

الفصل العاشر
Chapter Ten

الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnetic Waves

مسألة (10.1) Problem

في وقتنا الحاضر من الممكن الحصول على طاقة مقدارها (100 TW) وذلك باستخدام عنصر النيوديميوم - زجاج *Neodymium - glass* كمادة لصناعة الليزر، خلال زمن قدره (1.0 ns) بطول موجي يساوي ($0.26 \mu \text{ m}$). كم هي طاقة النبضة الواحدة؟

الحل Solution

$$P = 100 \times 10^{12} \text{ W} \quad \text{الطاقة الناشئة}$$
$$\Delta T = 1.0 \times 10^{-9} \text{ s} \quad \text{الفترة الزمنية}$$

طاقة النبضة الواحدة

$$E = P \Delta T = 100 \times 10^{12} \text{ W} \times 1.0 \times 10^{-9} \text{ s}$$
$$= 1.0 \times 10^5 \text{ Joule}$$

مسألة (10.2) Problem

أوجد معدل شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي لموجة مستوية، إذا كانت القيمة القصوى لسعة المجال المغناطيسي ($B_m = 1.0 \times 10^{-4} \text{ T}$).

الحل Solution

$$I = \bar{S} = \frac{1}{\mu_0} |\vec{E} \times \vec{B}|_{av}$$
$$= \frac{E_{av} B_{av}}{\mu_0} = \frac{(E_m / \sqrt{2})(B_m / \sqrt{2})}{\mu_0}$$
$$= \frac{E_{av} B_{av}}{2\mu_0}$$
$$= \frac{E_m B_m}{2\mu_0}$$

$$\frac{E_m}{B_m} = c$$

ولكن لدينا :

$$E_m = cB_m$$

والآن :

$$I = \frac{cB_m^2}{\mu_o} = \frac{(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})(1.0 \times 10^{-4} \text{ T})^2}{2(1.26 \times 10^{-6} \text{ H/m})}$$
$$= 1.2 \times 10^6 \text{ W/m}^2$$

مسألة (10.3) Problem

موجة كهرومغناطيسية مستوية تبلغ أقصى قيمة لمركبة مجالها الكهربائي
($E_m = 3.20 \times 10^{-4} \text{ V/m}$)
أوجد أقصى قيمة لمركبة مجالها المغناطيسي.

الحل Solution

من المعلوم أن العلاقة التي تربط كلا من E_m و B_m هي :

$$\frac{E_m}{B_m} = c$$

$$B_m = \frac{E_m}{c} = \frac{3.2 \times 10^{-4} \text{ V/m}}{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}$$
$$= 1.07 \times 10^{-12} \text{ T}$$

مسألة (10.4) Problem

ما هو الطول الموجي (λ) لموجة كهرومغناطيسية منبعثة من متذبذب هوائي LC
حيث ($L = 0.253 \mu\text{H}$) , ($C = 250 \text{ PF}$).

Solution الحل

من المعلوم أن التردد الزاوي للمتذبذب (LC) يعبر عنه بالمعادلة :

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega = 2\pi f$$

ولكن :

$$c = \lambda f$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$\lambda = 2\pi c \sqrt{LC} = 4.7 \text{ m}$$

مسألة (10.5) Problem

تبلغ القيمة القصوى لمركبة المجال الكهربائي راديوية مستوية (5.0 V/m).

1- أوجد القيمة القصوى لمركبة المجال المغناطيسي.

2- أوجد شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي للموجة.

Solution الحل

$$\frac{E_m}{B_m} = c \quad -1$$

$$B_m = \frac{E_m}{c} = \frac{5.0 \text{ V/m}}{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1.67 \times 10^{-8} \text{ T}$$

$$I = \bar{S} = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c} \quad -2$$

$$= \frac{(5.0 \text{ V/m})^2}{2(1.26 \times 10^{-6} \text{ H/m})(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})}$$

$$= 3.31 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$$

مسألة (10.6) Problem

موجة كهرومغناطيسية تسير في الاتجاه السالب للمحور (y). وذلك في وقت ومكان محددين، حيث يسير المجال الكهربائي على طول المحور (z) الموجب وتبلغ قيمته (100 V/m) .
أوجد مقدار واتجاه مركبة المجال المغناطيسي في ذات الوقت والمكان.

