

# الهوائيات وانتشار الموجات

الموجات الكهرومغناطيسية

## الفصل الأول

### الموجات الكهرومغناطيسية

#### The Electromagnetic waves

اسم الوحدة: الموجات الكهرومغناطيسية

**الجدارة:** التعرف على ماهية الموجات الكهرومغناطيسية من حيث خصائصها - أنواعها - طرق انتشارها و كذلك خصائص وسط الانتشار و كيف يؤثر على الموجات المنتشرة خلاله.

**الأهداف:** أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

**الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة:** ٥ ساعات

**الوسائل المساعدة:** معمل الهوائيات و انتشار الموجات

**متطلبات الجدارة:** أن يكون المتدرب قد اجتاز مقررات الهندسة الكهربائية و أساسيات الاتصالات

## ١ - ١ مقدمة

الموجات الكهرومغناطيسية هي الأساس في الاتصالات اللاسلكية والتي يتم الاتصال بين نقطتين أو أكثر (مرسل و مستقبل) بينهما مسافات شاسعة و لا يوجد بينهما خطوط نقل مباشرة. والاتصالات اللاسلكية لها تطبيقات عديدة في مجالات الاتصالات الهاتفية و المراقبة الجوية و الأقمار الصناعية.

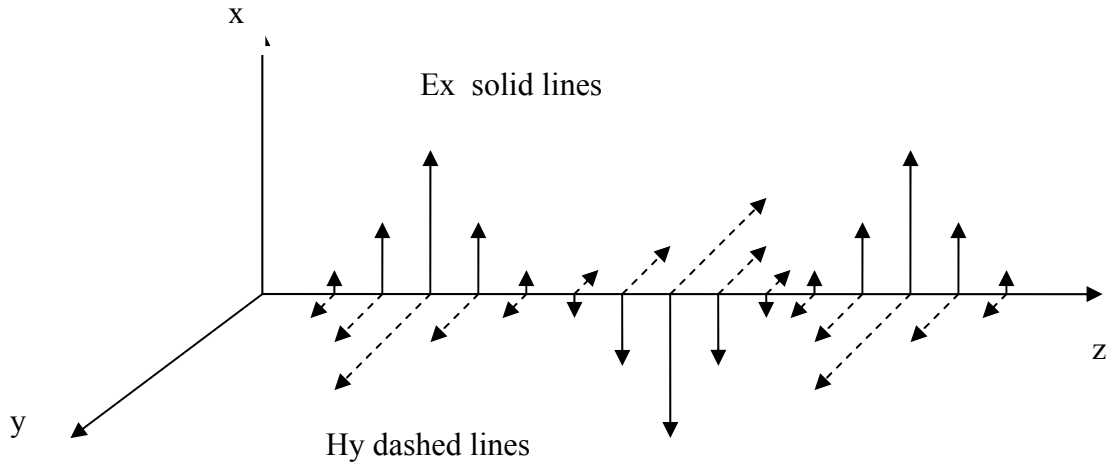
عند المرسل تقوم الهوائيات بتحويل الطاقة الكهربائية القادمة إليها إلى موجات لاسلكية والتي تنتشر من الهوائي في الوسط المحيط به و عند المستقبل يقوم هوائي المستقبل باستقبال الموجات اللاسلكية و تحويلها بعد عدد من العمليات إلى تيار و جهد مثل تلك التي كانت موجودة عند المرسل قبل ارتفاع قيمة تردد الإشارة الكهربائية. عند ارتفاع التردد فإن الجهد و التيار يتحولان إلى مجال كهربائي و مجال مغناطيسي على التوالي. و في هذه الوحدة سوف ندرس خصائص الموجات الكهرومغناطيسية و طرق و طبيعة انتشارها.

## ١ - ٢ خصائص الموجات الكهرومغناطيسية

## Electromagnetic waves characteristics

الموجة هي بوجه عام حركة مترددة مثل حركة سطح الماء الساكن عند سقوط حجر فيه أو مثل الموجات الصوتية التي هي عبارة عن مجموعة من التضامعات و التخلخلات في الهواء المحيط بمصدر الصوت. و المثالان السابقان يمثلان حركة أو موجة ميكانيكية في الوسط. الموجات الكهرومغناطيسية هي عبارة عن تغيرات في المجالين الكهربائي و المغناطيسي المكونين لهذه الموجة حيث تتكون الموجات الكهرومغناطيسية من مجالين كهربائي و مغناطيسي متعامدين يتحركان كل مع الآخر كما هو موضح في الشكل (١ - ١).

الموجات الكهرومغناطيسية مثل موجات الضوء و الموجات فوق الحمراء و الموجات فوق البنفسجية و موجات المايكروويف و غيرها.



الشكل ١- ١ موجة كهرومغناطيسية

## ٣-١ سرعة الموجة

## Wave velocity

تتحرك الموجة المغناطيسية بسرعة مميزة تعتمد قيمتها على طبيعة و نوع الوسط الذي تنتشر فيه الموجة. حيث تتغير هذه القيمة تبعاً للخصائص الكهربائية للوسط. و أعلى سرعة لهذه الموجات هي سرعة الضوء ( $3 \times 10^8$  م/ث) و ذلك عندما تنتشر هذه الموجات في الفراغ أما في الأوساط الأخرى فإن هذه السرعة تقل عن سرعة الضوء.

## ٤-١ التردد والطول الموجي

## Frequency and Wavelength

التغيرات التي تحدث في الموجات المترددة قد تكون تكرارية مثل تلك الموجودة في الموجات الكهرومغناطيسية الجيبية و الوحدة التكرارية تسمى ذبذبة (Cycle). و يعرف التردد بأنه عدد الذبذبات في الثانية الواحدة لذا فإن وحدة التردد هي ذبذبة/ثانية (cycle/s) و التي أيضاً يطلق عليها هرتز Hertz. ويرمز له f.

