثة الملف المرغوب فحصه
 dI_1/dt التفاضل بالنسبة للزمن للتيار المار في الملف المرغوب فحصه,
 dI_2/dt التفاضل بالنسبة للزمن للتيار المار في الملف المقترن بالملف الأول
 M المحاثة المتبادلة .

وعندما يكون الملف مقترنا بملف آخر عن طريق المحاثة المتبادلة كما هو الحال مثلا في المحول الكهربائي ، فنطبق العلاقة الآتية على الجهدين والتيارين وعدد اللفات في كل ملف:

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} V_p$$

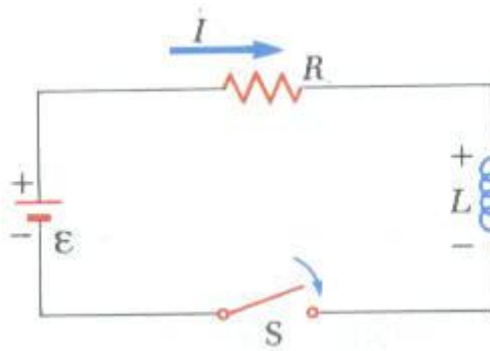
المحاضرة (١٤)

التيارات الدوامة eddy current

هي تيارات كهربائية تنشأ في المادة نتيجة تغير التدفق المغناطيسي فيها فإذا تغير التدفق المغناطيسي $d\Phi/dt$ في سلك او ملف تتولد قوة دافعة وهي بدورها تولد تيار مما يؤدي الى تسخين السلك، ان التيار الدوامي يكون ذا عامل سلبي فهو يقوم بإنتاج الحرارة كما يقوم بخفض الكفاءة لكن يمكن تقليل تأثيرها عن طريق استعمال الواح حديدية رقيقة مطوية بمادة عازلة وبذلك تقوم مقاومة المواد العازلة بزيادة مقاومة الحديد (مثلا) فينخفض التيار الدوامي ويقل فقد القدرة الذي يسببه. استثمرت ظاهرة التيارات الدوامة في تطبيقات عديدة منها (افران صهر المعادن ، مكابح السيارات ، كاشف المعادن)

الطاقة المخزنة في المجال المغناطيسي:

درسنا في الكهربائية الساكنة ان المجال الكهربائي في الفراغ هو عبارة عن طاقة كهربائية في صورة مجال. كذلك الحال بالنسبة للمجال المغناطيسي ولاثبات علاقة الطاقة المخزنة بالمجال المغناطيسي افترض الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (٧)



شكل (٧)

بتطبيق قاعدة كيرشوف الثانية على التغير في فرق الجهد على كل عنصر من عناصر الدائرة الكهربائية ينتج أن:

$$\mathcal{E} - IR - L \frac{dI}{dt} = 0$$

بإعادة ترتيب المعادلة والضرب في التيار I ينتج أن

$$I\mathcal{E} = I^2R + LI \frac{dI}{dt}$$

تدل المعادلة السابقة على أن الطاقة التي تبذلها البطارية $I\mathcal{E}$ تساوي مجموع الطاقة المبذولة على شكل طاقة حرارية في المقاومة I^2R والطاقة المخزنة في الملف $LI \frac{dI}{dt}$. وعليه يمكن التعبير عن التغير في الطاقة المخزنة في الملف بالصورة التالية:

$$\frac{dU_m}{dt} = LI \frac{dI}{dt}$$

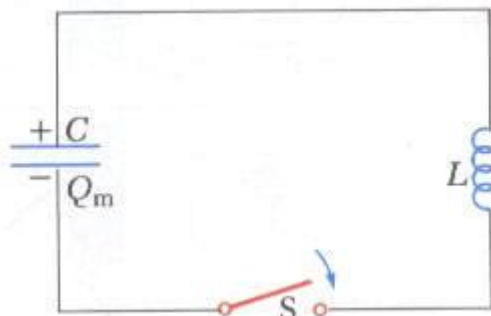
ولايجاد الطاقة الكلية المخزنة في الملف نجري عملية التكامل

$$U_m = \int_0^{U_m} dU_m = \int_0^I LI dI$$

$$U_m = \frac{1}{2}LI^2 \quad *$$

وهذه المعادلة تعطي الطاقة الكلية المخزنة في الملف.

