كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الثالثة**

المادة : الكتروديناميك

المحاضرة:الاولى/نظري/كتابة

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

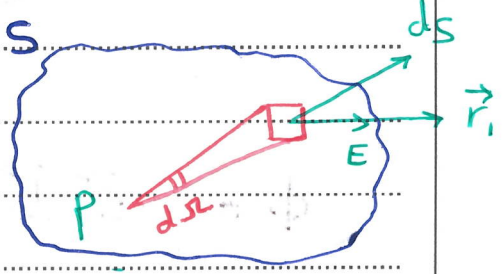
نظرية ستوكس:

$$\int \vec{A}\, d\vec{\ell} = \iint rot\, \vec{A}\, \vec{ds}$$

نظرية غوص:

$$\oiint \vec{A}\, \vec{ds} = \iiint_V div\, \vec{A}\, dv$$

قانون غوص في الكهرباء الساكنة:



نقوم بحساب التدفق الكهربائي عبر عنصر السطح ds

التدفق نربطه مع الطاقة والمساحة

$$d\phi = \vec{E}\, \vec{ds} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{\vec{r}_1\, ds}{r^2}$$

$\vec{r}_1\, ds$: مسقط ds على المستوي العمودي على r_1

r : متجه الواحدة

نكتب ds بدلالة $d\Omega$ الزاوية المجسمة التي يرى منها عنصر السطح ds ابتداءً من النقطة P.

$$\vec{ds} = r^2 \cdot d\Omega / \vec{r}_1$$

بالتعويض:

$$d\phi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} d\Omega$$

$\Rightarrow$ التدفق الكلي $\Phi = \oint_S \vec{E}\,\vec{ds} = \frac{\vec{Q}}{\varepsilon_0}$

فالتدفق الكلي

إذا كانت Q خارج السطح S يساوي الصفر وإذا ~~Q_1 و Q_2~~ ~~فالمجموع هو~~ Q_3 احتوى السطح المغلق S على عدة شحنات بداخله فالتدفق يجمع جبرياً.

ندرس في الحالة التي تكون الشحنات داخل السطح S المغلق موزعة بكثافة حجمية ρ في الحجم V المحدد بالسطح S فإن

$$Q = \int_V \rho\, dV \Rightarrow \Phi = \frac{\int_V \rho\, dV}{\varepsilon_0}$$

بتطبيق نظرية غوص:

$$\Phi = \int \vec{E}\,\vec{ds} = \int_V \operatorname{div}\vec{E}\, dv = \int_V \frac{\rho}{\varepsilon_0} dv$$

$$\Rightarrow \operatorname{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad \text{أو} \quad \operatorname{div}\vec{D} = \rho$$

D: متجه حقل التحريض الكهربائي

تدل العلاقة الأخيرة على أن مصادر الحقل الكهربائي هي شحنات كهربائية وهي شحنات حقيقية تتواجد في الطبيعة تدعى هذه المعادلة أيضاً بقانون غوص بشكله التفاضلي أو بمعادلة ماكسويل من أجل تفرق $\vec{D}$.

قانون غوص في المغناطيسية:

ينص على أن عدد خطوط حقل التحريض المغناطيسي التي تدخل الجسم المحدد بالسطح المغلق S يساوي عدد خطوط الحقل

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

التي تخرج منه وتدفق حقل التحريض المغناطيسي من خلال هذا السطح المغلق يساوي الصفر ونعبر عنه بالعلاقة :

$\oiint_S \vec{B}\, d\vec{s} = 0$ و B حقل التحريض المغناطيسي

و H الحقل المغناطيسي

$\oiint \vec{H}\, d\vec{s} = 0$

بتطبيق نظرية غوص

$\int_V \operatorname{div} \vec{B}\, d\vec{\tau} = 0$

$\operatorname{div} \vec{B} = 0.$

وهو الشكل التفاضلي لقانون غوص في المغناطيسية والعلاقة صحيحة مهما كان شكل السطح المغلق S الذي يحدد الحجم τ

والمعنى الفيزيائي لقانون غوص :

يدل على عدم وجود شحنات ~~كهربائية~~ مغناطيسية حقيقية حرة في الطبيعة.

تدعى علاقة $\operatorname{div} B = 0$ معادلة ماكسويل في أجل تفرق B.