الطول الموجي هو تلك المسافة التي تسيرها الموجة خلال ذبذبة واحدة و هو أيضاً يعرف بأنه المسافة بين أي نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (The same phase) ووحدته هي المتر. ويرمز له  $\lambda$

ويرتبط التردد و الطول الموجي بالعلاقة الآتية:

الطول الموجي = سرعة الموجة / التردد

$$\lambda = v / f$$

حيث:

$\lambda$  : الطول الموجي

$v$  : سرعة الموجة و هي تساوي سرعة الضوء عندما تنتشر الموجة في الفراغ

$f$  : التردد

مثال ١ - ١ :

احسب قيمة الطول الموجي لموجة تنتشر في الفراغ و لها الترددات الآتية :

١- 1 KHz

٢- 1 MHz

٣- 1GHz

الحل:

$$\lambda = v / f$$

1-  $\lambda = v / f = c / f = 3 \times 10^8 / 1 \times 10^3 = 3 \times 10^5 \text{ m}$

2-  $\lambda = v / f = c / f = 3 \times 10^8 / 1 \times 10^6 = 3 \times 10^2 \text{ m}$

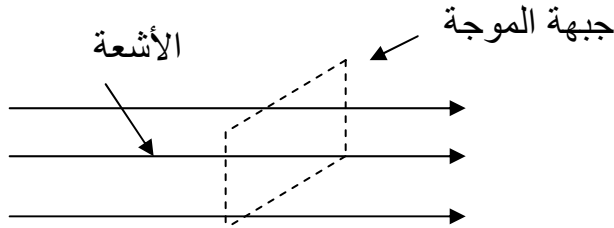
4-  $\lambda = v / f = c / f = 3 \times 10^8 / 1 \times 10^9 = 3 \times 10^{-1} \text{ m} = 0.3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$

## ١- ٥ الأشعة وجبهة الموجة

## Rays and Wavefront

تعتبر الموجات الكهرومغناطيسية من الأشياء غير المرئية و لذلك فإنه عند تحليلها و التعامل معها فإنه يجب أن يوضع تصور لشكلها حتى نتمكن من تصنيفها و تحليلها و تصميم الدوائر المستخدمة في توليدها من حيث الإرسال و الاستقبال. وإحدى طرق التعرف على هذه الموجات تعتمد على الأشعة و جهة الموجة:

**الأشعة:** يستخدم الشعاع ليبدل على اتجاه إنتشار الموجة حيث يدل رأس الشعاع على هذا الاتجاه  
**جبهة الموجة:** هي سطح يمر خلال الموجة و يحتوي على النقاط التي لها نفس الطور (الخصائص)



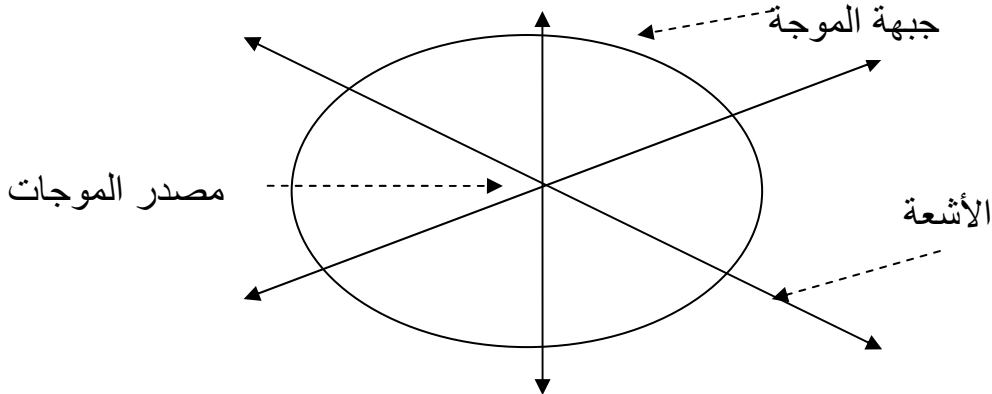
الشكل ١- ٢ الأشعة و جبهة الموجة (موجة مستوية)

و بناء على شكل جبهة الموجة فإنه يمكن تصنيف الموجات إلى:

- موجات مستوية: في الموجات المستوية يكون شكل جبهة الموجة عبارة عن مستوى وهذا المستوى عمودي على اتجاه انتشار الموجة كما في الشكل ١- ٢

- موجات كروية: في الموجات الكروية يكون شكل جبهة الموجة عبارة عن كرة وهذه الكرة

يكون مستواها عمودياً على اتجاه انتشار الموجة كما في الشكل ١- ٣



شكل ١ - ٣ الأشعة و جبهة الموجة (موجة كروية)

## ١- ٦ الموجات الكروية وقانون التربيع العكسي

## Spherical waves and Inverse square law

تعتبر الموجات الكهرومغناطيسية بوجه عام عن تدفق للطاقة الكهربائية في اتجاه انتشار الموجة لذلك فإذا افترضنا أن الطاقة الكلية الموجودة في الموجة هي  $P_t$  فإنه يمكن تعريف كثافة الطاقة  $P_d$  بأنها معدل مرور الطاقة عمودياً خلال وحدة المساحة في وسط الانتشار وتكون وحدات الطاقة الكلية هي الوات Watt و يرمز له بالرمز  $w$  أما كثافة الطاقة فإن وحداتها هي الوات / م<sup>٢</sup> ( $W/m^2$ ) فإذا أخذنا مثلاً على ذلك الموجات الكروية الموضحة في الشكل ١ - ٤ فإن كثافة الطاقة عند المسافة  $R_1$  هي:

$$P_{d1} = P_t / 4\pi R_1^2$$

و كذلك عند المسافة  $R_2$  هي:

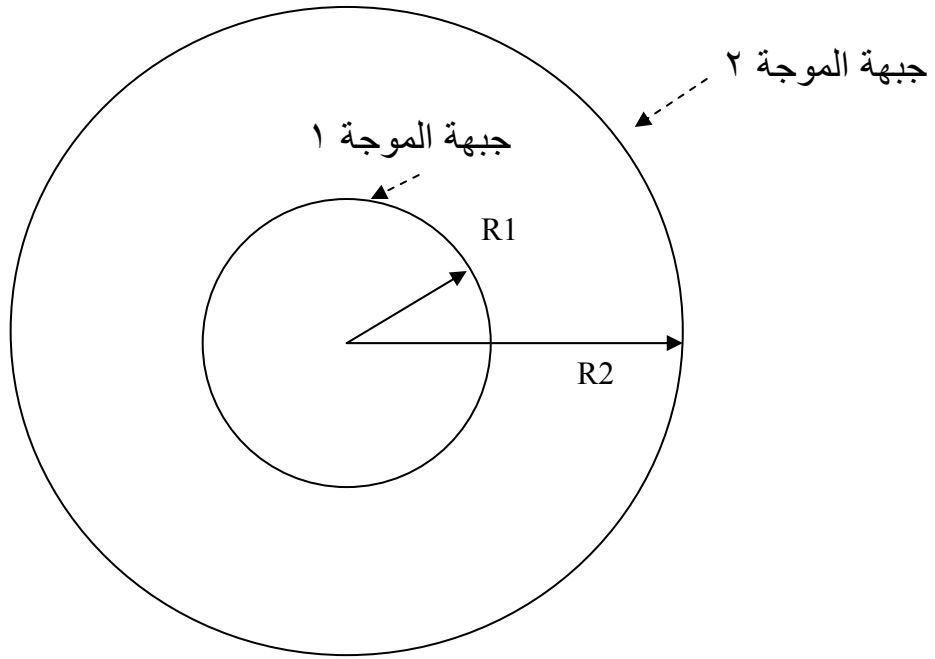
$$P_{d2} = P_t / 4\pi R_2^2$$

من العلاقاتين السابقتين يمكن استنتاج قانون التربيع العكسي:

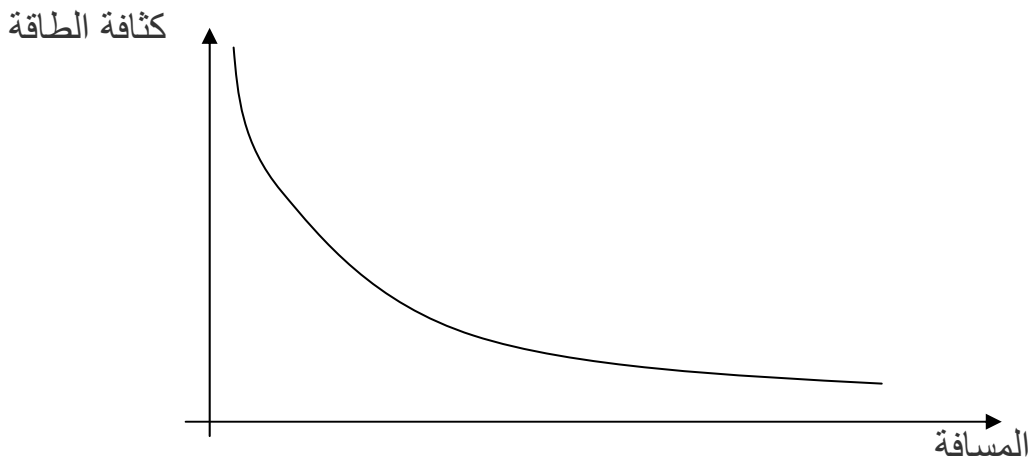
$$P_{d1} / P_{d2} = (R_2 / R_1)^2$$

من العلاقات السابقة يتضح لنا أنه كلما زادت المسافة بعداً عن مصدر توليد الطاقة فإن كثافة

الطاقة تقل بصورة كبيرة متناسبة عكسياً مع مربع المسافة كما في الشكل ١ - ٥



الشكل ١- ٤ الموجات الكروية الناتجة من مصدر يوزع الطاقة في جميع الاتجاهات بالتساوي



الشكل ١- ٥ علاقة كثافة الطاقة بالمسافة



مثال ١ - ٢

أوجد كثافة الطاقة الناتجة عن هوائي يوزع الطاقة في جميع الاتجاهات بالتساوي عند مسافة ١ و ١٠ أمتار من هذا الهوائي وذلك إذا كانت الطاقة الكلية الخارجة من الهوائي تساوي ١٠٠ وات.

الحل:

$$P_{d1} = P_t / 4\pi R1^2$$

$$= 100 / (4\pi \times 1^2) \text{ w/ m}^2$$

$$P_{d2} = P_t / 4\pi R2^2$$

$$= 100 / (4\pi \times 10^2) \text{ w/ m}^2$$

١ - ٧ الاستقطاب

Polarization

يحدد **الاستقطاب** للموجات الكهرومغناطيسية بطبيعة و شكل مركبة المجال الكهربائي الموجود في الموجة حيث يحدد الشكل الذي يرسمه المجال الكهربائي في الموجة أثناء انتشارها نوعية **الاستقطاب**. لذلك فإنه توجد ثلاثة أنواع رئيسية من **الاستقطاب**:

أ- **الاستقطاب الخطي**:

Linear polarization

و فيها يرسم المجال الكهربائي خطاً أثناء انتشار الموجة وبناء على اتجاه الخط بالنسبة لاتجاه الانتشار فإن **الإستقطاب الخطي** ينقسم إلى نوعين (شكل ١ - ٦):

- **الاستقطاب الخطي الأفقي**:

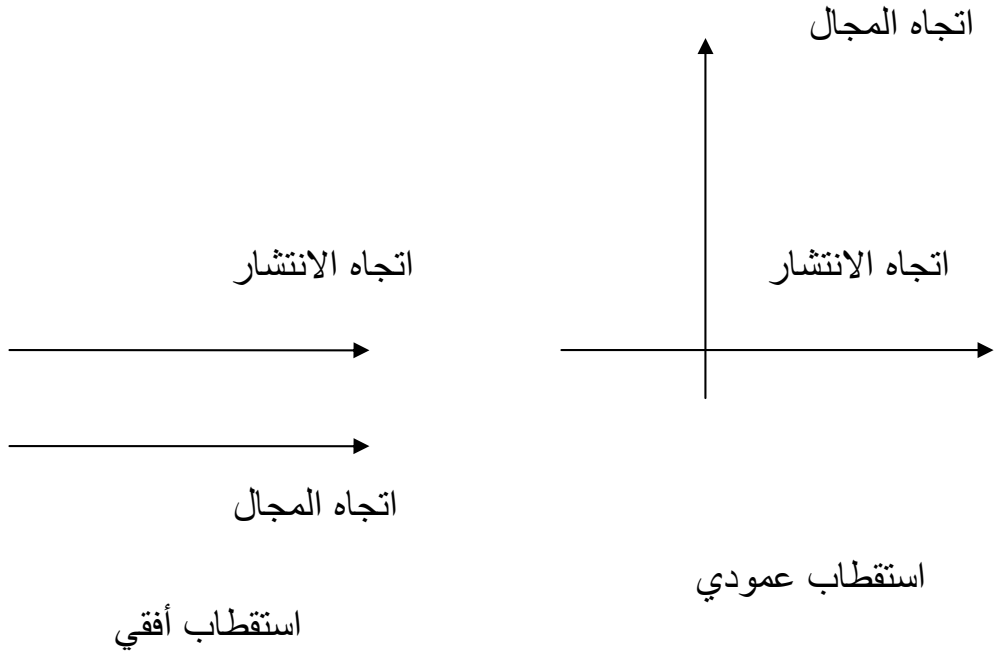
Horizontal polarization

ويكون فيها الخط الذي يرسمه المجال الكهربائي موازياً لاتجاه انتشار الموجة

- **الاستقطاب الخطي الرأسي**:

Vertical polarization

ويكون فيها الخط الذي يرسمه المجال الكهربائي عمودياً لاتجاه انتشار الموجة



الشكل ١ - ٦ الاستقطاب الخطي

ب-

الاستقطاب الدائري:

Circular polarization

و فيها يرسم المجال الكهربائي دائرة أثناء انتشار الموجة وبناء على اتجاه رسم الدائرة بالنسبة لاتجاه الانتشار فان الاستقطاب الدائري ينقسم إلى نوعين (شكل ١ - ٧):

- الاستقطاب الدائري اليميني:

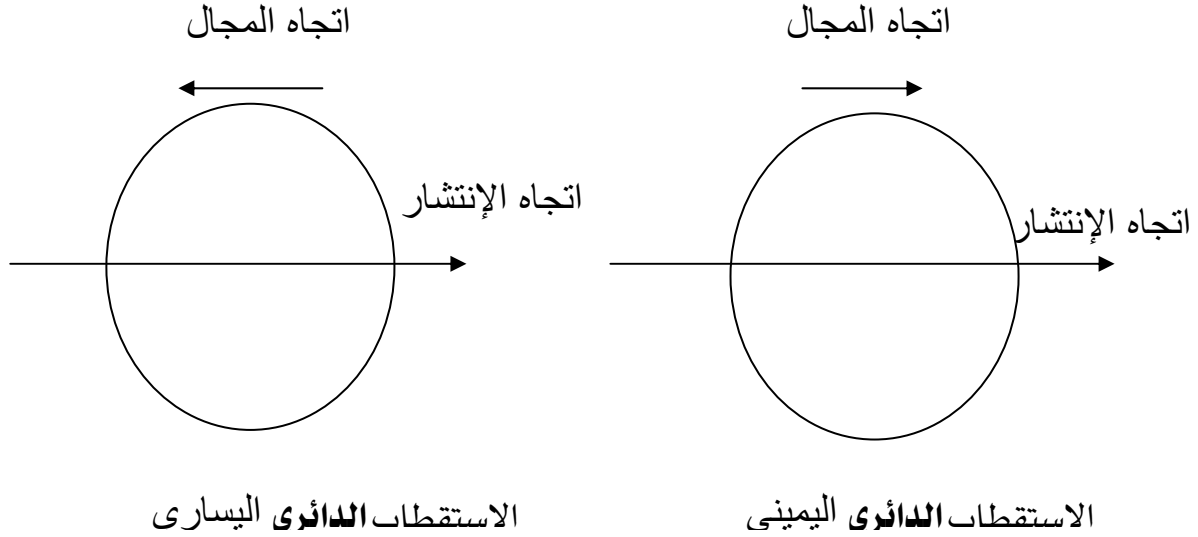
Right Circular polarization

و فيها يدور المجال الكهربائي في اتجاه عقارب الساعة ليرسم الدائرة المتعامدة على اتجاه الانتشار

- الاستقطاب الدائري اليساري:

Left Circular polarization

و فيها يدور المجال الكهربائي في عكس اتجاه عقارب الساعة ليرسم الدائرة المتعامدة على اتجاه الانتشار



الشكل ١ - ٧ الإستقطاب الدائري

ت-

الاستقطاب البيضاوي:

Elliptical polarization

و فيها يرسم المجال الكهربائي شكلاً بيضوياً أثناء انتشار الموجة وبناءً على اتجاه رسم الشكل البيضاوي بالنسبة لاتجاه الانتشار فإن الإستقطاب **البيضاوي** ينقسم إلى نوعين (الشكل ١ - ٨):

- الاستقطاب البيضاوي اليميني:

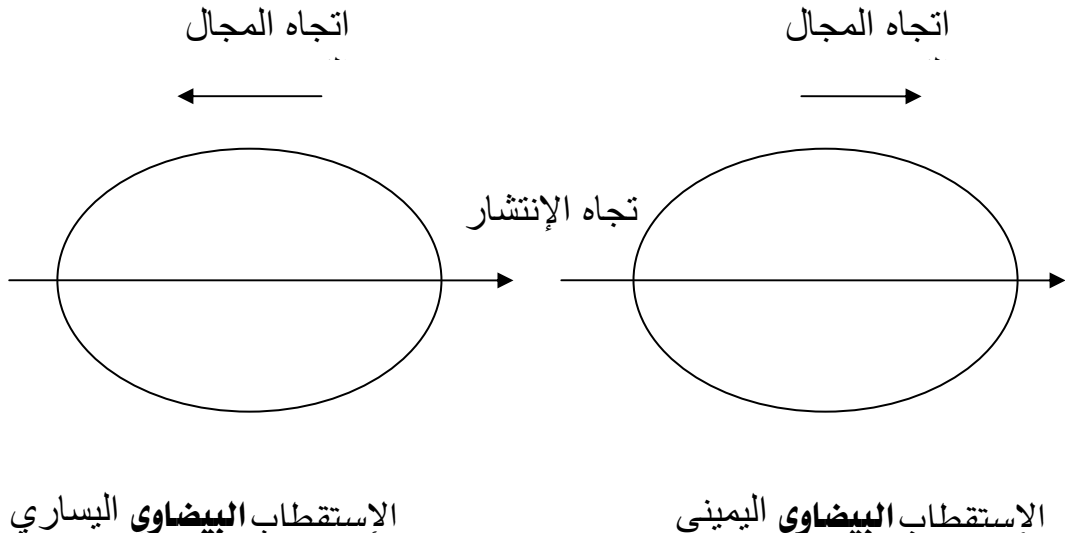
Right Elliptical polarization

و فيها يدور المجال الكهربائي في اتجاه عقارب الساعة ليرسم الشكل البيضاوي المتعامد على اتجاه الانتشار

- الاستقطاب البيضاوي اليساري:

Left Elliptical polarization

و فيها يدور المجال الكهربائي في عكس اتجاه عقارب الساعة ليرسم الشكل البيضاوي المتعامد على اتجاه الانتشار



شكل ٨ - ١ الاستقطاب البيضاوي

## ٨ - ١ الخصائص الكهربائية لوسط الانتشار

The electrical properties of the transmission medium

توجد خصائص كهربية عديدة لوسط الانتشار سنعرض لأهمها و هي:

أ- السماحية (ε) Permittivity

لكل مادة ثابت معين يحدد قيمة هذه السماحية وهذا الثابت يساوي:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

حيث:

$\epsilon_0$ : السماحية المطلقة و تساوي

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= 8.85 \times 10^{-12} \\ &= (1/36\pi) \times 10^{-9} \end{aligned}$$

$\epsilon_r$ : السماحية النسبية و هي تختلف من وسط إلى وسط وتساوي واحداً للفراغ

ب- النفاذية ( $\mu$ ) M Permeability

لكل مادة ثابت معين يحدد قيمة هذه النفاذية وهذا الثابت يساوي:

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

حيث:

$\mu_0$ : النفاذية المطلقة و تساوي

$$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$$

$\mu_r$ : النفاذية النسبية و هي تختلف من وسط إلى وسط وتساوي واحداً للمواد غير

المغناطيسية

ت- التوصيلية (Conductivity ( $\sigma$ ))

هذا الثابت يحدد قدرة الأوساط على توصيل الطاقة الكهربائية و توجد جداول

تحدد قيمة هذا الثابت للمواد المختلفة

## ٩ -١ الخصائص الضوئية للموجات الكهرومغناطيسية

Optical properties of electromagnetic waves

عندما تنتقل و تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الأوساط المختلفة كهربياً فإنها قد تعاني مما

يعاني منه الضوء عند انتقاله في الأوساط المختلفة. فقد يحدث لهذه الموجات:

أ- انكسار Refraction

ب- انعكاس Reflection

ت- تشتت Diffraction

ث- تداخل Interference

أما إذا كانت هذه الأوساط لها نفس الخصائص الكهربائية فإن هذه الموجات لن تعاني من

الظواهر السابقة.