Oscillations in an LC circuit



عند توصيل مكثف مشحون بملف حلزوني كما في الشكل فإن التيار يتذبذب بين المكثف والملف إلى مالانهاية إذا افترضنا ان مقاومة

الدائرة تساوي صفر. لندرس بالتفصيل ماذا يحدث عند اغلاق المفتاح S في الدائرة على شكل خطوات متسلسلة:

١- في البداية تكون الشحنة الكلية على المكثف اكبر ما يمكن وتساوي Q_m . وهذا يعني ان طاقة مخزنة في المكثف وتعطى بالمعادلة $U = \frac{Q^2}{2C}$. في حين أن الملف لا يخترن طاقة.

٢- عند اغلاق المفتاح S يبدأ المكثف في تفريغ شحنته وتنتقل الشحنة في صورة تيار كهربي إلى الملف الحلزوني وبهذا تقل الطاقة المخزنة في المكثف (في صورة مجال كهربي) وتزداد الطاقة المخزنة في الملف الحلزوني (في صورة مجال مغناطيسي).

٣- يستمر انتقال الطاقة من المكثف إلى الملف إلى أن يفقد المكثف شحنته وتصبح الطاقة بالكامل مخزنة في الملف الحلزوني.

٤- تتكرر العملية السابقة ولكن في الاتجاه المعاكس وتستمر حتي تنتقل الطاقة من الملف إلى المكثف وهكذا....

باستخدام مبدأ الحفظ على الطاقة يمكن دراسة هذه الظاهرة عند أي زمن t وايجاد علاقة بين شحنة المكثف والتيار في الملف. علما بأن الطاقة الابتدائية هي U وهذه الطاقة تبقى ثابتة (المقاومة مهملة) ولكن تتوزع على صورة طاقة حركة و طاقة وضع.

$$U = U_C + U_L = \frac{Q^2}{2C} + \frac{1}{2}LI^2 \quad *$$

وبإجراء عملة التفاضل بالنسبة للزمن مع الاخذ بعين الاعتبار ان الطاقة الكلية ثابتة لأننا اهلنا المقاومة نحصل على مايلي

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{Q^2}{2C} + \frac{1}{2}LI^2 \right) = \frac{Q}{C} \frac{dQ}{dt} + LI \frac{dI}{dt} = 0$$

بالتعويض عن التيار في المعادلة $I = dQ/dt$ وذلك لتبسيط المعادلة وجعلها في متغير واحد فقط

$$L \frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{Q}{C} = 0$$

$$\frac{d^2Q}{dt^2} = -\frac{1}{LC} Q$$

ω is the angular frequency

A is the amplitude of the motion (maximum displacement)

δ is the initial phase (the position at time $t=0$).

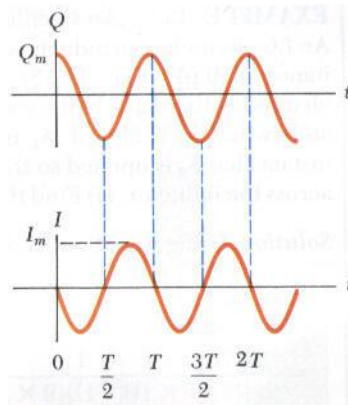
المعادلة ** لها حل يعطى بالمعادلة التالية:

$$Q = Q_m \cos(\omega t + \delta)$$

Q_m is the maximum charge on the capacitor and the angular frequency ω is given by