قانون أمبير في المغناطيسية :

ينص قانون أمبير على أن جولان حقل التحريض المغناطيسي $\vec{B}$ على أي مسار مغلق يحيط بالتيار يساوي ثابت النفوذية المغناطيسية في الخلاء في شدة التيار الكهربائي الذي يخترق السطح المستند على المسار المغلق أي أن

$\oint \vec{B}\, d\vec{\ell} = \mu_0 . I$

يحسب التكامل الخطي لحقل التحريض المغناطيسي $\vec{B}$ على مسار مغلق وهو عبارة عن دوائر يقع مركزها على السلك الذي يمر فيه التيار

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

فيكون حقل التحريض المغناطيسي عند النقطة الواقعة على المسار المغلق والتي تبتعد عن السلك مسافة قدرها r هي بالشكل التالي:

$$\oint \vec{B}\, d\vec{\ell} = B(2\pi r) = \mu_0 . I$$

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 . I}{2\pi r}$$

ونستطيع أن نكتب:

$$\int \vec{H}\, d\vec{\ell} = I \iff \oint \vec{B}\, d\vec{\ell} = \mu_0 . I$$

يدعى هذا التكامل بالقوة المحركة المغناطيسية إذا كتبنا شدة التيار I على شكل تكامل لكثافة التيار $\vec{J}$ على السطح S يحيط بالناقل بهذا الشكل:

$$I = \int \vec{j}\, \vec{ds}$$

يؤدي قانون أمبير في المغناطيسية على أنه:

$$\int \vec{B}\, d\vec{\ell} = \mu_0 \int_S \vec{j}\, \vec{ds}$$

نطبق نظرية ستوكس ↑

$$\int \vec{B}\, d\vec{\ell} = \int_S rot\, \vec{B} . \vec{ds} = \int \mu_0 . \vec{j}\, \vec{ds}$$

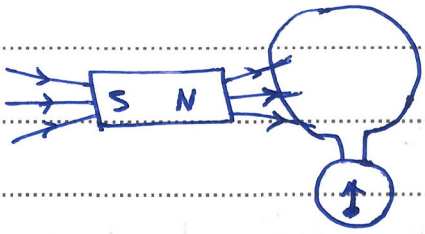
$$\Rightarrow \overrightarrow{rot\, B} = \mu_0 . \vec{j}$$

وهذه العلاقة تمثل الشكل التفاضلي لقانون أمبير.

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

قانون فاراداي في التحريض الكهرطيسي :

اكتشف فاراداي وجوزيف هنري أنه ينتج عن حقل مغناطيسي متغير مع الزمن حقل كهربائي متغير مع الزمن ونتيجة تغير هذا الحقل المغناطيسي ينتج عنه حقل كهربائي وسميت هذه الظاهرة بظاهرة التحريض الكهرطيسي ويمكن توضيح هذه الظاهرة بواسطة تجربة فاراداي التي تحوي مغناطيس وسلك ومؤشر



~~عند وجود سلك~~

عند وجود سلك ناقل على شكل حلقة موصول بجهاز كلفانومتر بجوار مغناطيس ساكن في نفس المستوي لاحظ تياراً كهربائياً في الحلقة عند تحريك المغناطيس نحو وخارج الحلقة نلاحظ انحراف المؤشر دلالة على وجود تيار كهربائي متحرض داخل المغناطيس عن الحلقة هذا التيار ينشأ نتيجة تكون قوة محركة كهربائية emf داخل الحلقة. وجد أن القوة المحركة الكهربائية ترتبط مع معدل التغير الزمني للتدفق المغناطيسي الذي يمر عبر الحلقة حيث

$$e.m.f = -\frac{\partial \Phi_m}{\partial t}$$

إشارة السالب تدل على أن القوة المحركة الكهربائية تعمل بشكل يعاكس معدل تغير التدفق الذي أدى لإنتاجها وأن هذا يسمى أيضاً بقانون لينز

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

ترتبط القوة المحركة الكهربائية بالحقل الكهربائي المتحرض الناتج عن التيار المتحرض في كل نقطة من الدارة العلاقة

$$e.m.f = \int \vec{E}\, d\vec{\ell}$$

وبالتالي:

$$= -\frac{\partial}{\partial t} \iint \vec{B}\, d\vec{s}$$

يؤدي العبارة التفاضلية لقانون فاراداي تأخذ الشكل التالي

$$rot\ \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

وهنا سنرى واضحاً أن الحقل المغناطيسي والمستقر مع الزمن يولد حوله حقلاً كهربائياً وتدعى هذه المعادلة السابقة بقانون فاراداي المعمم أو معادلة ماكسويل من أجل دوار الحقل الكهربائي

معادلة الاستمرار أو قانون انحفاظ الشحنة:

$$div\ \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

$\vec{J}$: كثافة التيار.