الحل Solution

إنَّ مقدار المجال المغناطيسي (B) يمكننا إيجاده من المعادلة المعروفة والتي تربط بين المجالين المغناطيسي والكهربائي وسرعة الضوء.

$$c = \frac{E}{B}$$

$$B = \frac{E}{c} = \frac{100 \text{ V/m}}{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}} = 3.3 \times 10^{-7} \text{ T}$$

أما اتجاه مركبة المجال المغناطيسي هذه فيمكننا تحديدها على النحو الآتي :

$$\vec{E} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{S}$$

من الملاحظ أن اتجاه المجال الكهربائي هو (z) الموجب، أي أن :

$$\vec{E} = E \hat{k}$$

وإنَّ اتجاه الموجة بكاملها هو ($-y$) أي أن :

$$\vec{S} = S(-\hat{j})$$

وتصبح المسألة كالاتي :

$$E \hat{k} \times \vec{B} = S(-\hat{j})$$

أي أنّ متجه الوحدة الذي يجب أن يرافق المجال المغناطيسي (B) هو $(-\hat{i})$ ، ذلك أنّ :

$$\hat{k} \times (-\hat{i}) = -\hat{j}$$

أي أنّ المجال المغناطيسي في الاتجاه (x) السالب.

مسألة (10.7) Problem

تبلغ شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض ($1.4 \text{ KW} / \text{m}^2$).
أوجد مقدار كل من (E_m و B_m) لهذا الإشعاع الكهرومغناطيسي على افتراض أن
موجته هي موجة مستوية.

الحل Solution

نحن نعلم أنّ العلاقة الرياضية التي تجمع بين شدة الإشعاع (I) والقيمة القصوى
للمجال الكهربائي (E_m) هي :

$$I = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c}$$

$$E_m = \sqrt{2\mu_0 c I}$$

$$\begin{aligned} &= \left[2(1.2 \times 10^{-6} \text{ H/m})(1.40 \times 10^3 \text{ W/m}^2)(3.0 \times 10^8 \text{ m/s}) \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= 1.03 \times 10^3 \text{ V/m} \end{aligned}$$

أما العلاقة بين القيمة القصوى للمجالين الكهربائي والمغناطيسي فهي معروفة أيضا
بالمعادلة :

$$c = \frac{E_m}{B_m}$$

$$B_m = \frac{E_m}{c} = \frac{1.03 \times 10^4 V/m}{3.0 \times 10^8 m/s}$$

$$= 3.43 \times 10^{-6} T.$$

مسألة (10.8) Problem

تبلغ القيمة القصوى للمجال المغناطيسي على بعد (10.0 m) من مصدر ضوئي (2.0 V/m)

- 1- أوجد : القيمة القصوى للمجال المغناطيسي.
- 2- معدل شدة الإشعاع للمصدر الضوئي.
- 3- طاقة المصدر الضوئي.

الحل Solution

هذه المسألة مشابهة لسابقتها (10.7)، أي أن :

$$B_m = \frac{E_m}{c} = \frac{2.0V/m}{3.0 \times 10^8 m/s} \quad -1$$

$$= 6.7 \times 10^{-9} T.$$

$$\bar{I} = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c} \quad -2$$

$$= \frac{2.0V/m}{2(1.26 \times 10^6 H/m)(3.0 \times 10^8 m/s)}$$

$$= 5.3 \times 10^{-3} W/m^2.$$

$$P = 4\pi r^2 \bar{I} \quad -3$$

$$= 4\pi (10m)^2 (5.3 \times 10^{-3} W/m^2)$$

$$= 6.7 W.$$

مسألة (10.9) Problem

يبلغ معدل شدة الإشعاع الشمسي الساقط عمودياً على السطح خارج نطاق الغلاف الجوي ($1.4 \text{ KW} / \text{m}^2$).

- 1- أوجد ضغط الإشعاع المسلط على السطح بافتراض أن الامتصاص كامل.
- 2- قارن بين قيمة هذا الضغط الذي أوجدته في المطلوب (1) مع قيمة الضغط الجوي عند سطح البحر والذي يساوي ($P_o = 1.0 \times 10^5 \text{ N} / \text{m}^2$).

