منصة إحتراف التعليمية

اسم المادة: الفيزياء
أستاذ محمد العامري
الفصل الثاني - المحاضرة الثانية
الحث الكهرومغناطيسي
احيائي

# منصة احتراف التعليمية

**© جميع الحقوق محفوظة**

لا يسمح بإعادة اصدار هذه الملزمة، او أي جزء منها، او تخزينها في نطاق استعادة المعلومات، او نقلها بأي شكل من الاشكال من دون إذن خطي مسبق من مؤسسة احتراف لإعداد القادة الشباب.

**© All copyrights reserved**

Reproduction of this Document, or any part thereof, or storage in the scope of the retrieval of the information, or copying in any form without prior written permission of professionalization foundation for Young leaders preparation, is not permitted.

ففي عام 1831 توصل العالم فراداي في انكلترا او العالم هنري في امريكا من ايجاد هذه العلاقة حيث تمكنوا من توليد تيار محثث في حلقة ( ملف ) موصلة مغلقة وذلك بواسطة مجال مغناطيسي متغير يقطع الحلقة او الملف المغلق .

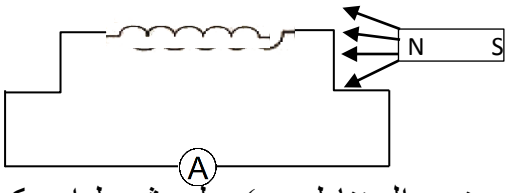
ولو اخذنا هذه الحقيقة بعين الاعتبار نستخدم التجربة الاتية :-

*لو اخذنا ملف وربطنا به اميتر ثم

وضعنا بالقرب من الملف مغناطيس ،

فعندما يكون المغناطيس ساكناً يكون

مؤشر الاميتر واقفاً عند الصفر .




ولكن عندما نحرك المغناطيس نحو الملف ابو بالعكس ( الملف نحو المغناطيس ) على شرط ان يكون الوجه الشمالي للمغناطيس بوجه الملف فإننا نجد ان مؤشر الاميتر يتحرك باتجاه عقارب الساعة وهذا يدل على انسياب تيار بسبب تزايد الفيض المغناطيسي خلال وحدة الزمن اما اذا سحب المغناطيس نحو الخلف ( او الملف نحو الخلف ) نجد ان المؤشر يتحرك عكس عقارب الساعة وهذا بسبب تناقص الفيض المغناطيسي .

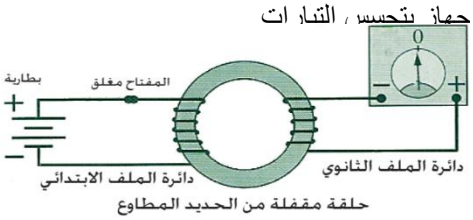
يسمى التيار المنساب في الدائرة في الحالتين ( بالتيار المحثث ) ويرمز له بالرمز (Iind) فهو تولد نتيجة لحصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف لوحدة الزمن .

**س/** على ماذا يعتمد ازدياد مقدار التيار المحثث في تجربه فراداي؟

الجواب/ وجد عملياً ان مقدار التيار المحثث يزداد بازدياد :

1- سرعة الحركة النسبية بين القطب المغناطيسي والملف
2- عدد لفات الملف
3- مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف
4- النفوذية المغناطيسية لمادة جوف الملف { ادخال قلب من الحديد المطاوع في جوف الملف بدلاً من الهواء يتسبب في ازدياد كثافة الفيض المغناطيسي }

## اكتشاف فراداي :




يمكن استخدام تجارب عديدة في المختبر لتوضيح ما استنتجه العالم فراداي بتجربته الشهيرة في الحث الكهرومغناطيسي ومنها نستعمل ملفين يتألفان من سلكين ملفوفين حول حلقة مقفلة من الحديد المطاوع اذا ربط احد الملفين على التوالي مع بطارية ومفتاح ( لعمل مغناطيس دائم ) وتسمى هذه الدائرة بدائرة الملف الابتدائي في حين نربط الملف الاخر بين طرفي جهاز يتحسس بالتيارات الصغيرة وتسمى هذه الدائرة بدائرة الملف الثانوي .