## أ- الانكسار Refraction

الانكسار للموجات الكهرومغناطيسية هو تغير اتجاه الشعاع الساقط مائلاً من وسط على وسط آخر له خصائص كهربية تختلف عن الوسط الأول. في الشكل ٩ - ١ نرى أنه توجد موجة ساقطة من الوسط الأول الذي له معامل انكسار يختلف عن الوسط الثاني. وترتبط الموجة الساقطة في الوسط الأول بالموجة المنكسرة في الوسط الثاني بقانون سنل الثاني:

$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t)$$

حيث:

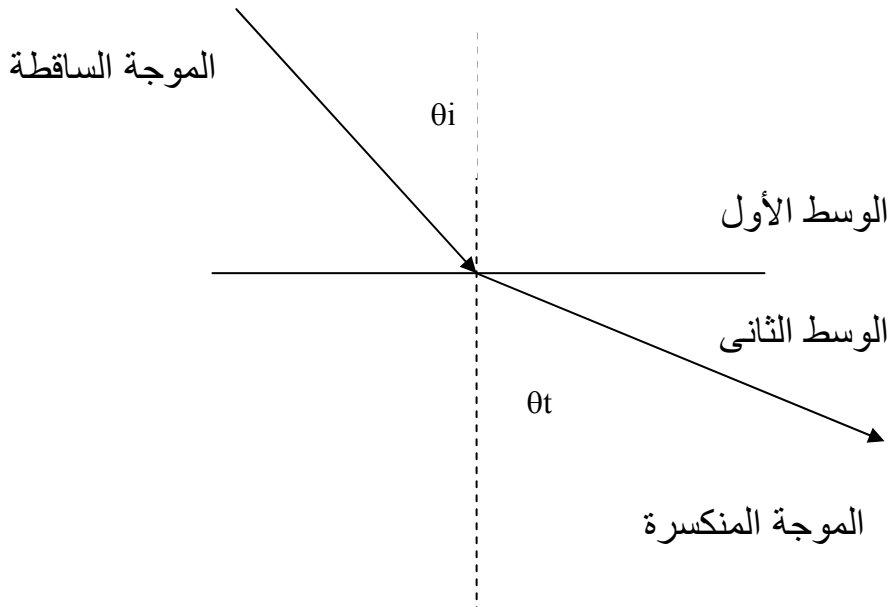
$\theta_i$  : زاوية السقوط

$\theta_t$  : زاوية الانكسار

$n_1$  : معامل انكسار الوسط الأول

$n_2$  : معامل انكسار الوسط الثاني

يبين الشكل ٩ - ١ أن الموجة الساقطة لها زاوية سقوط  $\theta_i$  وكذلك الموجة المنكسرة لها زاوية انكسار  $\theta_t$ .



الشكل ٩ - ١ انكسار الموجة الساقطة على حد فاصل بين وسطين

مثال ١ - ٣

تسقط موجة كهرومغناطيسية بزاوية ٤٥ درجة على سطح يفصل وسطين. أوجد زاوية الانكسار إذا كان معامل انعكاس الوسط الأول = ١ و معامل انعكاس الوسط الثاني = ٢ .  
الحل:

$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t)$$

$$1 \sin(45) = 2 \sin(\theta_t)$$

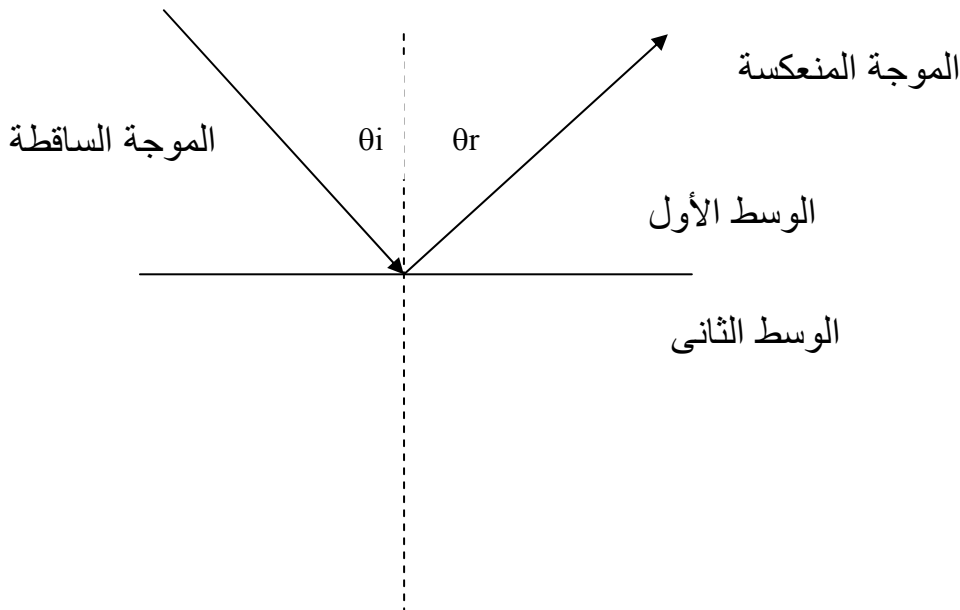
$$\sin(\theta_t) = 0.5 \sin(45) = 0.5 (0.707) = 0.3535$$

$$\theta_t = \sin^{-1}(0.3535) = 20.7^\circ$$

ب- الانعكاس Reflection

الانعكاس هو أن تغير الموجة الكهرومغناطيسية اتجاهها في نفس الوسط نتيجة سقوطها على حد فاصل يفصل هذا الوسط عن وسط آخر يختلف معه في الخصائص الكهربائية كما في الشكل ١ - ١٠. وينتج ذلك عن أن جزءاً من الطاقة الساقطة لا ينتقل إلى الوسط الثاني ولكنه يرتد في الوسط الأول. وترتبط الزاوية التي تسقط بها الموجة مع تلك التي تنعكس بها بقانون سنل الأول الذي ينص على أن زاوية السقوط تساوي دائماً زاوية الانعكاس.