الحل Solution

في هذه الحالة، نحن نعلم أنّ العلاقة بين كل من ضغط الإشعاع وشدته هي :

$$P_r = \frac{I}{c} \quad -1$$

$$= \frac{10 \text{ W} / \text{m}^2}{3.0 \times 10^8 \text{ m} / \text{s}} = 3.3 \times 10^{-8} \text{ N} / \text{m}^2$$

2- من الواضح أنّ الضغط الجوي والذي يساوي :

$$P_o = 1.0 \times 10^5 \text{ N} / \text{m}^2$$

هو أكبر بكثير وإذا ما أردنا أن نعبر عن ذلك رياضياً :

$$\frac{P_o}{P_r} = \frac{1.0 \times 10^5 \text{ N} / \text{m}^2}{3.3 \times 10^{-8} \text{ N} / \text{m}^2} = 3.03 \times 10^{12}$$

$$P_o = 3.03 \times 10^{12} P_r.$$

أي أنّ ضغط الإشعاع الشمسي ضعيف جداً مقارنة بالضغط الجوي.

مسألة (10.10) Problem

يبلغ معدل شدة الإشعاع الشمسي الساقط عمودياً على السطح خارج نطاق الغلاف الجوي ($1.4 \text{ KW} / \text{m}^2$).

- 1- بفرض أن كلا من الأرض والغلاف الجوي تأخذ شكل قرص دائري عمودي على الإشعاع الشمسي، وأن الامتصاص كامل.
أوجد القوة المؤثرة على الأرض بسبب ضغط الإشعاع.
- 2- قارن هذه القوة بقوة التجاذب بين الشمس والأرض (استخدم قانون الجذب العام لنيوتن) لحساب قوة التجاذب.

Solution الحل

1- من المعادلة المعروفة التي تربط بين كل من الضغط والقوة، نحن نعلم أن :

$$P = \frac{\text{القوة } (F)}{\text{المساحة } (A)} \text{ (الضغط)}$$

والآن :

$$P_r = \frac{F_r}{A}$$

أي أن :

$$F_r = P_r A$$

$$= P_r (\pi R_e^2)$$

حيث (R_e) هو نصف قطر الكرة الأرضية، نحن نعلم أن :

$$P_r = \frac{I}{c}$$

$$\therefore F_r = \frac{I}{c} (\pi R_e^2)$$

$$= \frac{\pi (1.4 \times 10^3 \text{ W / m}^2) (6.37 \times 10^6 \text{ m})^2}{3.0 \times 10^8 \text{ m / s}}$$

$$= 6.0 \times 10^8 \text{ N}$$

2- أما القوة الناشئة بسبب الجاذبية فهي :

$$\begin{aligned} F_g &= G \frac{M_s M_e}{r^2} \\ &= 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2 / \text{Kg}^2 \frac{(2.0 \times 10^{30} \text{ Kg})(5.98 \times 10^{24} \text{ Kg})}{(1.5 \times 10^{11} \text{ m})^2} \\ &= 3.6 \times 10^{22} \text{ N} \end{aligned}$$

ومن الواضح أنها أكبر بكثير من القوة الناتجة بسبب ضغط الإشعاع الشمسي.

مسألة (10.11) Problem

حزمة من الأشعة الضوئية غير المستقطبة تبلغ شدتها ($10 \text{ mW} / \text{m}^2$) سقطت على صفيحة استقطاب بشكل عمودي.

1- أوجد القيمة القصوى للمجال الكهربائي، وذلك للأشعة النافذة.

2- أوجد ضغط الإشعاع الناشئ على صفيحة الاستقطاب

الحل Solution

1- بما أن الأشعة الضوئية الساقطة غير مستقطبة فإن نصف شدتها سوف يتم امتصاصه والنصف الآخر سوف يتم نفاذه. أي أن الأشعة النافذة تبلغ شدتها :

$$\begin{aligned} I_{tr} &= \frac{1}{2} I_{inc} \\ &= 5.0 \text{ mW} / \text{m}^2 \end{aligned}$$