لاحظ العالم فراداي انحراف مؤشر القياس المربوط في دائرة الملف الثانوي على احد طرفي تدريجه الصفر ورجوعه الى الصفر لحظة اغلاق المفتاح في دائرة الملف الابتدائي وانحراف المؤشر ايضاً لحظة فتح المفتاح ورجوعه الى الصفر لكن بالعكس .. هذا يدل على انسياب تيار كهربائي في دائرة الملف الثانوي وهذا التيار سمي { التيار المحثث } على الرغم من عدم توافر بطارية او اي مصدر

للفولطية في دائرة الملف الثانوي والذي لفت انتباه العالم فراداي هو ان هذا التأثير { انسياب التيار في دائرة الملف الثانوي } قد حصل فقط خلال مرحلتي نمو التيار وتلاشيه في دائرة الملف الابتدائي { اي لحظة غلق وفتح المفتاح } مما جعل فراداي ينتبه الى ضرورة توافر العامل الاساسي لتوليد التيار المحتث في دائرة مغلقة وهو :-

{ حصول تغيير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف لوحدة الزمن }

وبناءاً على ذلك استنتج فراداي ما يأتي :-

**{ يتولد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة ( مثل ملف سلكي او حلقة موصلة ) فقط عندما يحصل تغيير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الدائرة لوحدة الزمن $\left(\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}\right)$ }**

س/ ما هو لسبب فشل المحاولات العملية التي سبقت فراداي في توليد تيار كهربائي بواسطة مجال مغناطيسي ؟

**الجواب/** وبعد تلك المشاهدات الناجحة والمثيرة للدهشة اعطى فراداي اخيراً تفسيراً فيزيائياً لسبب فشل المحاولات العملية التي سبقت اكتشافه في توليد تيار كهربائي بواسطة مجال مغناطيسي . اذ كانت جميع تلك المحاولات تعتمد على المجالات المغناطيسية الثابتة فقط .

س/ ما هو العامل الاساسي لتوليد التيار المحتث ؟

**الجواب/** { حصول تغيير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف لوحدة الزمن }

س/ متى يكون الفيض في حالة تزايد ومتى يكون في حالة تناقص؟

**الجواب/** يكون الفيض في حالة تزايد عند غلق المفتاح وفي حالة تناقص عند فتح المفتاح.

**نشاط** يوضح ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

**ادوات النشاط** ملفان سلكيان مجوفان مختلفان في اقطارهما ( يمكن ادخال احدهما بالآخر) كلفانوميتر الصفر في وسطه، ساق مغناطيسية، اسلاك توصيل، بطارية، مفتاح كهربائي.

**العمل**

**اولاً :-** نربط احد الملفين بواسطة اسلاك توصيل مع طرفي الكلفانوميتر ثم نجعل الساق المغناطيسية وقطبها الشمالي مواجها للملف وفي حالة سكون نلاحظ ان مؤشر الكلفانوميتر يبقى ثابت عند الصفر اي انه لا ينساب تيار في الملف ندفع الساق نحو وجه الملف ثم نبعدها عنه نجد ان مؤشر الكلفانوميتر ينحرف باتجاه ثم يعود باتجاه معاكس مشيراً الى انسياب تيار محتث في كلا الحالتين في دائرة الملف .

**ثانياً :-** نربط طرفي الملف الاخر ( ويسمى الملف الابتدائي ) بين قطبي بطارية بوساطة اسلاك توصيل للحصول على مغناطيس كهربائي .

ثم نحرك الملف المتصل بالبطارية امام وجه الملف الثانوي بتقريبه مرة في وجه الملف وابعاده مرة اخرى وبموازاة محوره نجد ان مؤشر الكلفانوميتر ينحرف على احد جانبي الصفر مرة وباتجاه معاكس مرة اخرى وبالتعاقب مشيراً الى انسياب تيار محتث في دائرة الملف الثانوي ثم عودته الى الصفر عند عدم توافر الحركة النسبية بين الملفين .