$$\theta_i = \theta_r$$



الشكل ١ - ١٠ انعكاس الموجة الساقطة على حد فاصل بين وسطين

مثال ١ - ٤

تسقط موجة كهرومغناطيسية بزاوية ٤٥ درجة على سطح يفصل وسطين. أوجد زاوية الانعكاس إذا كان معامل انعكاس الوسط الأول = ١ و معامل انعكاس الوسط الثاني = ٢ .  
الحل:

$$\theta_i = \theta_r$$

$$\theta_r = 45^\circ$$

ت- التشتت Diffraction

التشتت يحدث للموجات الكهرومغناطيسية عندما تسقط هذه الموجات على أجسام لها أبعاد مساوية أو أكبر من طولها الموجي. فمثلا الموجة الكهرومغناطيسية التي لها تردد ١ ميغا هرتز يكون الطول الموجي لها:

$$\lambda = 3 \times 10^8 / 1 \times 10^6 = 300 \text{ m}$$

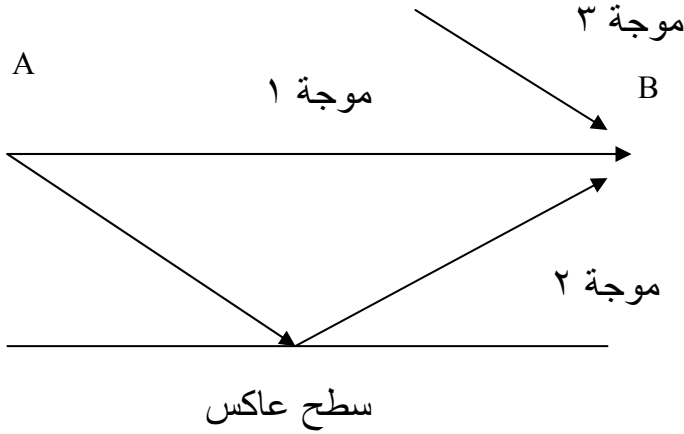
هذه الموجة تشتت نتيجة وجود أجسام لها أبعاد أكبر من ٣٠٠ م.

كلما إرتفع التردد فإن الطول الموجي يقل مما يجعل الأجسام التي لها أبعاد أصغر تسبب تشتتاً للموجات الكهرومغناطيسية العالية التردد لذلك فإن الموجات البصرية (Optical waves) لا تصلح للاتصالات اللاسلكية لأن الطول الموجي لها يكون مقارب لأبعاد الذرات و حبات المطر التي قد تكون متعلقة بالهواء مما يسبب تشتتاً قويا لهذه الموجات.

ث- التداخل Interference

التداخل هو اختلاط موجتين أو أكثر وينتج ذلك موجة كلية كخليط من هذه الموجات ويصعب فصل الموجات المختلطة. و يحدث التداخل بين الموجات الكهرومغناطيسية عندما تتواجد موجتان أو أكثر في نفس المكان والزمان و يكون ترددهما متقارباً و لهما نفس الاستقطاب كما في الشكل ١ - ١١.





الشكل ١ - ١١ التداخل بين ثلاث موجات عند النقطة B

#### ١٠ - ١ طرق انتشار الموجات

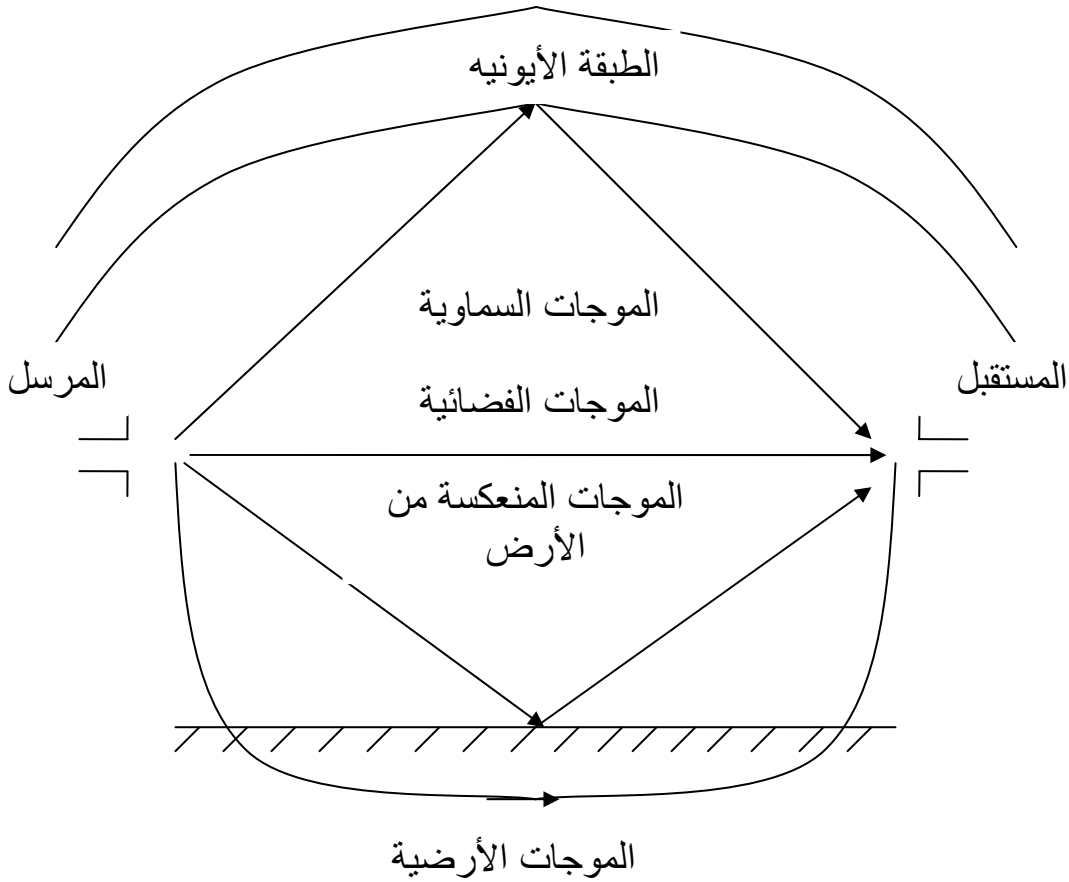
توجد طرق عديدة يمكن أن تنتشر بها الموجات الكهرومغناطيسية ويعتمد ذلك على نظام الاتصالات و طبيعة وسط الانتشار. و بناء على ذلك فإنه يمكن تصنيف الموجات إلى ثلاثة أنواع وهي:

الموجات الأرضية Ground waves

الموجات الفضائية Space waves

الموجات السماوية Sky waves

و الشكل ١ - ١٢ يبين الأنماط الثلاثة السابقة الذكر والتي يمكن أن تنتشر بها الموجات بين محطتي إرسال و استقبال لاسلكية.