ونحن نعلم من جهة أخرى بأن كلاً من شدة الإشعاع (I) والقيمة القصوى للمجال الكهربائي تربطهما العلاقة :

$$I = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c}$$

$$\begin{aligned}
E_m &= \sqrt{2\mu_0 cI} \\
&= \left[2(4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m})(3.0 \times 10^8 \text{ m/s})(5.0 \text{ W/m}^2)\right]^{1/2} \\
&= 1.9 \text{ V/m}
\end{aligned}$$

2- أما ضغط الإشعاع فهو عبارة عن :

$$P_r = \frac{I_a}{c}$$

حيث (I_m) هي عبارة عن شدة الإضاءة الممتصة.

$$P_r = \frac{5.0 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2}{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1.7 \times 10^{-11} \text{ N/m}^2$$

مسألة (10.12) Problem

حزمة من الأشعة الضوئية غير المستقطبة سقطت على صفيحتين مستقطبتين الثانية فوق الأولى.

أوجد مقدار الزاوية بين اتجاه الاستقطاب للصفيحتين المستقطبتين إذا كانت شدة الإضاءة للضوء النافذ من المستقطب الثاني تساوي ثلث شدة الإضاءة الأصلية.

الحل Solution

عندما تمر الأشعة غير المستقطبة ذات الشدة (I_0) من المستقطب الأول فإن شدتها تنخفض إلى النصف أي أن :

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

بينما تعاني من انخفاض آخر عند مرورها بالمستقطب الثاني والذي يصنع محوره زاوية مقدارها (θ) مع المستقطب الأول، وفقاً للقانون العام المعروف :

$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2(\theta) = \frac{1}{3} I_0$$

$$\cos^2(\theta) = \frac{2}{3}$$

$$\cos(\theta) = \sqrt{2/3}$$

$$\theta = \cos^{-1} \sqrt{2/3}$$
$$= 35.2^\circ.$$

مسألة (10.13) Problem

حزمة استقطاب مكونة من أربعة مستقطبات مرتبة بحيث أن الزاوية بين كل مستقطبين متجاورين تساوي (30°) سقطت عليها أشعة ضوئية غير مستقطبة. أوجد مقدار الجزء النافذ من الحزمة الاستقطابية.

الحل Solution

عندما تمر الأشعة غير المستقطبة عبر المستقطب الأول فإن شدتها تصبح :

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

أما عندما تمر من المستقطب الثاني فإنها تخضع للقانون العام :

$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2(\theta)$$

وتتكرر هذه العملية ثلاث مرات إلى أن ينفذ من المستقطب الرابع بشدة :

$$I_f = \frac{1}{2} I_0 [\cos^2(\theta)]^3$$

$$\frac{I_f}{I_0} = \frac{1}{2} [\cos^2 30^\circ]^3 = 0.21$$

$$I_f = 0.21 I_0$$

مسألة (10.14) Problem

أوجد مقدار الجزء الإشعاعي الذي يمتصه قرص الأرض الذي يتقاطع مع الأشعة الصادرة من الشمس، إذا علمت أنّ معدل نصف قطر الأرض يساوي $(6.37 \times 10^6 \text{ m})$ وأن معدل المسافة بين الشمس والأرض تساوي $(1.50 \times 10^8 \text{ km})$.

الحل Solution

إن مساحة قرص سطح الأرض الذي يتقاطع مع أشعة الشمس هو عبارة عن مساحة الدائرة الآتية :

$$Area_e = \pi r^2_r$$

حيث (r_e) هو عبارة عن معدل نصف قطر الأرض $(6.3 \times 10^6 \text{ m})$.

أما مساحة الكرة الإشعاعية الصادرة بين الأرض والشمس فهي :

$$Area_{es} = 4\pi r^2_{es}$$

حيث (r_{es}) عبارة عن معدل المسافة بين الشمس والأرض $(1.5 \times 10^{11} \text{ m})$ ، وعليه

فإن الجزء الإشعاعي الذي يمتصه قرص الشمس هو عبارة عن :

$$Fraction = \frac{\pi r^2_e}{4\pi r^2_{es}}$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{6.37 \times 10^6 \text{ m}}{1.5 \times 10^{11} \text{ m}} \right)^2$$

$$= 4.51 \times 10^{-10}$$

وكما يلاحظ فهو جزء صغير للغاية من مجموع الإشعاع الشمسي الكلي.