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

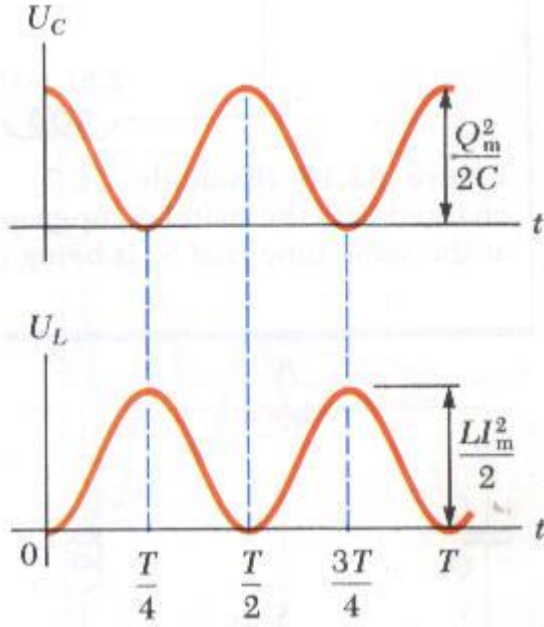
وهذا يشير إلى أن التردد الزاوي يعتمد على كلا من سعة المكثف C والحث الذاتي L للملف الحثوني.



يبين الشكل المقابل علاقة الشحنة Q مع الزمن t وعلاقة التيار I مع الزمن t. لاحظ أن الشحنة تتذبذب بين القيمة Q_m والقيمة في الاتجاه السالب Q_m والتيار يتذبذب بين القيمة I_m

والقيمة I_m في الاتجاه السالب، ولكن التيار يختلف في الطور مع الشحنة بزواوية قدرها 90° درجة. أي أن عندما تكون الشحنة قيمة عظمى يكون التيار صفراً وعندما تكون الشحنة صفراً يكون التيار قيمة عظمى

وبالرسم البياني لعلاقة كلاً من الطاقة المخزنة في المكثف والطاقة المخزنة في الملف مع



الزمن نستنتج أن عندما تكون الطاقة المخزنة في المكثف أكبر ما يمكن تكون قيمة الطاقة المخزنة في الملف تساوي صفر والعكس صحيح. ولكن عند أي زمن t فإن الطاقة الكلية تبقى ثابتة وتساوي مجموع الطاقتين. وحيث أنه عند القيمة العظمى للشحنة والقيمة العظمى للتيار تكون الطاقتين متساويتين وهذا يمكن التعبير عنه من خلال المعادلة التالية:

$$\frac{Q_m^2}{2C} = \frac{1}{2}LI_m^2$$

اسئلة عامة:

س ١: عرف ما يأتي

- ١- الحث الذاتي ٢- الحث المتبادل ٣- قانون لينز ٤- قانون فراادي ٥- التيارات الدوامة ٦- خسائر المحولة

س ٢: تيار مستمر قدره $2.5A$ يولد فيضا مغناطيسيا يساوي $140\mu wb$ في ملف مكون من $500turns$ اوجد محاثته الملف .

س ٣: ملف مقاومته 15Ω ومحاثته $0.6H$ يربط الى مصدر جهده $120v$ بأي معدل يزداد التيار في الملف ١- عند اللحظة التي يربط فيها الملف بمصدر الطاقة ٢- عند اللحظة التي يصل فيها التيار الى 80% من قيمته العظمى.

س ٤: تتكون دائرة من مصدر كهربائي جهده $50v$ ومقاومة 20Ω وملف مهمل المقاومة محاثته $25mH$ اوجد معدل ازدياد التيار لحظة اغلاق الدائرة الكهربائية وقيمة التيار عند اللحظة التي يكون فيها معدل ازدياده $400A/S$ والتيار النهائي المستقر .

س ٥: اثبت ان الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي المتكون في ملف معامل حثه L ويمر فيه تيار مقداره I هي $E=1/2LI^2$

س٦: ملف مكون من 250turns مساحته 10cm^2 يدور حول محور عمودي على مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.04T ويعمل 50 دورة في الثانية الواحدة احسب ١- التردد الزاوي للتيار المحتث ٢- القيمة القصوى للقوة الدافعة المحتثة في الملف ٣- القيمة الانية للقوة الدافعة المحتثة عند زاوية طور تساوي زاوية نصف قطرية واحدة

المحاضرة (١٥)