الشكل ١ - ١٢ الأنماط المختلفة لطرق انتشار الموجات

الموجات الأرضية تستخدم في نطاق الموجات المنخفضة التردد و المنخفضة جداً (LF, VLF) وذلك لأن الفقد الذي يسببه وسط الانتشار (الأرض) في طاقة الموجات الكهرومغناطيسية حتى هذا التردد يكون مقبولاً. كلما زاد تردد الموجات فإن الفقد الذي تسببه الأرض يزداد مما يجعل الموجات عالية التردد غير مناسبة لاستخدامها كموجات أرضية.

الموجات الفضائية تستخدم في نطاق الموجات العالية جداً للتردد و الأعلى من ذلك (VHF

and above)

الموجات السماوية تستخدم في نطاق الموجات عالية التردد (HF)

#### أ - الموجات الأرضية Ground waves

الموجات الأرضية هي الموجات الكهرومغناطيسية التي تستخدم القشرة الأرضية كوسط انتشار لذلك فإنها في بعض الأحيان تسمى الموجات السطحية (Surface waves)

ويجب أن تكون الموجات الأرضية محققة للخصائص التالية:

- ١- أن يكون لها اسنقطاب خطي رأسي : وذلك ليكون الفقد في الموجة أقل ما يمكن لأنه في حالة الاستقطاب الخطي الأفقي يكون المجال الكهربائي موازياً لسطح الأرض مما يزيد من الفقد.
- ٢- أن لا يزيد التردد عن المسموح به حتى لايزداد الفقد لذلك فإن هذه الموجات محدودة إلى حد كبير في الموجات ذات التردد المنخفض و المنخفض جداً (LF, VLF)

الموجات الأرضية لها استخدامات عديدة في مجالات الاتصالات البحرية و الاستكشافات الأرضية.

وتتميز هذه الموجات بالآتي:

- ١- أنها يمكن أن تستخدم للاتصال بين أي نقطتين على سطح الأرض لو توفرت الطاقة الكافية
  - ٢- لا تتأثر نسبياً بالتغيرات الجوية
- عيوب هذه الموجات:
- ١- تحتاج طاقة إرسال عالية
  - ٢- ترددها منخفض مما يؤدي إلى كبر حجم منظومة الاتصالات
  - ٣- معدلات الفقد في الموجة تتغير بتغير نوع التربة

## ب- الموجات الفضائية Space waves

تتكون الموجات الفضائية من شقين:

### ١- الموجات المباشرة (Direct waves)

و هي التي تنطلق من المرسل لتصل إلى المستقبل مباشرة و هي تمثل أكثر من ٩٠٪ من الموجات الفضائية وهذه الموجات تحدها طبيعة انحناء الأرض في المنطقة بين المرسل و المستقبل.

### ٢- الموجات المنعكسة من الأرض (Ground reflected waves)

وهي جزء من الموجات المنتشرة من المرسل والساقطة على الأرض لتنعكس في اتجاه المستقبل ، مباشرة و هي تمثل أقل من ١٠٪ من الموجات الفضائية.

المسافة بين المرسل والمستقبل لهذه الموجات تحددها طبيعة انحناء الأرض (خط النظر Direct path) ولهذا فإن المسافة بينهما تتراوح ما بين ٣٦ إلى ٤٠ كم. ويمكن زيادة هذه المسافة بزيادة ارتفاع الأبراج التي يثبت عليها كل من هوائي المرسل والمستقبل أو تثبيت الهوائيات على الأماكن المرتفعة سواء أكانت صناعية أم طبيعية.

وقد وجد أن المسافة بين الأبراج ترتبط بارتفاعها بالعلاقة الآتية:

$$d = 4 (ht)^{1/2} + 4 (hr)^{1/2}$$

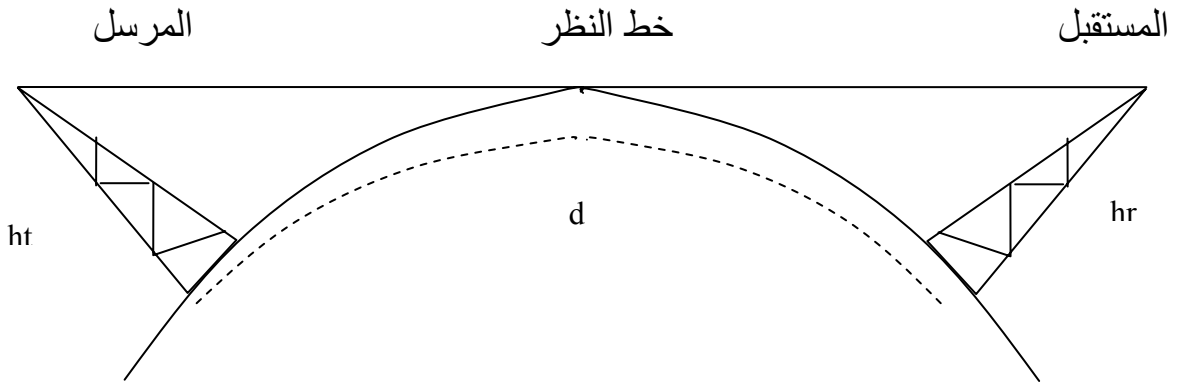
حيث:

d : المسافة بين الأبراج بالكيلومتر

ht : ارتفاع هوائي المرسل بالمتري

hr : ارتفاع هوائي المرسل بالمتري

والشكل ١- ١٣ يبين هذه العلاقة.



الشكل ١- ١٣ الموجات الفضائية

مثال ١ - ٥

أوجد أبعد مسافة ممكنة بين هوائي مرسل و مستقبل ارتفاع كل منهما ١٠٠ م.

الحل:

$$\begin{aligned} d &= 4 (ht)^{1/2} + 4 (hr)^{1/2} \\ &= 4 (100)^{1/2} + 4 (100)^{1/2} \\ &= 40 + 40 = 80 \text{ km} \end{aligned}$$

هذا المثال يؤكد على أنه كلما زاد ارتفاع الهوائيات فإن المسافة بينهما يمكن أن تزداد.

