كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الثالثة**

المادة : كهرطيسية

المحاضرة:الاولى/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

4

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

محاضرات في الكهرطيسية — د. علي أسد

المحاضرة الأولى - الحقل الكهرطيسي ومعادلات ماكسويل

سنقوم في هذا الفصل بشرح معادلات ماكسويل التي يمكن استخدامها في العديد من التطبيقات، لا سيما الأمواج الكهرطيسية. من المعروف أن طيف الأمواج الكهرطيسية المدروسة تجريبياً يمتد من الترددات التي مرتبتها $10^6 Hz$ حتى الترددات التي مرتبتها $10^{20} Hz$.

ويشمل طيف الأمواج الكهرطيسية موجات الراديو والتلفزيون والأمواج الميكروية والأمواج الضوئية والإشعاع الحراري والأشعة السينية X وأشعة غاما γ.

1 معادلات ماكسويل:

تربط معادلات ماكسويل بين الحقلين الكهربائي والمغناطيسي المتغيرين بالنسبة للزمن مع بعضهما البعض من جهة ومع الشحنات والتيارات الكهربائية الموجودة في الوسط من جهة أخرى. تكتب معادلات ماكسويل بالشكل التفاضلي الآتي:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}(\vec{r},t) = \vec{J}(\vec{r},t) + \frac{\partial \vec{D}(\vec{r},t)}{\partial t} \quad (1)$$

$$rot\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}(\vec{r},t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r},t)}{\partial t} \quad (2)$$

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

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D}(\vec{r},t) = \rho(\vec{r},t) \quad (3)$$

$$div\vec{D} = \rho$$

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{B}(\vec{r},t)=0 \qquad (4)$$
$$\text{div}\,\vec{B}=0$$

حيث

$$\left.\begin{aligned}\vec{D}&=\varepsilon\vec{E}\\ \vec{B}&=\mu\vec{H}\\ \vec{J}&=\sigma\vec{E}\end{aligned}\right\} \quad (5)$$

، م: كثافة الشحنات الحجمية ، $\vec{J}$ كثافة التيارات السطحية للوسط المادي المدروس ، σ الناقلية الكهربائية النوعية ε سماحية العازلية الكهربائية ، μ النفاذية المغناطيسية

سؤال : عن ماذا تعبر معادلة مكسويل الأولى ، أوجد الشكل التكاملي لمعادلة مكسويل الأولى وادرسها

الجواب : معادلة مكسويل الأولى

$$\text{rot}\,\vec{H}=\vec{J}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$$

هي تعميم لقانون أمبير في المغناطيسية، وينص قانون أمبير بشكله التفاضلي على أن تحولات الحقل المغناطيسي حول محيط مغلق يساوي إلى تيار الناقلية I_c

إيجاد الشكل التكاملي لمعادلة مكسويل الأولى:

نطبق مبرهنة ستوكس على المعادلة الأولى فنجد

$$\int_S(\vec{\nabla}\times\vec{H})\,d\vec{S}=\int_S\left(\vec{J}_c+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\right)d\vec{S}=\int_S\vec{J}_c\,d\vec{S}+\int_S\vec{J}_d\,d\vec{S}$$

ومن ثم

$$\int_C\vec{H}\,d\vec{l}=(\vec{J}_c+\vec{J}_d)\cdot d\vec{S}$$

حيث $\vec{J}_c$ كثافة تيار الناقلية ، $\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ كثافة تيار الإزاحة ومنه :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_c + I_d \qquad (6)$$

حيث I_c تيار الناقلية المتدفق في سلك الدارة ، I_d تيار الإزاحة

إذاً كثافة التيار الكلي $\vec{J}_{tot}$ تساوي مجموع كثافتي تيار الناقلية وتيار الإزاحة:

$$\vec{J}_{tot} = \vec{J}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J}_c + \dot{\vec{D}} \qquad (7)$$

تمثل معادلة ماكسويل الأولى على أن تغير الحقل الكهربائي بالنسبة للزمن يولد حقلاً مغناطيسياً دواراً إضافة إلى تيار الناقلية،

سؤال : أدرس الشكل التفاضلي لمعادلة ماكسويل الثانية ثم أوجد الشكل التكاملي للمعادلة وأدرسه .