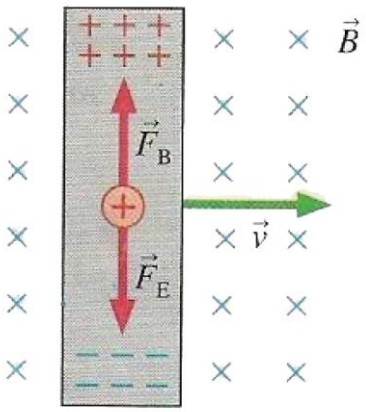
**ثالثاً :-** نربط مفتاح كهربائي في دائرة الملف الابتدائي ونجعله مفتوحاً ثم ندخل الملف الابتدائي في جوف الملف الثانوي ونحافظ على ثبوت الملفين نسبه للأخر ثم نغلق ونفتح المفتاح في دائرة الملف الابتدائي اي نلاحظ ان مؤشر الكلفانوميتر يتحرك على جانبي الصفر وباتجاهين متعاكسين فقط في لحظتي فتح وغلق المفتاح في دائرة الملف الابتدائي وعلى التعاقب مشيراً الى انسياب تيار محثث في دائرة الملف الثانوي خلال تلك اللحظتين .

- نستنتج من النشاط ما يأتي :

*تستحث قوة دافعة كهربائية (Eind) وينساب تيار محثث (Iind) في دائرة كهربائية مقفلة (حلقة موصلة او ملف ) فقط عند حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الدائرة لوحدة الزمن ( على الرغم من عدم توافر بطارية في تلك الدائرة )

*تكون قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (Eind) واتجاه التيار المحتث (Iind) في الدائرة الكهربائية باتجاه معين عند تزايد الفيض المغناطيسي الذي يخترقها ويكونان باتجاه معاكس عند تناقص هذا الفيض .

## القوة الدافعة الكهربائية الحركية :- $\{\varepsilon_{motional}\}$




عندما يتحرك ساق موصل داخل مجال مغناطيسي منتظم تتولد قوة دافعة كهربائية تسمى القوة الدافعة الكهربائية الحركية $\{\varepsilon_{motional}\}$ وهذه تعد حالة خاصة من حالات الحث الكهرومغناطيسي نتيجة لحركة الساق الموصلة داخل المجال المغناطيسي تتاثر الشحنات الموجبة للساق بقوة مغناطيسية :-

$$\{\{F_{B1} = qvB\sin\theta\}\}$$

وعندما تكون حركة الساق عمودية على الفيض فان تلك القوة تعطى بالعلاقة الاتية :

$\{F_{B1} = qvB\}$ وتوثر هذه القوة باتجاه موازي لمحور الساق فتعمل هذه القوة على فصل الشحنات الموجبة عن الشحنات السالبة اذ تتجمع الشحنات الموجبة في احد طرفي الساق والشحنات السالبة في الطرف الاخر . لذلك يتولد فرق جهد كهربائي على طرفي الساق ويسمى القوة الدافعة الكهربائية الحركية ، وينشأ نتيجة لذلك مجال كهربائي داخل الساق يتجه نحو الاسفل وهذا المجال سيؤثر على الشحنات بقوة : $\{F_E = qE\}$ وعند تساوي مقداري القوتين ( القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية ) يحصل عند ذلك الاتزان اي ان

