كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : كهرطيسية

المحاضرة: السادسة /نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

2026

4

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

* تغير الحقل مع الزمن: لنأخذ موجة كهرطيسية مستوية جيبية من الشكل

$$E_x(z,t) = E_{ox}\cos(\omega t - k_o z) \quad (19)$$

عندما $z=0$ (نقطة معينة على المحور z)

$$E_x(0,t) = E_{ox}\cos(\omega t)$$

بما أن الحركة الجيبية المدروسة دورية ودورها T، فإن:

$$E_{ox}\cos(t+T) = E_{ox}\cos\omega t$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (20)$$

* تغير الحقل مع المكان: ندرس العلاقة (19) في لحظة زمنية معينة ولتكن $t=0$ في هذه الحالة نجد أن:

$$E_x(z,0) = E_{ox}\cos(k_o z)$$

والدورية بالنسبة للمكان تتطلب تحقق العلاقة

$$E_{ox}\cos k_o(z+\lambda) = E_{ox}\cos(k_o z)$$

حيث λ الدورية المكانية للموجة الكهربائية المدروسة وتسمى بطول الموجة المدروسة وتساوي:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k_o} = cT$$

5- استقطاب الأمواج الكهرطيسية المستوية: من المعلوم في علم الضوء أن الضوء الطبيعي غير مستقطب، وبالتالي درجة استقطابه تساوي الصفر، غير أن الضوء وحيد اللون ضوء مستقطب إلى حد ما

* من أجل الحصول على ضوء مستقطب تستخدم عدة طرق نذكر منها:

1) الاستقطاب بالانعكاس

2- الاستقطاب بالامتصاص
3- الاستقطاب بالانكسار المضاعف

أنواع الاستقطاب:

1- الاستقطاب الخطي: عندما ترسم نهاية متجهة الحقل الكهربائي $\vec{E}$ للموجة الكهرطيسية خطاً مستقيماً لدى انتقالها بمقدار طول الموجة، فإننا نتكلم عن الاستقطاب الخطي

2- الاستقطاب الدائري: في هذه الحالة ترسم نهاية متجهة الحقل الكهربائي $\vec{E}$ للموجة الكهرطيسية دائرة، وذلك عند انتقالها بمقدار طول موجة واحد. وهذا الاستقطاب حالة خاصة من الاستقطاب الإهليلجي.

3- الاستقطاب الإهليلجي: عندما ترسم نهاية $\vec{E}$ للموجة الكهرطيسية قطعاً ناقصاً، لدى انتقال الموجة بمقدار طول موجة واحدة، نحصل على ما يسمى بالاستقطاب الإهليلجي.

لندرس الآن استقطاب موجة كهرطيسية مستوية تنتشر في الاتجاه oz:

في هذه الحالة تملك الموجة مركبتين متعامدتين واقعتين في المستوي العمودي على منحى الانتشار:

$$\vec{E} = \vec{E_x} + \vec{E_y}$$

$$\vec{E} = \vec{e_x} E_{ox} e^{i(\omega t - k_0 z)} + \vec{e_y} E_{oy} e^{i(\omega t - k_0 z - \phi)}$$

حيث ϕ فرق الطور بين المركبتين E_x و E_y. لنأخذ القسم الحقيقي فقط الذي يمثل موجة كهرطيسية جيبية حيث نجد أن

$$\vec{E} = \vec{e_x} E_{ox} \cos(\omega t - k_0 z) + \vec{e_y} E_{oy} \cos(\omega t - k_0 z - \phi) \quad (21)$$

بإزالة الزمن من المركبتين E_x و E_y نحصل على معادلة الاستقطاب التالية:

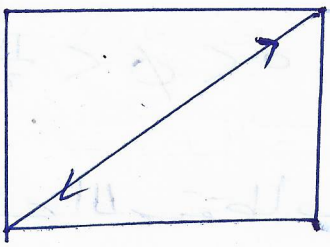
$$\left(\frac{E_x}{E_{ox}}\right)^2+\left(\frac{E_y}{E_{oy}}\right)^2-\frac{2E_xE_y}{E_{ox}E_{oy}}\cos\phi=\sin^2\phi \quad (22)$$

لنجري هنا المناقشة التالية:

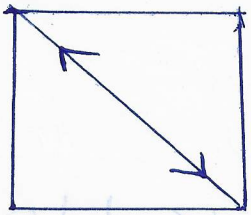
* إذا كان فرق الطور ϕ مساوياً عدداً صحيحاً من π أي $\phi=n\pi;\ n=0,1,2,\dots$ فإن

$$\frac{E_x}{E_y}=\pm\frac{E_{ox}}{E_{oy}}$$

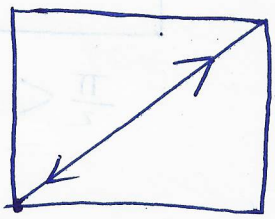
في هذه الحالة يحافظ الحقل الكهربائي على اتجاه ثابت والموجة تستقطب استقطاباً خطياً ويكون منحى الاستقطاب من منحى الحقل الكهربائي $\vec{E}$.



$\phi=2\pi$

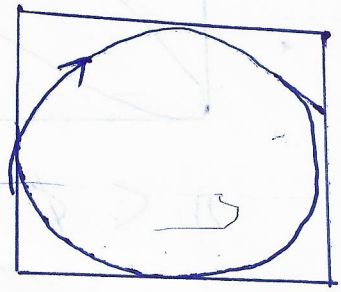


$\phi=\pi$

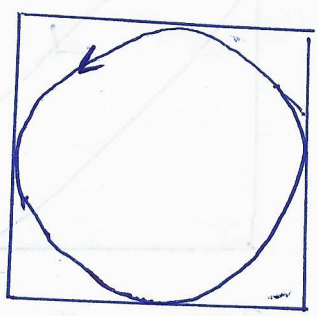


$\phi=0$

* إذا كان $\phi=\frac{1}{2}(2n+1)\pi$ حيث n عدد صحيح و $E_{ox}=E_{oy}$ نحصل في هذه الحالة على موجة مستقطبة دائرياً



$\phi=\frac{3\pi}{2}$

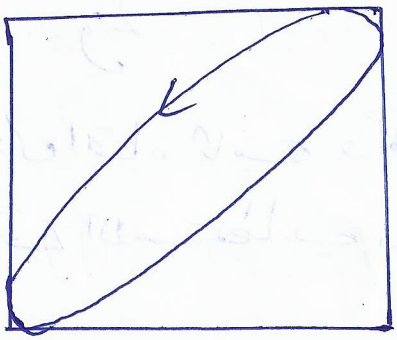


$\phi=\frac{\pi}{2}$

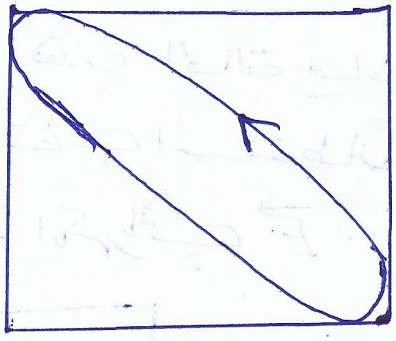
إذا كانت جهة الدوران بعكس اتجاه عقارب الساعة
سمي الاستقطاب بالاستقطاب اليساري الدائري (المباشر)
أما إذا كانت جهة الدوران مع اتجاه عقارب الساعة سمي
بالاستقطاب اليميني الدائري (غير المباشر)

* يحقق الاستقطاب الإهليلجي اليساري المتراجحتين التاليتين:

$$\begin{cases} 0 < \phi < \frac{\pi}{2} \\ \frac{\pi}{2} < \phi < \pi \end{cases}$$



$0 < \phi < \frac{\pi}{2}$

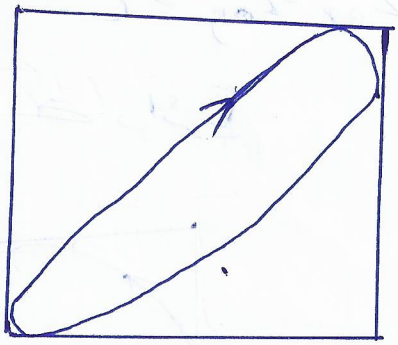


$\frac{\pi}{2} < \phi < \pi$

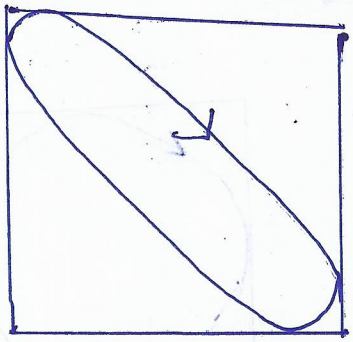
* يحقق الاستقطاب الإهليلجي اليميني المتراجحتين:

$$\pi < \phi < \frac{3\pi}{2}$$

$$\frac{3\pi}{2} < \phi < 2\pi$$



$\pi < \phi < \frac{3\pi}{2}$



$\frac{3\pi}{2} < \phi < 2\pi$

معادلات ماكسويل بالصيغة العقدية:

رأينا في بداية الفصل أن حل المعادلة الموجية للحقل الكهربائي والمغناطيسي عبارة عن موجة مستوية من الشكل

$$\left.\begin{aligned}\vec{E}(\vec{r},t) &= \vec{E}_0(\vec{r})\, e^{i(\omega t - \vec{K}\cdot\vec{r})} \\ \vec{H}(\vec{r},t) &= \vec{H}_0(\vec{r})\, e^{i(\omega t - \vec{K}\cdot\vec{r})}\end{aligned}\right\} \quad (23)$$

من هاتين المعادلتين نجد:

$$\left.\begin{aligned}\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial \vec{r}} = -i\vec{K}\vec{E} \Rightarrow \quad \vec{\nabla} &= -i\vec{K} \\ \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = i\omega\vec{E} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial}{\partial t} &= i\omega\end{aligned}\right\} \quad (24)$$

بتعويض هاتين المعادلتين (24) في معادلات ماكسويل في الفراغ نحصل على المعادلات

$$\vec{\nabla}\wedge\vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \Rightarrow -i\vec{K}\wedge\vec{H} = i\omega\varepsilon_0\vec{E}$$

$$\vec{\nabla}\wedge\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \Rightarrow -i\vec{K}\wedge\vec{E} = -i\omega\mu_0\vec{H}$$

$$\Rightarrow \left.\begin{aligned}\vec{K}\wedge\vec{H} &= -\omega\varepsilon_0\vec{E} \\ \vec{K}\wedge\vec{E} &= \omega\mu_0\vec{H} \\ \vec{K}\cdot\vec{E} &= 0 \\ \vec{K}\cdot\vec{H} &= 0\end{aligned}\right\} \quad (25)$$

إذا كانت متجهة الانتشار موافقة لمتجهة الواحدة $\vec{u}$ فأي أن $\vec{K} = K\vec{u}$ فإن

$$\left.\begin{aligned}\vec{H} &= \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\,\vec{u}\wedge\vec{E} \\ \vec{E} &= \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\,\vec{H}\wedge\vec{u}\end{aligned}\right\} \quad (26)$$

حيث
$$w = KC = K\sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

متجهة بوينتنغ بالصيغة العقدية:

عندما نعبر عن الحقلين الكهربائي والمغناطيسي بالصيغة العقدية تعطى متجهة بوينتنغ بالعلاقة التالية

$$\vec{S} = \vec{E} \wedge \vec{H}^*$$

حيث $\vec{H}^*$ المرافق العقدي للحقل $\vec{H}$

ومن جهة أخرى تعطى القيمة الوسطى لمتجهة بوينتنغ بالعلاقة التالية

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} Re \langle \vec{E} \wedge \vec{H}^* \rangle$$

كثافة الطاقة الكهرطيسية:

تعرف كثافة الطاقة الكهرطيسية الكلية بالعلاقة التالية

$$W = \frac{1}{2} (\vec{E} \cdot \vec{D}^* + \vec{H} \vec{B}^*)$$

والقيمة الوسطى لكثافة الطاقة الكلية بالعلاقة التالية

$$\langle w \rangle = \frac{1}{4} Re (\vec{E} \cdot \vec{D}^* + \vec{H} \vec{B}^*)$$

حيث $\langle w_e \rangle = \frac{1}{4} (\vec{E} \cdot \vec{D}^*)$ القيمة الوسطى لكثافة الطاقة الكهربائية

$\langle w_m \rangle = \frac{1}{4} (\vec{H} \cdot \vec{B}^*)$ القيمة الوسطى لكثافة الطاقة المغناطيسية

يمكننا بسهولة أن نجد أن كثافة الطاقة الكهربائية تساوي كثافة الطاقة المغناطيسية من الفراغ أي أن

$$\langle w_e \rangle / \langle w_m \rangle = 1$$

مكتبة A to Z