الفصل العاشر
Chapter Ten

الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnetic Waves

Problem (10.1) مسألة

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 ($0.26\,\mu\, m$).

كم هي طاقة النبضة الواحدة ؟.

Solution الحل

الطاقة الناشئة $P = 100 \times 10^{12} W$

الفترة الزمنية $\Delta T = 1.0 \times 10^{-9} s$

طاقة النبضة الواحدة

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

$$= 1.0 \times 10^{5}\ Joule$$

Problem (10.2) مسألة

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

Solution الحل

$$I = \bar{S} = \frac{1}{\mu_o}\left|\vec{E} \times \vec{B}\right|_{av}$$

$$= \frac{E_{av}\, B_{av}}{\mu_o} = \frac{(E_m/\sqrt{2})(B_m/\sqrt{2})}{\mu_o}$$

$$= \frac{E_{av}\, B_{av}}{2\mu_o}$$

$$= \frac{E_m\, B_m}{2\mu_o}$$

ولكن لدينا :

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

$$E_m = cB_m$$

والآن :

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

$$= 1.2\times 10^6\, W/m^2$$

مسألة Problem (10.3)

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

أوجد أقصى قيمة لمركبة مجالها المغناطيسي.

الحل Solution

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

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

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

$$= 1.07\times 10^{-12}\, T$$

مسألة Problem (10.4)

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

الحل *Solution*

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

ولكن :

$$c = \lambda f$$

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

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

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

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.

الحل *Solution*

-1

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

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

-2

$$I = \bar{S} = \frac{{E_m}^2}{2\mu_o c}$$

$$= \frac{(5.0\,V/m)^2}{2(1.26\times10^{-6}\ H/m)(3.0\times10^{8}\,m/s)}$$

$$= 3.31\times10^{-2}\,W/m^2$$

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.

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

$$B = \frac{E}{c} = \frac{100V/m}{3.0\times10^{8}\,m/s} = 3.3\times10^{-7}\,T$$

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

$$\vec{E}\times\vec{B} = \mu_\circ\,\vec{S}$$

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

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

وأنَّ اتجاه الموجة بكاملها هو $(-y)$ أي أنَّ :

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

وتصبح المسألة كالآتي :

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

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 $(1.4\ KW/m^2)$.

أوجد مقدار كل من $(B_m$ و $E_m)$ 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 :

$$I=\frac{E^2{}_m}{2\mu_\circ c}$$

$$E_m=\sqrt{2\mu_\circ c\,I}$$

$$=\left[2(1.2\times10^{-6}\,H/m)(1.40\times10^{3}W/m^2)(3.0\times10^{8}\,m/s)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$=1.03\times10^{3}\,\nabla/m$$

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

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

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

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

Problem (10.8) مسألة

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

أوجد : 1- القيمة القصوى للمجال المغناطيسي.

2- معدل شدة الإشعاع للمصدر الضوئي.

3- طاقة المصدر الضوئي.

Solution الحل

هذه المسألة مشابهة لسابقتها (10.7)، أي أنَّ :

-1

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

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

-2

$$\bar{I} = \frac{E^2{}_m}{2\mu_\circ c}$$

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

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

-3

$$P = 4\pi\, r^2 \bar{I}$$

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

$$= 6.7\, W.$$

مسألة (10.9) Problem

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

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 $(P_o = 1.0 \times 10^5\ N/m^2)$.

الحل Solution

في هذه الحالة، نحن نعلم أنَّ العلاقة بين كلٍّ من ضغط الإشعاع وشدته هي :

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

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

2- من الواضح أنَّ الضغط الجوي والذي يساوي :

$$P_\circ = 1.0 \times 10^5\ N/m^2$$

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

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

$$P_\circ = 3.03 \times 10^{12}\, P_r .$$

أي أنَّ 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 $(1.4\ KW/m^2)$.

1- بفرض أن كلاً 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 أنَّ :

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

والآن :

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

أي أنَّ :

$$F_r = P_r\, A$$

$$= P_r(\pi\, R^2{}_e)$$

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

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

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

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

$$= 6.0 \times 10^8\ N$$

2- أما القوة الناشئة بسبب الجاذبية فهي :

$$F_g = G\frac{M_s M_e}{r^2}$$

$$= 6.67\times10^{-11}\,N.m^2/Kg^2\,\frac{(2.0\times10^{30}\,Kg)(5.98\times10^{24}\,Kg)}{(1.5\times10^{11}\,m)^2}$$

$$= 3.6\times10^{22}\,N$$

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

مسألة (10.11) *Problem*

حزمة من الأشعة الضوئية غير المستقطبة تبلغ شدتها $(10\,mW/m^2)$ 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 أنَّ الأشعة النافذة تبلغ شدتها :

$$I_{tr} = \frac{1}{2}I_{inc}$$

$$= 5.0\,mW/m^2$$

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

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

$$E_m = \sqrt{2\mu_o \, cI}$$

$$= \left[2(4\pi \times 10^{-7}\, H/m)(3.0 \times 10^{8}\, m/s)(5.0\, W/m^2)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 1.9\, V/m$$

2- أما ضغط الإشعاع فهو عبارة عن :

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

حيث (I_m) هي عبارة عن شدة الإضاءة الممتصة.