$$F_B = F_E \Longrightarrow qvB = qE \Longrightarrow \boxed{vB = E}$$

وبما ان انحدار الجهد الكهربائي يساوي مقدار المجال الكهربائي أي

$\{\Delta v/\ell = E\}$ حيث ان $\ell$ تمثل طول الساق

$$\therefore \Delta v = vB\ell$$

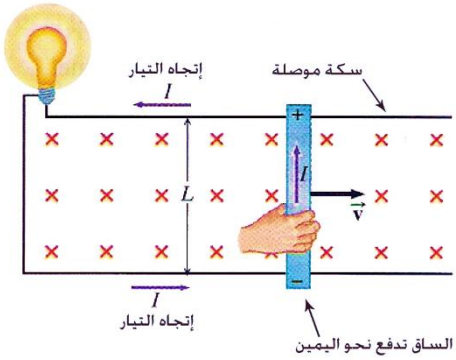
تصبح المعادلة الاتية :-

$$\varepsilon_{motional} = vB\ell$$

**س/ على ماذا تعتمد القوة الدافعة الكهربائية الحركية؟**

الجواب/ تعتمد على: 1- سرعة حركة الساق 2- طول الساق 3- كثافة الفيض المغناطيسي

## التيار المحتث :




لكي نتأكد عملياً من تولد تيار محثث في ساق يتحرك داخل مجال مغناطيسي نضع هذا الساق بدائرة كهربائية مقفلة ، وتتم هذه العملية بجعل الساق تنزلق بسرعة $\vec{v}$ نحو اليمين على طول سكة موصلة بشكل { $U$ } مربوط معها مصباح على التوالي وثبت السكة على منضدة افقية وبهذا الترتيب نجد ان الساق والسكة والمصباح يشكلون دائرة كهربائية مقفلة . فاذا سلط مجال مغناطيسي منتظم وكثافة فيضة $B$ بشكل عمودي على تلك الدائرة ، ستتأثر الشحنات الموجبة للساق بقوة مغناطيسية تدفعنا نحو احد طرفي الساق والشحنات السالبة نحو الطرف الاخر وبما ان الدائرة مقفلة فان الشحنات تستمر بالحركة ولا تتجمع عند طرفي الساق لذلك ينساب تيار بالدائرة يسمى { التيار المحتث } ويدل على انسياب التيار في الدائرة هو توهج المصباح المربوط على التوالي مع السكة .

ولو طبقنا قاعدة الكف اليمنى على الشحنة الموجبة يكون اتجاه التيار المحتث معاكساً لاتجاه عقارب الساعة فاذا كانت المقاومة الكلية في الدائرة ( $R$ ) فان التيار المحتث في هذه الدائرة يعطى بالعلاقة الاتية :-

$$I = \frac{\varepsilon_{motional}}{R} \Longrightarrow I = \frac{vB\ell}{R}$$

س/ ما هو سبب ظهور قوة معرقله في تجربة الساق والسكة؟

**الجواب/** نتيجة لانسياب التيار المحتث في الساق باتجاه عمودي على الفيض المغناطيسي تظهر قوة مغناطيسية ( $FB_2$ ) توثر في الساق وتعطى بالعلاقة الاتية $\{FB_2 = I\ell B\}$

وهذه القوة تكون معاكسة لاتجاه السرعة لذلك تتباطأ حركة الساق

ولكي تجعل هذه الساق تتحرك بسرعة ثابتة يتطلب تسليط قوة خارجية $(F_{pull})$ معاكسة للقوة ( $FB_2$ ) تسحب الساق نحو اليمين وهذه القوة تعطى بالعلاقة الاتية :-

$$F_{pull} = \frac{vB^2\ell^2}{R}$$

## الحث الكهرومغناطيسي ومبدأ حفظ الطاقة

ان عملية سحب الساق الموصلة بإزاحة معينة داخل مجال مغناطيسي تعني انه قد انجز شغل في تحريك الساق الذي بدوره يتحول الى طاقة حرارية تتبدد بشكل حرارة في مقاومة الدائرة

**القدرة تعني :-** المعدل الزمني للشغل المنجز وتعطى بالعلاقة الاتية :-

$$P = F_{pull}.v = \frac{v^2 B^2 \ell^2}{R}$$

وهنا نجد ان الدائرة الكهربائية تتسبب في تبدد القدرة بشكل قدرة حرارية تظهر في المقاومة الكلية للدائرة R وان القدرة المتبددة { Paissipated } في المقاومة التي ينساب فيها تيار محثث تعطى بالعلاقة الاتية :-

$$Pdiss = I^2.R = \frac{V^2 B^2 \ell^2}{R}$$

**ملاحظة :** س/ لماذا تكون القدرة المتبددة مساوية للقدرة المكتسبة؟ وما تعريفهما؟

نلاحظ ان العلاقتين المذكورتين انفاً متساويتان وهذا يعني ان المعدل الزمني للشغل المنجز في تحريك الساق الموصلة خلال المجال المغناطيسي يساوي بالضبط القدرة المتبددة في المقاومة الكلية لهذه الدائرة بشكل حرارة وهذا يعد تطبيقاً لقانون حفظ الطاقة.

