كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : الكتروديناميك

المحاضرة: الثالثة/نظري/كتابة

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

5

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

انتشار الأمواج الكهرطيسية في الأوساط المتجانسة والمتماثلة المناحي:

الوسط المتجانس: هو الوسط الذي تكون فيه المقادير μ و ε و σ ثابتة في كل نقطة من هذا الوسط.

الوسط المتماثل المناحي: هو الوسط الذي تكون فيه μ أو ε أو σ كمية سلمية (عددية) ثابتة لذلك فإن لكل من $\vec{E}$ و $\vec{D}$ و $\vec{B}$ و $\vec{H}$ و $\vec{J}$ و $\vec{E}$ نفس الاتجاه في أي نقطة من هذا الوسط.

أما إذا اختلفت قيم μ، σ، ε باختلاف المنحى أو الاتجاه فعندئذ نقول أن الوسط متباين المناحي ولمركبات σ، μ، ε تمثل عندئذ بمصفوفة

الموجة هي عبارة عن اهتزاز أو اضطراب ينتقل من نقطة إلى أخرى سواء في وسط مادي أو في الفراغ فالاهتزاز أو الاضطراب هو عبارة عن تغيرات دورية لمقدار فيزيائي ما.

نعتبر الموجة آلية تتم بواسطتها نقل المعلومة أو الطاقة من نقطة إلى أخرى وذلك بسرعة معينة.

ويشمل طيف الأمواج الكهرطيسية (موجات الراديو - التلفزيون - الأمواج الميكروية - الأمواج تحت الحمراء - الضوئية - فوق البنفسجي - أشعة X - أشعة γ)

الضوء هو شعاع كهرومغناطيسي.

ملاحظة: جميع هذه الأمواج تنتشر في الخلاء بسرعة الضوء:

$$c = 3 \times 10^8 \ m.s^{-1}$$

مكتبة A to Z - كلية العلوم (جامعة طرطوس) - TEL:0931497960

سوف نبرهن في هذا الفصل على أن الحقول E و B في الخلاء تخضع لمعادلة الانتشار لها نفس شكل معادلة انتشار الكمون

انتشار الأمواج الكهرطيسية المستوية في الخلاء:

في الخلاء يكون كثافة الشحنات الكهربائية $\rho = 0$ وبالتالي $J = 0$

$\varepsilon = \varepsilon_0$ و $\mu = \mu_0$ أما معادلات ماكسويل فتأخذ الصيغ التالية

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad \ldots (1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad \ldots (2)$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \ldots (3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad \ldots (4)$$

بتطبيق المؤثر rot على طرفي العلاقة (1):

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\mu_0 \vec{\nabla} \wedge \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \wedge \vec{H})$$

$$= -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = \nabla (div E) - \nabla^2 \vec{E}$$

حسب ماكسويل تساوي الصفر.

$$\Rightarrow \vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\nabla^2 \vec{E}$$

من الطرف الأيسر من المعادلة السابقة نحصل على العلاقة التالية:

$$-\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

$$\Rightarrow \nabla^2 \vec{E} - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

حيث أن $\frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} = c^2$ ويكون لدينا معادلة انتشار الحقل الكهربائي:

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad \dots (5)$$

وبإتباع نفس الخطوات السابقة على المعادلة (3) من معادلات ماكسويل نجد معادلة انتشار الحقل المغناطيسي H وهي

$$\nabla^2 \vec{H} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = 0 \quad \dots (6)$$

نفرض حلاً للمعادلات (5) و (6) على شكل موجة مستوية تنتشر وفق أحد الاتجاهات وليكن ox وبالتالي مركبات $\vec{E}$ و $\vec{H}$ لا تتعلق بـ y و z وإنما فقط بـ x ويصبح لدينا:

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} = \frac{\partial E_x}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial y} = \frac{\partial E_y}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} = \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0$$

وكذلك مركبات H:

$$\frac{\partial H_x}{\partial y} = \frac{\partial H_x}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial y} = \frac{\partial H_y}{\partial z} = 0 \quad , \quad \frac{\partial H_z}{\partial y} = \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

من معادلة ماكسويل (4)

$$\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\partial E_x}{\partial x} = 0$$

أي أن المركبة E_x للحقل الكهربائي E ثابتة في كل لحظة على طول المحور ox ومن المعادلة الثالثة لماكسويل نجد أن:

$$(rot\ \vec{H})_x = \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = \varepsilon_0 \frac{\partial E_x}{\partial t} = 0$$

أي أن $\frac{\partial E_x}{\partial t} = 0$ وبالتالي المركبة E_x مستقلة عن الزمن وبما أننا نهتم بدراسة الأمواج وليس بدراسة الحقل المنتظم فإننا نعتبر $E_x = 0$ وباتباع نفس الأسلوب بالنسبة لـ H نجد أن $H_x = 0$ لأنه أيضاً ثابت مع الزمن ومنتظم على امتداد المحور ox والنتيجة هي أن الحقلين $\vec{E}$ و $\vec{H}$ في الموجة المستوية يكونا عموديان على الاتجاه الانتشار فإذا اكتفينا بهذا الحل فإن لكل من $\vec{E}$ و $\vec{H}$ مركبات على المحورين oy و oz فإذا اعتبرنا أن E لا تملك سوى مركبة واحدة على المحور oy نقول في هذه الحالة أن الموجة المستوية مستقطبة استقطاباً مستقيماً في الاتجاه oy وبما أن H_y ثابتة مع الزمن تكون منتظمة في كل نقطة من نقاط المحور x.