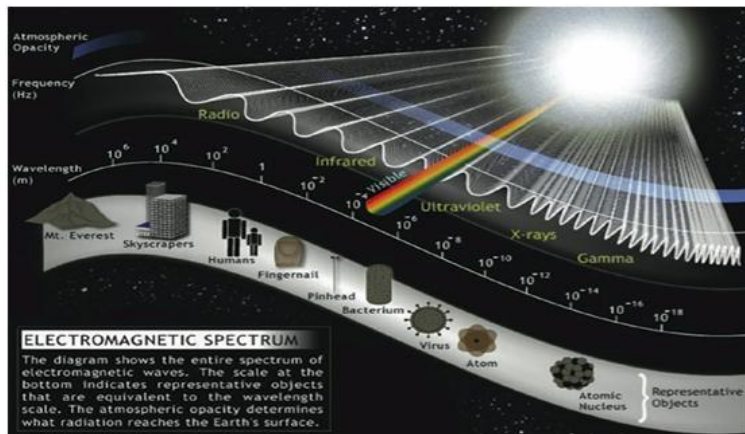
الموجات الكهرومغناطيسية

تقسم الموجات الى قسمين هما ((الموجات الميكانيكية: وهي الموجات التي تحتاج الى وسط مادي لانتقالها مثل الصوت وهذا الوسط قد يكون صلب او سائل او غاز وهذه الموجات تكون طوليه وناتجه عن اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها

٠ اما النوع الثاني الموجات الكهرومغناطيسيه وهي موجات لا تحتاج بالظهوره الى وسط مادي لانتقالها وتكون موجات مستعرضه وهي تتولد من تذبذب الالكترونات الحرة في الموصل حيث ان اصل نشوء هذه الموجات هو الشحنات الكهربائيه المتذبذبه وينتج عن هذا التذبذب مجالين كهربائي ومغناطيسي متغيرين مع الزمن ومتلازمين ومتعامدين مع بعضهما وعموديين على خط انتشارهما حيث تنتشر هذه الموجات في الفراغ بسرعة الضوء

الطيف الكهرومغناطيسي

هو مدى واسع من الترددات للموجات الكهرومغناطيسيه حيث قسم العلماء هذا الطيف الى ثمان مناطق تصاعديا حسب التردد وتنازليا حسب الطول الموجي بنفس سرعة الضوء في الفراغ وهذا الاختلاف بعضهما عن البعض تبعا لطريقة توليدها ومصدرها وتقنية كشفها واختراقها للاوساط المختلفه ويمتد مدى الاطوال الموجيه من الموجات الراديويه ذات الطول الموجي الاطول الى موجات كاما ذات الطول الموجي الاقصر



*ماهي الحقائق التي تمكن العالم ماكسويل من ربط المجالات الكهربائيه والمجالات المغناطيسيه

ج-الشحنة الكهربائية النقطية الساكنة في الفضاء تولد حولها مجالاً كهربائياً ٢-لايتوفر قطب مغناطيسي منفرد (لذا فإن خطوط المجال المغناطيسي تكون مغلقة) ٣-المجال الكهربائي المتغير مع الزمن يولد حولها مجالاً مغناطيسياً متغير مع الزمن وعمودياً عليه ومتفق معه في الطور ٤-المجال المغناطيسي المتغير مع الزمن يولد حولها مجالاً كهربائياً متغير مع الزمن وعمودياً عليه ومتفق معه في الطور

* ماهو استنتاج العالم ماكسويل ؟

ج// استنتج ان المجالين الكهربي والمغناطيسي المتغيرين مع الزمن والمتلازمين يمكن ان ينتشر ان بشكل موجة في الفضاء تسمى الموجة الكهرومغناطيسية

ووجد ان المجال المغناطيسي لاينشأ فقط عن وجود تيار التوصيل الاعتيادي وانما ينشأ من مجال كهربائي متغير مع الزمن وقد اطلق على التيار الناتج عن تغير المجال الكهربائي مع الزمن اسم تيار الازاحة