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

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 $(I_\circ)$ من المستقطب الأول فإن شدتها تنخفض إلى النصف أي أنَّ :

$$I = \frac{1}{2} I_\circ$$

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

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

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

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

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

$$= 35.2°.$$

مسألة (10.13) *Problem*

حزمة استقطاب مكونة من أربعة مستقطبات مرتبة بحيث أن الزاوية بين كل مستقطبين متجاورين تساوي (30^o) 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 :

$$I = \frac{1}{2} I_\circ$$

أما عندما تمر من المستقطب الثاني فإنها تخضع للقانون العام :

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

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

$$I_f = \frac{1}{2} I_\circ \left[\cos^2(\theta)\right]^3$$

$$\frac{I_f}{I_\circ} = \frac{1}{2}\left[\cos^2 30°\right]^3 = 0.21$$

$$I_f = 0.21 \; I_\circ$$

مسألة (10.14) *Problem*

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

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 $(6.3\times 10^{6}\, m)$.

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 $(1.5\times 10^{11}\, m)$، وعليه فإن الجزء الإشعاعي الذي يمتصه قرص الشمس هو عبارة عن :

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

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

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

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

Problem (10.15) مسألة

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.

Solution الحل

إنَّ 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 أنَّ :

$$P_h = P_{sum}$$

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

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

$$= 0.89m$$

Problem (10.16) مسألة

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

$$\bar{S} = \frac{E^2{}_m}{2\mu_\circ c} = \frac{cB^2{}_m}{2\mu_\circ}$$

الحل Solution

من المعروف لدينا أن معدل شدة الإشعاع يعطى بالعلاقة الرياضية :

$$\bar{S} = \frac{1}{\mu_\circ}|E \times B|_{av}$$

$$= \frac{1}{\mu_\circ}(EB)_{av}$$

$$= \frac{E_{av}B_{av}}{\mu_\circ} = \frac{(E_m/\sqrt{2})(B_m/\sqrt{2})}{\mu_\circ}$$

$$= \frac{E_m B_m}{2\mu_\circ} = \frac{E^2{}_m}{2\mu_\circ c} = \frac{c^2 B^2{}_m}{2\mu_\circ c}$$

$$= \frac{cB^2{}_m}{2\mu_\circ}$$

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 :

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

الحل Solution

بالرجوع إلى المسألة المذكورة (10.16) نجد أنَّ :

$$I = \bar{S} = \frac{cB^2{}_m}{2\mu_\circ}$$

حيث إنَّ : $c = 3 \times 10^8 m/s$

$$\mu_\circ = 1.26 \times 10^{-6} H/m$$

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

$$= 1.2 \times 10^6 W/m^2$$

مسألة (10.18) *Problem*

إذا كانت القيمة القصوى لمركبة المجال الكهربائي لموجة راديوية هي :

$$E_m = 5.0 V/m$$

أوجد : 1- القيمة القصوى لمركبة المجال ا لمغناطيسي 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 .

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

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

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

$$I = \overline{S} = \frac{E^2{}_m}{2\mu_\circ c}$$

$$= \frac{(5.0V/m)^2}{2(1.26\times10^{-6}\,H/m)(3\times10^8\,m/s)}$$

$$= 3.31\times10^{-2}\,W/m^2$$

مسألة (10.19) *Problem*

قطعة من الكرتون الأسود تبلغ مساحتها $(A = 2.0\times10^{-4}\,m^2)$ 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 أنَّ العلاقة الرياضية التي تربط بين شدة الإضاءة (I) وضغط الإشعاع (P_r) هي :

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

حيث (c) هي سرعة الضوء المعروفة.

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

$$= \frac{(10W/m^2)}{(3\times10^8\,m/s)}$$

$$= 3.3\times10^{-8}\,N/m^2$$

$$= 3.3\times10^{-8}\,Pa.$$

مسألة (10.20) *Problem*

تستخدم أشعة الليزرات لضغط بلازمات 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 أنّ 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 أنّها تؤدي إلى انعكاس كل الطاقة الساقطة عليها بفعل الإشعاع الليزري، أي أنّ الضغط الإشعاعي هو :

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

حيث (I) هي شدة الإضاءة وتساوي :

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

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

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

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

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

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.

Solution الحل

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

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

والمركبة السينية للموجة الكهرومغناطيسية في هذه المسألة هي :

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

نلاحظ أن :

$$-(-w) = \frac{-2\pi}{T} = -2\pi\ f$$

وعليه فإن اتجاه الانتشار هو الاتجاه (y) السالب.

2- من الواضح أنّ :

$$E_x = E_y = 0$$

$$E_z = -cB\sin(kx + wt)$$

ذلك أنّ :

$$E_{z\,\max} = -cB$$

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

مسألة *Problem* (10.22)

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^o). إذا علمت أنّ (0.10) فقط من الأشعة المارة خلال صفائح الاستقطاب هذه، أوجد مقدار الزاوية (θ).

الحل Solution

بفرض أنَّ شدة الضوء الابتدائية هي (I_o) 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 : $(90^o - \theta)$.

وعليه فإن الأشعة التي تنفذ من الصفيحة المستقطبة الثانية هي :

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

ولكننا نعلم من قوانين الزوايا في المثلثات أنَّ :

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

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

كما نعلم أيضاً من قوانين الزوايا في المثلثات أنَّ : $2\cos\theta \ \sin\theta = \sin 2\theta$

أي أن المقدار :

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

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

$$I_2 = 0.10\, I_0$$

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

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

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

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

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

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^o)، 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 : $\theta_1 = 70^o$

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

إذن :

$$I_1 = I_0 \cos^2(70^o)$$

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

أي أنّ :

$$I_2 = I_0 \cos^2(70^o)\cos^2(20^o)$$

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

$$= 4.4\,W/m^2$$

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 :

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

إذاً :

$$I_1 = \left(\frac{1}{2}\right) I_0$$

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

$$I_2 = \left(\frac{1}{2}\right) I_0 \cos^2(20^o)$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(43\,W/m^2)\cos^2(20^o)$$

$$= 19\,W/m^2$$

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