مسألة (10.15) Problem

تبلغ شدة الإشعاع الشمسي غير الممتص من الغلاف الجوي في يوم صيفي $(100W/m^2)$. لو افترضنا أننا موجودون على مقربة من سخان كهربائي طاقته الحرارية $(1.0 kW)$.

أوجد المسافة التي تفصلنا عن السخان الكهربائي كي نستقبل نفس الإشعاع الشمسي الواصل إلينا.

الحل Solution

إن القدرة الكهربائية الناتجة عن السخان الكهربائي هي :

$$P_h = 1.0 \times 10^3 W$$

أما القدرة الكهربائية الناتجة عن الإشعاع الشمسي فهي :

$$P_{sum} = I 4\pi r^2$$

وحتى تتساوى القدرتان نجد أن :

$$P_h = P_{sum}$$

$$1.0 \times 10^3 W = 4\pi r^2 (100 W / m^2)$$

$$r = \left[\frac{1.0 \times 10^3 W}{4\pi (100 W / m^2)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.89 m$$

مسألة (10.16) Problem

أثبت أن متوسط معدل شدة الطاقة المنتقلة خلال وحدة المساحة لأشعة كهرومغناطيسية تنتقل في المستوى يمكننا أن نعبر عنها رياضياً بالمعادلة الرياضية :

$$\bar{S} = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c} = \frac{cB_m^2}{2\mu_0}$$

Solution الحل

من المعروف لدينا أن معدل شدة الإشعاع يعطى بالعلاقة الرياضية :

$$\begin{aligned}\bar{S} &= \frac{1}{\mu_0} |E \times B|_{av} \\ &= \frac{1}{\mu_0} (EB)_{av} \\ &= \frac{E_{av} B_{av}}{\mu_0} = \frac{(E_m / \sqrt{2})(B_m / \sqrt{2})}{\mu_0} \\ &= \frac{E_m B_m}{2\mu_0} = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c} = \frac{c^2 B_m^2}{2\mu_0 c} \\ &= \frac{c B_m^2}{2\mu_0}\end{aligned}$$

مسألة (10.17) Problem

من خلال المسألة السابقة (10.16)، أوجد متوسط شدة الطاقة لأشعة كهرومغناطيسية تنتقل في المستوى ، وذلك عندما تكون القيمة القصوى لمركبة المجال المغناطيسي هي :

$$B_m = 1.0 \times 10^{-4} T$$

Solution الحل

بالرجوع إلى المسألة المذكورة (10.16) نجد أن :

$$I = \bar{S} = \frac{c B_m^2}{2\mu_0}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

حيث إن :

$$\mu_o = 1.26 \times 10^{-6} \text{ H / m}$$

$$I = \bar{S} = \frac{(3 \times 10^8 \text{ m / s})(1.0 \times 10^{-4} \text{ T})^2}{2(1.26 \times 10^{-6} \text{ H / m})}$$
$$= 1.2 \times 10^6 \text{ W / m}^2$$

مسألة (10.18) Problem

إذا كانت القيمة القصوى لمركبة المجال الكهربائي لموجة راديوية هي :

$$E_m = 5.0 \text{ V / m}$$

- 1- أوجد : القيمة القصوى لمركبة المجال المغناطيسي لهذه الموجة .
- 2- مقدار شدة الطاقة لها .

الحل Solution

- 1- نحن نعلم أنّ العلاقة الرياضية التي تربط شدتي مركبتي الموجة الكهرومغناطيسية (E_m) و (B_m) هي :

$$\frac{E_m}{B_m} = c$$

حيث (c) هي عبارة عن سرعة الضوء .

$$B_m = \frac{E_m}{c}$$
$$= \frac{5.0 \text{ V / m}}{3 \times 10^8 \text{ m / s}} = 1.67 \times 10^{-8} \text{ T}$$

- 2- من المسائل (10.16) و (10.17) وجدنا أنّ شدة الطاقة للموجة الكهرومغناطيسية هي :

$$\begin{aligned}
I = \bar{S} &= \frac{E^2_m}{2\mu_0 c} \\
&= \frac{(5.0V/m)^2}{2(1.26 \times 10^{-6} H/m)(3 \times 10^8 m/s)} \\
&= 3.31 \times 10^{-2} W/m^2
\end{aligned}$$

مسألة (10.19) Problem

قطعة من الكرتون الأسود تبلغ مساحتها ($A = 2.0 \times 10^{-4} m^2$) تعترض طريق أشعة ضوئية شدتها ($10 W/m^2$) متواترة بين النور والظلام تبعاً لعمل الكاميرا، أوجد ضغط هذا الإشعاع الضوئي على قطعة الكرتون بافتراض أنها تمتص الأشعة الساقطة عليها امتصاصاً كلياً.