**القدرة المكتسبة:** المعدل الزمني للشغل المنجز في تحريك الساق الموصلة خلال المجال المغناطيسي.

**القدرة المتبددة:** هي القدرة المتبددة بشكل قدرة حرارية تظهر في المقاومة الكلية للدائرة.

**مثال :-** ساق موصلة طولها { 1.6m } انزلقت على سكة موصلة بانطلاق (5m/s) باتجاه عمودي على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضة ( 0.8 T ) وكانت مقاومة المصباح المربوط مع السكة على التوالي ( 128Ω ) اهمل المقاومة الكهربائية للساق والسكة واحسب مقدار

1- القوة الدافعة الكهربائية الحركية المحتثة
2- التيار المحتث في الدائرة
3- القدرة الكهربائية المجهزة للمصباح

**الحل/**

1. $\varepsilon_{motional} = vB\ell$
   $= 5 * 0.8 * 1.6 = 6.4v$
2. $I_{ind} = \frac{\varepsilon_{motional}}{R} = \frac{6.4}{128} = 0.05\text{A}$
3. $P_{diss} = I^2.R = (0.05A)^2 * 128\Omega = 0.32W$

## الفيض المغناطيسي { Magnetic Flux }

سبق وان عرفنا ان العامل الاساسي لتوليد قوة دافعة كهربائية محتثة $\{\varepsilon_{ind}\}$ هو حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة موصلة او ملف سلكي ويمكن تحقيق ذلك بطرائق عدة :-

**اولاً :-** تغير قياس الزاوية $\theta$ بين متجه المساحة A ومتجه كثافة الفيض B وابسط مثال على ذلك هو دوران ملف نواة المولد داخل مجال مغناطيسي منتظم .

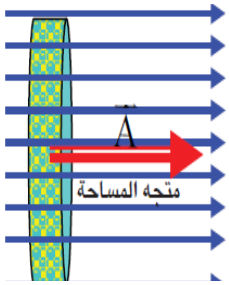
لنفرض ان مجال مغناطيسي كثافة فيضة B منتظمة يخترق حلقة موصلة وان قيمة المساحة $\vec{A}$ يصنع زاوية حادة قياسها $\theta$ مع متجه كثافة الفيض $\vec{B}$ في هذه الحالة فان الفيض المغناطيسي يعطى بالعلاقة الاتية :-

$$\Phi_B = \vec{A}.\vec{B} \Longrightarrow \Phi_B = A.B.cos\theta$$

*يكون الفيض المغناطيسي اعظم ما يمكن عندما يكون متجه المساحة $\vec{A}$ موازي لمتجه كثافة الفيض $\vec{B}$

أي ان $(\theta = 0)$ عندئذ يكون:

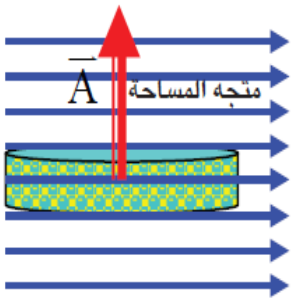
$\Phi_B$ أعظم ما يكون




$$\Phi_B = AB\cos\theta = AB\cos 0$$

وان $\cos 0 = 1 \Longrightarrow \Phi_B = A.B$

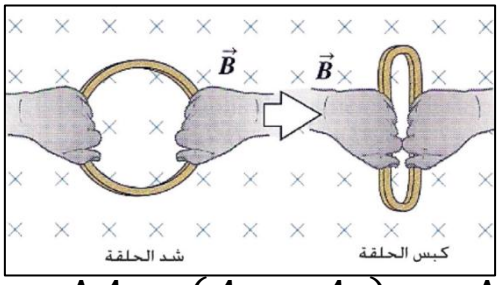
*وهذا يعني ان كثافة الفيض $\vec{B}$ تكون عمودية على مستوى الحلقة.




*عندما يكون متجه $\vec{A}$ عمودي على متجه $\vec{B}$ عندئذ لا يتوافر فيض مغناطيسي يخترق الحلقة وذلك لان $(\theta = 90)$ وان $(\cos 90 = 0)$ لذلك فان

$$\Phi_B = AB\cos\theta = AB\cos 90 = 0$$

وهذا يعني ان كثافة الفيض $\vec{B}$ تكون بموازاة مستوى الحلقة .