انتشار الموجة المستوية:

لتبسيط الدراسة نأخذ موجة كهرطيسية وهي موجة تنتشر في اتجاه واحد oz أي أن الحقل الكهرطيسي فقط يتعلق بالزمن t والمحور z إحداثي

معادلة الانتشار لها: $\frac{\partial^2(B)}{\partial z^2} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2(\vec{B})}{\partial t^2} = 0$

$$\frac{\partial^2(E)}{\partial z^2} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2(\vec{E})}{\partial t^2} = 0.$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

وهما معادلتان تفاضليتان من الدرجة الثانية حلهما يمثلان موجتان كهرومغناطيسيتان منتشرتين واحدة (oz) والثانية ($-oz$) وسرعتهما بسرعة الضوء c.

باتجاه

عرضية الموجة المستوية: وهي خاصية أساسية تتميز فيها هذه الموجة نوضحها بناءً على معادلات ماكسويل في الفراغ

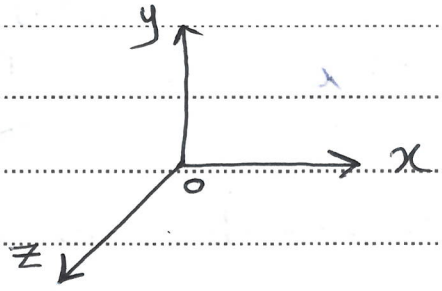
$$div\, E = o \Rightarrow \frac{\partial E_z}{\partial z} = o$$

$$(rot\, B)_z = \left(\frac{\partial B_y}{\partial x} - \frac{\partial B_x}{\partial y} \right) = o$$

$$\Rightarrow \mu_o \cdot \varepsilon_o \frac{\partial E_z}{\partial t} = o$$

$$\Rightarrow \frac{\partial E_z}{\partial t} = o$$

إذاً المركبة E_z لا تتعلق بالموضع ولا بالزمن t وبالتالي نستنتج أن المركبة $E_z = o$ وبالتالي $B_z = o$ وبالتالي نستنتج أن الحقلين $\vec{B}$ و $\vec{E}$ موجودان في المستوي $(x\ y)$



أي في المستوي العمودي على جهة الانتشار ونقول أن الحقلين الكهربائي والمغناطيسي لهما حقلا نعرضيان

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

بنية الموجة المستوية المستقطبة ضوئياً:

نفرض موجة كهرومغناطيسية مستوية تنتشر وفق الاتجاه المتزايد عند المحور oz والمستقطبة ضوئياً وفق المحور ox أي حقلها الكهربائي محمول على ox هذا يؤدي الحقل المغناطيسي محمول على oy من خلال تحليل معادلة ماكسويل:

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

$$(a) \dots (rot\ E)_x = \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -\frac{\partial B_x}{\partial t} = 0$$

لذن E_z ليس له مركبات وفق y و z وبالتالي مشتقات هذه المركبات معدومة وبالتالي:

$$(b) \dots (rot\ E)_y = \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\frac{\partial B_y}{\partial t}$$

$$(c) \dots (rot\ E)_z = \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\frac{\partial B_z}{\partial t} = 0$$

من خلال المعادلة (b) نتوصل إلى

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -\frac{\partial B_y}{\partial t} \quad \dots (1)$$

لمجانسة طرفي المعادلة نجري عملية تبديل المتغير على حل المعادلة التفاضلية الذي نرى من الشكل:

$$E(z,t) = f\left(t - \frac{z}{c}\right)$$

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

نفرض: $u = t - \frac{z}{c}$

بما أن: $\frac{\partial E_x(z,t)}{\partial z} = \frac{\partial E_x}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial z}$

$$\frac{\partial E_x(z,t)}{\partial u}\left(-\frac{1}{c}\right) = -\frac{1}{c}\frac{\partial E_x}{\partial t}$$

بالتعويض في المعادلة: (1)

$$-\frac{1}{c}\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{\partial B_y}{\partial t} \Rightarrow B_y = \frac{1}{c}E_x$$

$$\Rightarrow B_y = \frac{1}{c}E_x \quad \ldots (2)$$

من المعادلة الأخيرة سنتبع أن B و E متعامدان والعلاقة التي تربط بين الحقلين:

$$B_y = e_z \wedge \frac{E}{c} \quad \ldots (3)$$

حركة الجسيم المشحون في الحقول الكهرطيسية الثابتين (غير المتغيرات مع الزمن):

تعد حركة الجسيمات المشحونة في الحقول الكهرطيسية أحد أقسام الفيزياء الهامة في علم الالكترودينامياك فهي أساسية في الالكترونيات كافة في تقانة المسرعات (الجسيمات) والمجاهر الالكترونية والمطياف الكتلوي وفي دراسة التفاعلات الحاصلة في البلازما وفي دراسة الظواهر النووية الحرارية وفي مجالات أخرى كفيزياء الفلك

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

والأشعة الكونية وغير ذلك تقتصر دراستنا في هذا الفصل على معالجة أبسط أنواع هذه الحركة ونفترض أن الحقل الخارجي المؤثر على الجسيمات المشحونة أكبر بكثير من الحقل الخاص بها الناتج عن حركة هذه الجسيمات في الذرة ونفترض أن الجسيمات المشحونة التي نتتبع حركتها بمثابة سخنات اختبارية تغير الحقل الخارجي المؤثر.

انتهت المحاضرة

TEL:0931497960 - Facebook Group: A to Z مكتبة

مكتبة A to Z