الحل Solution

نحن نعلم أنّ العلاقة الرياضية التي تربط بين شدة الإضاءة (I) وضغط الإشعاع (P_r) هي :

$$\frac{I}{P_r} = c$$

حيث (c) هي سرعة الضوء المعروفة.

$$P_r = \frac{I}{c}$$

$$= \frac{(10W/m^2)}{(3 \times 10^8 m/s)}$$

$$= 3.3 \times 10^{-8} N/m^2$$

$$= 3.3 \times 10^{-8} Pa.$$

مسألة (10.20) Problem

تستخدم أشعة الليزر لضغط بلازما الغاز عن طريق ضغط الإشعاع؛ إذا استخدمنا أشعة ليزر تولد نبضات إشعاعية طاقتها عند الذروة تساوي $(1.5 \times 10^3 MW)$ للتأثير على مساحة من سطح البلازما الغازية مقدارها $(A = 1.0 \times 10^{-6} m^2)$ وذلك بافتراض أن البلازما الغازية تمتلك كثافة إلكترونية عالية بحيث نستطيع اعتبار عاكسيتها للأشعة الليزرية تساوي الواحد. أوجد الضغط الإشعاعي الليزري على سطح البلازما المذكور.

الحل Solution

في هذه الحالة وضمن مواصفات البلازما الغازية هذه نجد أنها تؤدي إلى انعكاس كل الطاقة الساقطة عليها بفعل الإشعاع الليزري، أي أن الضغط الإشعاعي هو :

$$P_r = \frac{2I}{c}$$

$$I = \frac{P}{A}$$

حيث (I) هي شدة الإضاءة وتساوي :

حيث (P) هي الطاقة الليزرية، (A) المساحة المتأثرة .

$$P_r = \frac{2P}{cA}$$

$$= \frac{2(1.5 \times 10^9 W)}{(3 \times 10^8 m/s)(1.0 \times 10^{-6} m^2)}$$

$$= 1.0 \times 10^7 Pa = 10 MPa$$

مسألة (10.21) Problem

تمتلك موجة كهرومغناطيسية المركبات الآتية لمجالها المغناطيسي :

$$B_x = B \sin(ky + wt)$$

$$B_y = B_z = 0$$

- 1- حدد اتجاه انتشار هذه الموجة الكهرومغناطيسية.
- 2- صف رياضياً مركبات مجالها الكهربائي.
- 3- هل هذه الموجة الكهرومغناطيسية مستقطبة؟ إذا كانت كذلك حدد اتجاهها.

الحل *Solution*

1- بما أن الموجة الكهرومغناطيسية التي تنتشر بالاتجاه (y) الموجب هي :

$$B_x = B \sin(ky - \omega t)$$

والمركبة السينية للموجة الكهرومغناطيسية في هذه المسألة هي :

$$B_x = B \sin(kx + \omega t)$$

$$-(-\omega) = \frac{-2\pi}{T} = -2\pi f \quad \text{نلاحظ أن :}$$

وعليه فإن اتجاه الانتشار هو الاتجاه (y) السالب.

2- من الواضح أن :

$$E_x = E_y = 0$$

$$E_z = -cB \sin(kx + \omega t)$$

$$E_{z \max} = -cB \quad \text{ذلك أن :}$$

3- بما أن مركبتي الأشعة الكهرومغناطيسية للمجالين الكهربائيين بالاتجاه (y) و (x) تساوي الصفر، إذن الأشعة مستقطبة وعلى طول المحور (z) .

مسألة (10.22) *Problem*

تم تمرير أشعة ضوئية مستقطبة خلال صفيحتي استقطاب، بحيث يصنع محور استقطاب الصفيحة الأولى زاوية مقدارها (θ) مع اتجاه انتشار الأشعة، بينما يصنع محور استقطاب الصفيحة الثانية زاوية مقدارها (90°) . إذا علمت أن (0.10) فقط من الأشعة المارة خلال صفائح الاستقطاب هذه، أوجد مقدار الزاوية (θ) .