ρ: الكثافة الحجمية

في حال تيار مستمر فإن توزيع الشحنات لا تتغير مع الزمن

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \Rightarrow div\ \vec{J} = 0$$

نميز حالتين:

1- في حالة التيار المستمر: لا تتغير توزيع الشحنات بالنسبة للزمن وتأخذ معادلة الاستمرار $div\ \vec{J} = 0$ مما يعني أن كثافة تدفق

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

بالدارة

التيار ~~والكثافة~~ معدومة بسبب ~~أن~~ أي لا مرتيار

2- في حالة تيار متناوب تكون في حالة وجود مكثفة في الدارة وتلاحظ

كثافة التيار تكون مغلقة كأن التيار المتناوب عمل على إغلاق الدارة

التي كانت مفتوحة بوجود مكثفة وذلك بواسطة وجود تيار الانزياح

تيار الانزياح أو تيار ماكسويل:

ينشأ هذا التيار عن معدل تغير كثافة التدفق الكهربائي مع الزمن في

الأنظمة الغير متغيرة مع الزمن. معادلة أمبير تنص على

$$rot\vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$ ، J: كثافة الحجمية للتيار الكهربائي

معادلة الاستمرار الشحنة تساوي:

$$div\vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

نحسب تفرق شعاع كثافة التيار مع معادلة أمبير فنجد

$$rot\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

$$\Rightarrow div(rot\vec{B}) = \mu_0 div\vec{J}$$

$$0 = \mu_0 div\vec{J} \Rightarrow div\vec{J} = 0$$

إذا هناك تناقض بين معادلة الاستمرار التي هي معادلة محققة دوماً

ومعادلة أمبير التي هي معادلة تجريبية لرفع هذا التناقض

اقترح ماكسويل تعديل معادلة أمبير كمايلي

بتعويض المعادلة السابقة

$$\rho = \varepsilon_0 div\vec{E}$$

نحصل عليه في معادلة استمرارية الشحنة نحصل على:

$$div\vec{J} = -\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_0 div\vec{E})$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$\Rightarrow \operatorname{div}\vec{J} = -\operatorname{div}\left(\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right).$$

$$\Rightarrow \operatorname{div}\left(\vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \operatorname{div}\vec{J}_{ToT} = 0$$

اقترح ماكسويل تسمية الحد J_{ToT} الذي هو نفسه $J + \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$ بشعاع الكثافة الحجمية للتيار الكلي وبالتالي أصبحت معادلة الاستمرار ومعادلة أمبير متفقتين في نفس النتيجة أيا كان نوع النظمة الفيزيائية حيث اصطلح على تسمية الحد $\operatorname{div}\vec{J}_{ToT} = 0$ كثافة تيار الانزياح $J_d = \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$ وهو تيار الناتج عن تغيرات الحقل الكهربائي مع الزمن

وأصبحت معادلة أمبير من معادلة أمبير المعممة

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = rot\,\vec{B} = \mu_0\left(\vec{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right)$$

$$= \mu_0\left(\vec{J} + \vec{J}_d\right)$$

إذا تغير الحقل الكهربائي مع الزمن يولد حقل مغناطيسي.

معادلة ماكسويل العامة في الشكل التفاضلي والتكاملي:

تدعى المعادلات التالية التي تصف الحقل الكهرطيسي في الفراغ بمعادلات ماكسويل:

1- $\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ قانون فاراداي

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

2- $\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0$ قانون غوص بالمغناطيسية

3- $\vec{\nabla}\wedge\vec{H} = \vec{J_c} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ قانون آمبير

4- $\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$ قانون غوص بالكهرباء الساكنة

في الشكل التكاملي:

$$1-\oint_c \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = -\frac{\partial}{\partial t}\int_s \vec{B}\, d\vec{s}$$

$$2-\oint_s \vec{B}\cdot d\vec{s} = 0$$

$$3-\oint_c \vec{H}\, d\vec{\ell} = \int_s \left(\vec{J_c} + \frac{\partial \rho}{\partial t}\right) d\vec{s}$$

$$4-\oint_s \vec{E}\, d\vec{s} = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_v \rho\, dv$$

يضاف لمعادلات ماكسويل علاقات ارتباط

$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}$

ومعادلة الاستمرار:

$$div\vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

$\vec{F} = q(\vec{E} + u\wedge\vec{B})$ عند جمع قوى لورنتس

وقانون نيوتن الثاني في التحريك فإن جملة هذه المعادلات بأكملها تصف الحقول الكهرطيسية بدقة تامة كما تصف ديناميكياً التأثير المتبادل للشحنات بشكل كلاسيكي

تطبيق معادلات ماكسويل السابقة في الفراغ المتجانس والمتماثل المناحي حيث تكون الثوابت الفيزيائية σ و μ و ε مستقلة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

عن الزمن وعن قيم $\vec{H}$ ، $\vec{D}$ ، $\vec{B}$ ، $\vec{E}$ مما يفترض أن يكون الفراغ خال من الشحنات أو من الأجسام المغناطيسية الحديدية.

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مكتبة A to Z