*مالفرق بين تيار الازاحة وتيار التوصيل ؟

ج// تيار الازاحة يرافق الموجة الكهرومغناطيسية المنتشرة في الفضاء وهو عبارة عن تيار بدون شحنات اما تيار التوصيل ناتج عن حركة شحنة في موصل وهو ينتقل خلال الموصل فقط

* هل ان المجال المغناطيسي ينشأ فقط عن وجود تيار التوصيل ؟

ج/ لئلا فقد ينشأ عن وجود تغير في المجال الكهربائي مع الزمن وهذا التغير ينتج عنه تيار يسمى تيار الازاحة والذي يتناسب طردياً معه

* هل كل الاسلاك الموصله التي تحمل تيارا تشع موجات كهرومغناطيسية؟ وضح ذلك

ج//كلا لأن التيار اذا كان ثابت فإنه سيولد مجالين كهربائي ومغناطيسي ثابتين وهذان المجالان لايشكلان موجة كهرومغناطيسية

* هل ان تغير المجال الكهربائي بين لوحين المتسعه يولد مجالاً مغناطيسياً ؟ وهل يولد تيار؟ وما اسمه ان وجد ؟

ج/ نعم يولد مجالاً مغناطيسياً ويولد تياراً يسمى تيار الازاحة غير مصحوب بانتقال شحنات كهربائية

*ماذا ينتج عن تذبذب الالكترونات الحرة في موصل ؟

ج/ موجات راديوية

* ماهي اهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية ؟

ج//١- تنتشر في الفراغ بخطوط مستقيمة وتنعكس وتتداخل وتستقطب وتحيد عن مسارها ٢- تتألف من مجالين كهربائي ومغناطيسي متلازمين ومتغيرين مع الزمن وبمستويين متعامدين مع بعضهما وعموديين على خط انتشار الموجة ويتذبذبان بالطور نفسه

- ٣- هي موجات مستعرضه لأن المجالين الكهربائي والمغناطيسي يتذبذبان عموديا على خط انتشار الموجه الكهرومغناطيسيه .
- ٤- تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء وعند انتقالها في وسط مادي تقل سرعتها تبعاً للخصائص الفيزيائية لذلك الوسط
- ٥- تتوزع طاقة الموجه الكهرومغناطيسيه بالتساوي بين المجالين الكهربائي والمغناطيسي عند انتشارها في الفراغ

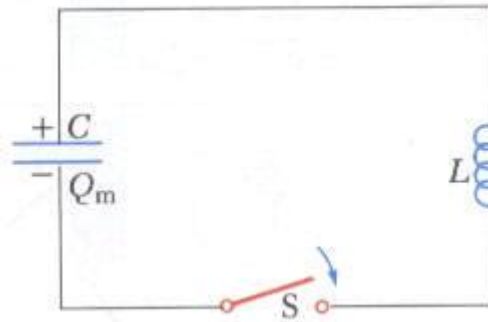
*كيف يمكن سماع صوت المذياع الواصل الينا عبر الفضاء ومن مسافات بعيدة ؟

ج//يتم ذلك بواسطة نقل المعلومات من الموجات السمعيه (المحموله) الى موجات راديويه (الحامله) وبعدها تبث هذه الموجات عن طريق محطة الارسال واستقبالها عن طريق جهاز الاستقبال (المذياع)

*ماههما الجهازان الاساسيان اللذان تعتمد عليهما عملية الارسال والتسلم ؟

ج//١-الدائره المهتزهد(دائرة الرنين) وهي تتألف من ملف (L) مهمل المقاومه يتصل مع متسعه متغيرة السعه (C) ويمكن لهذه الدائره أن تولد تردداً رنينياً من خلال عملية التوليف على وفق

$$f=1/2\pi\sqrt{lc}-----2$$



-الهوائي ويتكون من سلكين معدنيين منفصلين يربطان الى مصدر فولطيه متناوبه يشحن السلطان بشحنتين متساويتين بالمقدار ومختلفتين بالنوع وتتبدد الطاقه المنبعثه من هوائي الارسال في الفضاء بشكل موجات كهرومغناطيسية