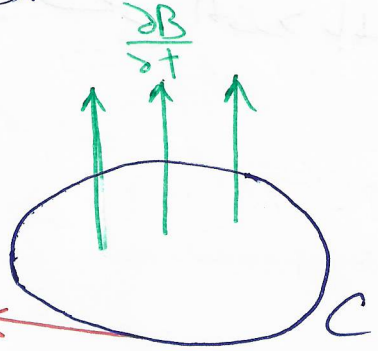
الشكل التفاضلي لمعادلة ماكسويل الثانية

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

تعبر هذه المعادلة عن الشكل التفاضلي لقانون فاراداي في التحريض الكهرطيسي

أظهرت تجارب فاراداي أن تغير الحقل المغنطيسي بالنسبة للزمن يولد في سلك مغلق متوضع في هذا الحقل تدفقاً للتيار المتحرض في هذا السلك الذي يولد بدوره دواراً للحقل الكهربائي

الشكل التكاملي:



نطبق مبرهنة ستوكس على معادلة مكسويل الثانية

$$\int_S (\vec{\nabla} \wedge \vec{E}) \cdot \vec{n}\, ds = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \vec{n}\, ds$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \vec{n}\, ds = -\frac{d}{dt} \phi_m$$

حيث $d\vec{l}$: عنصر طولي من السلك الناقل

$\int \vec{B} \cdot \vec{n}\, d\vec{s} = \phi_m$: تدفق خطوط الحقل المغناطيسي خلال السطح S. ويمثل الطرف الأيسر لهذه المعادلة القوة المحركة الكهربائية التي تولد التيار المتحرض في الدارة

$$U_{ind} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (8)$$

$$U_{ind} = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad (9)$$

استنتج فاراداي أن تغير الحقل المغناطيسي بالنسبة للزمن يولد قوة محركة كهربائية تؤثر على الشحنات، مما يؤكد أن الحقل المغناطيسي المتغير زمنياً ينتج حقلاً كهربائياً

نص قانون فاراداي بصيغته العاملية: جولان الحقل الكهربائي حول مسار مغلق يساوي المعدل الزمني لتغير التدفق المغناطيسي عبر السطح المحدد بالمسار C

هما يجب تمييز الحالتين:

الحالة الأولى: إذا زاد معدل التدفق مع الزمن يكون $\oint \vec{E}.d\vec{l}$ سالباً، هما يعني أن الحقل $\vec{E}$ الناتج عن زيادة التدفق يعمل بعكس اتجاه التيار المار في المسيط C، وهذا التيار يولد بدوره حقلاً مغناطيسياً باتجاه معاكس للحقل الذي سببه

الحالة الثانية: إذا انخفضنا معدل تدفق حقل التعريض المغناطيسي يصبح المقدار $\oint \vec{E}.d\vec{l}$ موجباً، هما يعني أن الحقل $\vec{E}$ الناتج عن نقصان كثافة التدفق يعمل باتجاه التيار المار في السلك C الذي يولد بدوره حقلاً مغناطيسياً باتجاه الحقل المسبب له

- تشير الإشارة السالبة إلى أن الحقل الكهربائي المتعرض يعاكس التدفق المغناطيسي الذي سببه وتعرف هذه الحقيقة بقانون لنز
- نص قانون لنز: يتولد في الناقل تياراً كهربائياً متعرضاً، حقله المغناطيسي يعاكس في الاتجاه الحقل المغناطيسي المسبب له

سؤال: ادرس الشكل التفاضلي لمعادلة ماكسويل الثالثة ثم أوجد الشكل التكاملي لها وادرسه

الشكل التفاضلي لمعادلة ماكسويل الثالثة

$$div\ \vec{D} = \vec{\nabla}.\vec{D} = \rho$$

تربط معادلة ماكسويل الثالثة بين الحقل الكهربائي $\vec{E}$ ومنبع الحقل الكهربائي الحقيقية الموجودة في الطبيعة، وتعبر هذه المعادلة عن قانون غوص بالشكل التفاضلي

باستخدام العلاقة $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$ نأخذ المعادلة الثالثة الشكل

$$\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

وتنص على أن تفرق الحقل الكهربائي $\vec{E}$ في نقطة ما يساوي كثافة الشحنات الحجمية ρ الموجودة في هذه النقطة مقسومة على ε

نناقش الحالات الثلاث الآتية

أولاً: $\rho = 0$ تمثل الأوساط المعتدلة كهربائياً، هذا من جهة. ومن جهة أخرى، يعبر التفرق عن عدد خطوط الحقل التي تخترق سطحاً مغلقاً مطروحاً منه عدد الخطوط الداخلة إليه. فإذا كانت خطوط الحقل الخارجة تساوي خطوط الحقل الداخلة فإن $\vec{\nabla}.\vec{D} = 0$

ثانياً: $\rho < 0$ تعبر الشحنات السالبة أي أن $\vec{\nabla}.\vec{D} < 0$ وهذا يعني أن الشحنات السالبة هي بمثابة مصارف لخطوط الحقل، أي أن الخطوط تنتهي على الشحنة السالبة

ثالثاً: $\rho > 0$ تعبر الشحنات الموجبة أي أن $\vec{\nabla}.\vec{D} > 0$ وتعني أن الشحنات الموجبة هي بمثابة منابع لخطوط الحقل المنطلقة منها

مكتبة A to Z