Solution الحل

بفرض أنّ شدة الضوء الابتدائية هي (I_0) فإن مقدار الأشعة التي تنفذ من الصفيحة المستقطبة الأولى هو :

$$I_1 = I_0 \cos^2 \theta$$

من المعلوم أن الزاوية بين صفيحتي الاستقطاب هي : $(90^\circ - \theta)$.

وعليه فإن الأشعة التي تنفذ من الصفيحة المستقطبة الثانية هي :

$$I_2 = I_1 \cos^2(90^\circ - \theta)$$

ولكننا نعلم من قوانين الزوايا في المثلثات أنّ :

$$\cos(90^\circ - \theta) = \sin \theta$$

$$I_2 = I_0 \cos^2 \theta \sin^2 \theta$$

$$2 \cos \theta \sin \theta = \sin 2\theta \quad \text{كما نعلم أيضاً من قوانين الزوايا في المثلثات أنّ :}$$

أي أن المقدار :

$$\frac{4}{4} \cos^2 \theta \sin^2 \theta = \frac{\sin^2(2\theta)}{4}$$

$$I_2 = \frac{I_0}{4} \sin^2(2\theta)$$

$$I_2 = 0.10 I_0$$

$$0.10 I_0 = \frac{I_0}{4} \sin^2(2\theta)$$

$$\sin^2(2\theta) = 0.40$$

$$\sin(2\theta) = 0.63$$

$$2\theta = \sin^{-1}(0.63) = 39.2$$

$$\theta = \frac{39.2}{2} = 19.6^\circ$$

مسألة (10.23) Problem

تم تمرير أشعة ضوئية مستقطبة عمودياً في الاتجاه الأفقي، تبلغ شدتها ($43 W / m^2$) خلال صفيحتي استقطاب، بحيث يصنع محور استقطاب الصفيحة الأولى مع الاتجاه العمودي زاوية مقدارها (70°)، بينما يقع محور استقطاب الصفيحة الثانية على المحور الأفقي لانتشار الأشعة الضوئية. أوجد شدة الأشعة النافذة عبر صفيحتي الاستقطاب.

الحل Solution

من الواضح أن شدة إضاءة الأشعة قبل المرور بأي من صفيحتي الاستقطاب هي: I_0

وأن زاوية محور الاستقطاب للصفيحة الأولى: $\theta_1 = 70^\circ$

وأن زاوية الاستقطاب للصفيحة الثانية: $\theta_2 = 90^\circ - 70^\circ = 20^\circ$

إذن: $I_1 = I_0 \cos^2(70^\circ)$

$$I_2 = I_1 \cos^2(20^\circ)$$

أي أنّ: $I_2 = I_0 \cos^2(70^\circ) \cos^2(20^\circ)$

$$= (43 W / m^2) \cos^2(70) \cos^2(20)$$

$$= 4.4 W / m^2$$

مسألة (10.24) Problem

في المسألة السابقة (10.23) افرض أنّ الأشعة الساقطة على صفيحتي الاستقطاب من النوع غير المستقطب.

أوجد شدة الأشعة النافذة.

Solution الحل

من المعلوم لدينا أن الأشعة الضوئية الساقطة على صفيحة الاستقطاب الأولى في هذه الحالة سوف يمر نصف شدتها خلال الصفيحة الأولى، أما الأشعة المارة من الصفيحة الثانية للاستقطاب فهي :

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

$$I_1 = \left(\frac{I}{2}\right) I_0 \quad \text{إذا :}$$

بافتراض أن شدة الأشعة الساقطة على الصفيحة الأولى هي (I_0) .

$$\begin{aligned} I_2 &= \left(\frac{I}{2}\right) I_0 \cos^2(20^\circ) \\ &= \left(\frac{I}{2}\right) (43 \text{ W/m}^2) \cos^2(20^\circ) \\ &= 19 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

وبمقارنة هذه النتيجة مع نتيجة المسألة السابقة (10.23) نجد الاختلاف كبير، وذلك عندما تكون الأشعة الساقطة على صفيحتي الاستقطاب غير مستقطبة.