*ماذا يحصل اذا كان طول الهوائي يساوي نصف طول الموجه ؟

ج//يتحقق اكبر طاقة للاشارة المرسله والمستقبله

*ماهي انواع الهوائيات التي تبث وتستلم الموجات الكهرومغناطيسية ؟

ج/١-الهوائي النصف الموجي ويكون طوله مناسب ويعادل انصاف صحيحه من طول الموجه مكون عند النهايتين عقدتين للتيار وبما ان زاوية فرق الطور بين الفولطيه والتيار (٩٠)

درجه لذا تتولد عند النهايتين بطنيين للفولطيه ٢- الهوائي الربع الموجي ويتولد اذا كان احد طرفي الهوائي مؤرضاً حيث تتكون صورته لقطب بالطول نفسه وبذلك يتكون قطب اخر في الارض بطول ربع الموجه لتكتمل خواص هوائي نصف الموجه ويسمى مثل هذا الهوائي بهوائي ربع الموجه

*ماهي الاجزاء الاساسيه لجهاز الارسال للموجات الكهرومغناطيسيه ؟

ج//a- دائرة مهتزة وتحتوي ملفاً ومتسعه متغيرة السعه b- هوائي ويحوي ملفاً يوضع مقابل لملف الدائره المهتزه ومتسعه متغيرة السعه متصللاً بسلك معدني حر أو موصلاً بالأرض

* اشرح عمل دائرة الارسال للموجات الكهرومغناطيسيه؟

ج//١- عندما تتغذى الدائرة المهتزة بالطاقة تبدأ في العمل وتولد موجات الاشارة الكهربائيه ويمكن التحكم في ترددها عن طريق تغيير سعة المتسعه في الدائره المهتزة او معامل الحث الذاتي للملف

٢- تولد موجات الاشاره الكهربائيه التي تبثها الدائره المهتزة في توليد تيار محتث متناوب في ملف الهوائي اذ يكون تردد هذا التيار مساوياً لتردد موجات الاشاره الكهربائيه التي تولدها الدائره المهتزة

٣- ينتج التيار المحتث المتولد في ملف الهوائي قوه دافعه كهربائيه في سلك الهوائي ترددها يساوي تردد التيار المحتث في الملف تولد الموجات الكهرومغناطيسيه التي يبثها سلك الهوائي الى الفضاء

*وضح طريقة عمل دائرة التسلم للموجات الكهرومغناطيسيه ؟

ج//١- يستقبل الهوائي الموجات الكهرومغناطيسيه من الفضاء اذاتولد فيه تيار أمتناوباً تردده يساوي تردد تلك الموجات ٢- يولد التيار المحتث المتناوب المار في ملف الهوائي اشارة كهربائيه ترددها يساوي تردد التيار المحتث والتي عمل الهوائي على تسلمها ٣- تغير سعة المتسعه في الدائره المهتزه الى ان تصل للحاله الرنين وعندها يتولد في الملف تيار محتث متنووب يساوي تردد التيار المار في الهوائي

*وضح كيف يمكن الكشف عن الموجه الكهرومغناطيسيه ؟

ج/ يمكن الكشف عن الموجه الكهرومغناطيسيه اما بواسطة مجالها الكهربائي أو مجالها المغناطيسي

*ما المقصود بالتضمين وماهي انواعه ؟؟

ج// التضمين هو تحميل اشارة المعلومات (صوت أو صورته أو مكالمه هاتفيه) ذات التردد الواطيه (تسمى موجه محموله) على موجه عاليه التردد (تسمى موجه حامله) انواعه هي ١- التضمين التماثلي ويشمل (التضمين السعوي AM والتضمين الترددي FM والتضمين الطوري 2) PM

-التضمين الرقمي وهو نوع اخر من التضمين من الممكن اجراؤه على الموجه المضمنه وذلك لغرض التقليل من التأثيرات الخارجيه عليها زيادة على امكانية تشفيرها .

*ما المقصود بالتضمين السعوي ، التضمين الترددي ، التضمين الطوري .