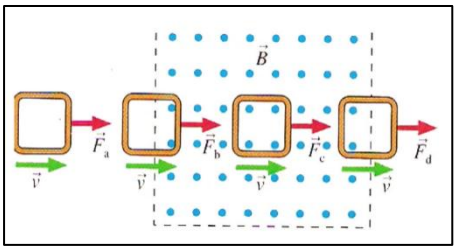

**ثانياً :-** تغير مساحة الحلقة المواجهة للفيض المغناطيسي المنتظم :-

ويتم ذلك اما بشد الحلقة من جانبيها المتقابلين او كبسها فتقل بذلك المساحة A. ان التغير في الفيض المغناطيسي في هذه الحالة يعطى بالعلاقة الاتية:-

$$\Delta A = (A_2 - A_1) \Longleftarrow \Delta\Phi_B = B.\Delta A$$

**ثالثاً :-** تحريك الحلقة الموصلة بمستوى عمودي على فيض مغناطيسي منتظم :-

{دفع الحلقة لإدخالها في مجال مغناطيسي منتظم او سحبها لإخراجها منه }




ينتج عن ذلك تغيرا في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة لوحدة الزمن في اثناء دخول الحلقة في المجال المغناطيسي واثناء خروجها منه .

**ملاحظة :-** ان وحدة قياس الفيض المغناطيسي $\Phi_B$ في النظام

الدولي للوحدات هي ( Web ) اما المصدر الزمني للتغير في الفيض فيقاس بوحدة (Web/Second) فعندئذ تكون القوة الدافعة الكهربائية المحتثة ($\varepsilon_{ind}$) مقاسة بوحدة (Volt) (فولط )

**ملاحظة :-** ان الزاوية $\theta$ تكون بين كثافة الفيض $\Phi_B$ ومساحة الحلقة ( الملف ) $\vec{A}$ فعندما يقول في السؤال :-

1- ان كثافة الفيض B تصنع زاوية $30^o$ مع مساحة الحلقة ( الملف ) فإننا نقول ان $\theta = 30°$

2- ان كثافة الفيض B تصنع زاوية $30^o$ مع مستوى للفة ( الملف ) هذا يعني ان

$$\theta = 90 - 30 \Longrightarrow \Phi = 60°$$

لذلك نرجو الانتباه لما بعد كلمة { مع } في السؤال .

**مثال :-** حلقة دائرية موصلة قطرها (0.4m) وضعت داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضة (B=0.5T) ويتجه باتجاه مواز لمتجه مساحة الحلقة A

-a مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة

-b ما مقدار الفيض المغناطيسي على فرض ان الحلقة دارت باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة لحين صار متجه المساحة A يصنع زاوية $\theta = 45°$ مع اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي (B).

**الحل :**

a) عندما $(\theta = 0)$

$$A = \Pi r^2 = 3.14 * \left(\frac{0.4}{2}\right)^2 = 3.14 * (0.2)^2$$

$$A = 12.56 * 10^{-2} m^2$$

$$\Phi_B = A \cos\theta \Longrightarrow \Phi_B = 12.56 * 10^{-2} * 0.5 * \cos 0$$

$$\Phi_B = 6.28 * 10^{-2} \text{ Web}$$

b) عندما $\theta = 45°$

$$\Phi_B = B\, A \cos\theta \Longrightarrow \Phi_B = 6.28 * 10^{-2} * 0.707$$

$$\Phi_B = 4.44 * 10^{-2} \text{ Web}$$

## قانون فراداي :

لقد وضع فراداي قانوناً في الحث الكهرومغناطيسي لا يحدد ولا يشترط فيه الكيفية التي يجب ان يتم فيها حصول التغير في الفيض المغناطيسي وقانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي يعد قانوناً تجريبياً وينص على

" مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة ($\varepsilon_{ind}$) في حلقة موصلة تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة "

والصيغة الرياضية للقانون هي :-

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$