ج/ ١- التضمين السعوي هو تغير في سعة الموجه الحامله كدالة خطيه مع سعة الموجه المحموله على وفق تردد الاشاره المحموله

-التضمين الترددي هو تغير في تردد الموجه الحامله كداله خطية مع تردد الموجه المحموله على وفق سعة الموجه المحموله

٣- التضمين الطوري هو تغير في طور الموجه الحامله كدالة خطيه مع سعة الموجه المحموله على وفق الاشاره المحموله

* ما المقصود بالموجه الحامله و الموجه المحموله والموجه المضمنه ؟

ج/١- الموجه الحامله هي موجه راديوية تمتاز بتردداتها العالي تولدها المذبذبات وتمتاز بقدرتها على الانتشار لمسافات بعيدة دون ان تتلاشيء وتقوم بنقل موجة المعلومات صوت او صورة او مكالمة ويتم ذلك بعملية تسمى التضمين ٢- الموجه المحموله وهي عبارة عن موجة معلومات صوتية او صوريه او مكالمة هاتفية واطئة التردد يراد نقلها الى مسافات بعيدة الا ان طاقتها ضعيفة لذلك يجب تحميلها على موجة حاملة راديوية عالية التردد.٣- الموجه المضمنة هي موجة معلومات (صوت او صورة او مكالمة) والتي تم تحميلها على موجة راديوية عالية التردد لغرض ارسالها الى الفضاء الخارجي بشكل موجه كهرومغناطيسية

* اذكر اهم طرق انتشار الموجات الراديوية ؟

١-الموجات الارضية : وتشمل الموجات التي ترددها بين (٢ 530KHZ -MHZ) وتنتقل قريبة من سطح الارض وبسبب انتشارها بخطوط مستقيمة تكون غير قادرة على تأمين الاتصالات لمسافات بعيدة بسبب تحذب الارض حيث ينحني مسار انتشارها مع انحناء تحذب الارض ولقد استفيد من هذه الظاهرة لبناء أنظمة اتصالات محدودة المسافة وذلك لمحدودية قدرة بث ارسال هذه الموجات

٢- الموجات السماوية (SKY Waves): وتشمل هذه الموجات جميع الترددات التي تقع بين (٢- ٣٠ MHZ) ويعتمد هذا النوع من الاتصالات على وجود طبقة الاينوسفير وهي طبقات عالية التأين اذ تعكس الموجات السماوية الى الارض وتكون هذه الطبقات عالية التأين عند منتصف النهار وقليلة التأين في اثناء الليل اذ تختفي الطبقة القريبة من الارض في اثناء الليل والتي تسمى طبقة (D-layer) وتبقى طبقة (F-layer) وتعمل هذه الطبقات على عكس بعض انواع الموجات الراديوية الموجهه اليها من محطات البث الارضية الى الارض ولهذا السبب يكون استلام الموجات اثناء النهار اقل مما هو عليه في اثناء الليل نتيجة انعكاس الموجات الراديوية من المنطقة السفلى (D-layer) وفي اثناء الليل يكون الاستلام واضح لانعكاس الموجات من الطبقة العليا F-layer

3 --الموجات الفضائية (Space waves): وتشمل هذه الموجات جميع الترددات التي تزيد عن (٣٠ MHZ) أي نطاق الترددات العاليه جداً (VHF) وهي موجات دقيقة تنتشر في

خطوط مستقيمه ولا تنعكس عن طبقة الاينوسفير بل تنفذ من خلالها ويمكن استثمار هذه الموجات في عملية الاتصال بين القارات وذلك ب استعمال أقمار صناعية في مدار متزامن مع دوران الارض حول محورها (يطلق عليها التوابع) لتعمل كمعدات (محطات لتقوية الاشارة واعداد ارساله)

*ماهو الغرض من الاقمار الصناعيه :

ج// تعمل على استقبال الاشارة الضعيفة لتقوم بتقويتها ثم تعيد ارساله الى الارض مرة اخرى لتسلمها محطات ارضيه اخرى على بعد الاف الكيلومترات

* اذكر بعض التطبيقات للموجات الكهرومغناطيسية؟؟

ج// ١- الرادار ٢- التحسس النائي (الاستشعار عن بعد) ٣- الهاتف الجوال (النقل)

*ماذا تعني كلمة الرادار ؟

ج)الكشف وتحديد البعد بوساطة الموجات الراديويه وهو نظام الكتروني

* ماهو الغرض من استعمال الرادار؟؟

ج// للكشف عن اهداف متحركه أو ثابتة وتحديد مواقعها

*علام يدل الزمن الذي تستغرقه الموجات في الرادار ذهابها وايابها بعد انعكاسها ؟

ج/ على مدى (range) الهدف وكم يبعد فضلاً عن الاتجاه الذي تعود منه الموجات المنعكسه يدل على موقع الهدف.

*كيف يعمل الرادار ؟

ج//يقوم جهاز الرادار بوساطة ارسال موجات راديويه باتجاه الهدف واستقبال الموجات التي تنعكس عنه.

*ماهي المكونات الرئيسيه للرادار ؟

ج//١-المذبذب الغرض منه :جهاز يولد اشاره كهربائيه بتردد ثابت وذات قدرة واطئة

٢-المضمن الغرض منه :مفتاح الكتروني يوصل المرسل مع المذبذب بفترات زمنية قصيره

٣-المرسل الغرض منه:يعمل على تقليل زمن النبضه الواصله اليه من المضمن فيرسلها بنبضة ذات قدرة عاليه الى الهوائي

٤-مفتاح الارسال والاستقبال (المفتاح الالكتروني) الغرض منه :يعمل على فتح وغلق دائرة الارسال والاستقبال

٥-الهوائي الغرض منه يقوم بأرسال الموجات الرادارية بشكل حزم ضيقة موجهة الى الهدف واستلامها بعد انعكاسها عن الهدف .

٦- المؤقت الغرض منه: يتحكم زمنياً بعمل الاجزاء الرئيسي للرادار

٧-المستقبل الغرض منه :يتسلم الموجات المنعكسة المتجمعة بوساطة الهوائي ويقوم بتكبيرها وعرضها على معالج الاشارة

٨- معالج الاشارة الغرض منه يعمل على انتقاء الاشارات المنعكسة عن الاهداف المتحركة الصغيرة ويحجب الاشارات المنعكسة من الاهداف الكبيرة والثابتة

٩- الشاشة تعمل على اظهار الموجات المنعكسة عن الهدف على هيئة نقاط مضيئة

*ما المقصود بالتحسس النائي :هو احد مجالات العلوم التي تمدنا بالمعلومات عن سطح الارض من غير احتكاك أو اتصال مباشر بسطحها كما الحصول على صورة من طائره او من قمر صناعي

*كيف تعمل اجهزة التحسس عن بعد ؟

ج/ بأستثمار الموجات الكهرومغناطيسية الضوئية الى نهاية الترددات الراديوية المنعكسة او المنبعثة من الاجسام الارضية او من الجو او من مياه البحر والتي يمكن لأجهزة الاستشعار عن بعد الموجودة في الاقمار الصناعية او الطائرات أو البالونات ان تتحسسها وتقوم بعملية تصويرها وتحليل بياناتها لتكون جاهزة للاستعمال في فروع المعرفة مثل الجيولوجيا والهندسة المدنية والارصاد الجوية والزراعة وفي التطبيقات العسكرية وغيرها

*ماهي نوع الموجات المستخدمة في التحسس النائي ؟

ج/الموجات الكهرومغناطيسية الضوئية الى نهاية الترددات الراديوية

*ماهي مجالات استخدام التحسس النائي ؟

ج//١- اكتشاف الخامات المعدنية و البترولية ٢- مراقبة حركة الانهار وجفاف الاراضي والبحيرات والتعامل مع السيول والفيضانات المتوقعة بمقارنة صور مأخوذه على فترات زمنية مختلفة ٣-دراسة المشاريع الانشائية والتخطيط العمراني للمدن والقرى ٤-دراسة النباتات الطبيعية ودراسة التوزيع النوعي للاراضي والتربة ٥-تصوير النجوم والكواكب وفي التطبيقات العسكرية