### ت- الموجات السماوية Sky waves

الموجات السماوية هي تلك الموجات التي يكون اتجاه انتشارها (شعاعها) في اتجاه السماء حيث تنعكس أو تنكسر متجهة إلى الخلف في اتجاه الأرض وذلك بواسطة طبقة عاكسة في السماء تسمى الطبقة الأيونية (Ionosphere Layer)،

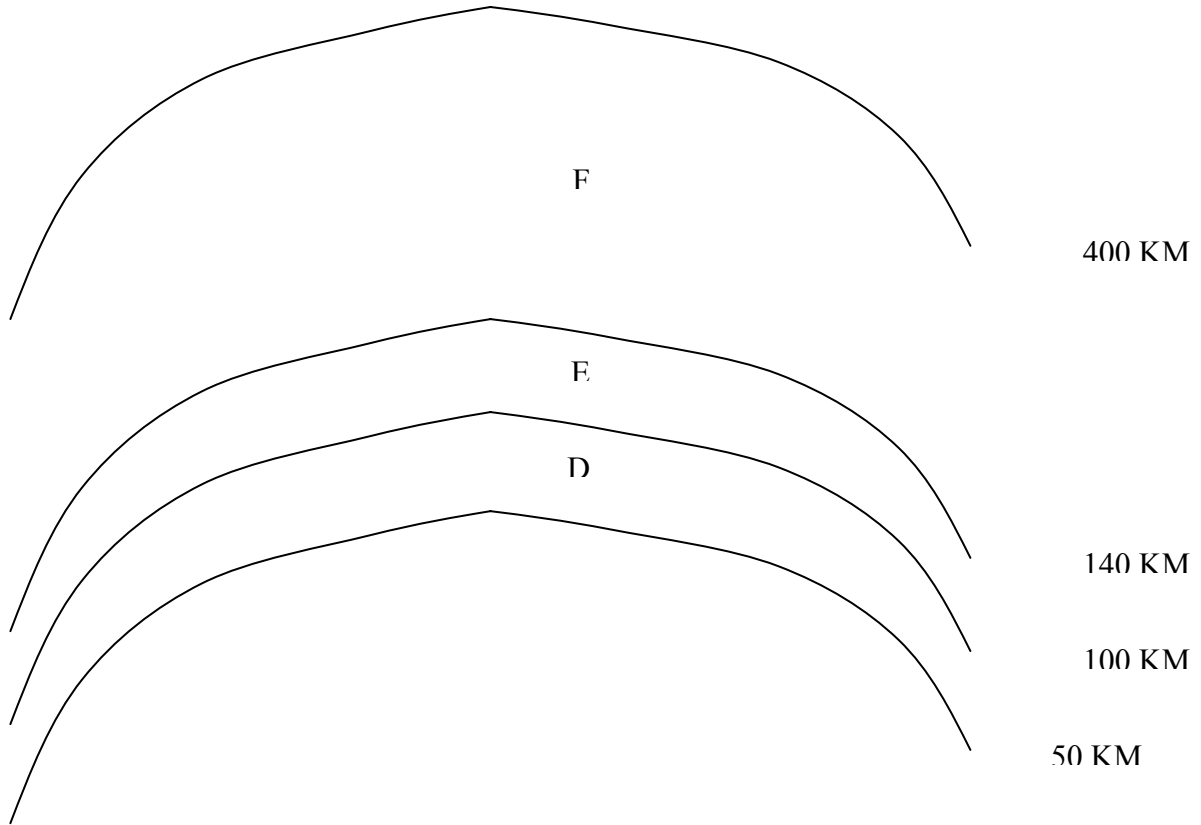
الطبقة الأيونية تتواجد فوق سطح الأرض من ارتفاع ٥٠ كم حتى ٤٠٠ كم أي أن لها سمكاً ٣٥٠ كم. و تتكون هذه الطبقة نتيجة مرور أشعة الشمس خلالها و فقدان هذه الأشعة لجزء من طاقتها. الطاقة المفقودة تنتقل إلى ذرات هذه الطبقة مما يجعلها تفقد جزءاً من إلكتروناتها وهذه الإلكترونات تصبح إلكترونات حرة. تكون الإلكترونات الحرة سحابة خلال الطبقة الأيونية و تزداد كثافة الإلكترونات كلما ارتفعنا خلال هذه الطبقة. كلما زادت كثافة الإلكترونات زادت قدرة الطبقة على عكس موجات كهرومغناطيسية ذات تردد أعلى.

تنقسم الطبقة الأيونية إلى ثلاث طبقات رئيسية كما هو موضح في الشكل ١ - ١٤:

أ- طبقة D

ب- طبقة E

ت- طبقة F



الشكل ١ - ١٤ الطبقات الأيونية

طبقة D تحتل المنطقة الأولى في الطبقة الأيونية و ذلك من ارتفاع ٥٠ كم إلى ١٠٠ كم، و هذه الطبقة تتميز بأن كثافة الإليكترونات فيها أقل ما يمكن و لهذا فإنها تعكس الموجات المنخفضة التردد و المنخفضة جدا (VLF, LF) و الموجات التي لها ترددات أعلى من ذلك فإنها تمر خلال طبقة D و لا تتعكس. أيضا من خصائص هذه الطبقة أنها تختفي تماما ليلاً.

طبقة E تحتل المنطقة الثانية في الطبقة الأيونية و ذلك من ارتفاع ١٠٠ كم إلى ١٤٠ كم، و هذه الطبقة تتميز بأن كثافة الإليكترونات فيها متوسطة و لهذا فإنها تعكس الموجات المتوسطة التردد (MF) و الموجات التي لها ترددات أعلى من ذلك فإنها تمر خلال طبقة E و لا تنعكس. أيضا من خصائص هذه الطبقة أنها تختفي تماما ليلاً.

طبقة F تحتل المنطقة الثانية في الطبقة الأيونية و ذلك من ارتفاع ١٤٠ كم إلى ٤٠٠ كم، و هذه الطبقة تتميز بأن كثافة الإلكترونات فيها عالية و لهذا فإنها تعكس الموجات المتوسطة و المرتفعة التردد (HF, VHF) و الموجات التي لها ترددات أعلى من ذلك فإنها تمر خلال طبقة F و لا تنعكس. أيضاً من خصائص هذه الطبقة أنها تختفي جزئياً ليلاً.

من السابق يتضح أن الموجات السماوية شديدة التأثير بالأحوال الجوية خلال اليوم الواحد من ليل و نهار و أيضاً خلال العام من صيف و شتاء. و مما هو جدير بالذكر أن دراسة هذه الموجات كانت المدخل إلى علم الأقمار الصناعية التي تقوم بإرسال الموجات الكهرومغناطيسية إليها لتعيد هي نشرها ثانية إلى الأرض في الاتجاهات المطلوبة و هذه الأقمار تستخدم موجات لها ترددات في نطاق موجات المايكروويف (Microwaves) التي لا تتأثر بالطبقة الأيونية أثناء مرورها خلالها.

#### ١ - ١١ التردد الحرج (Critical Frequency) و الزاوية الحرجة (Critical Angle)

لكل طبقة عاكسة تردد حرج و زاوية حرجة.

التردد الحرج لطبقة ما هو أعلى تردد ينعكس من هذه الطبقة و التردد الأعلى منه مباشرة يمر و لا ينعكس مع ثبات زاوية السقوط.

فمثلاً :

طبقة D التردد الحرج لها هو أعلى تردد في نطاق LF

طبقة E التردد الحرج لها هو أعلى تردد في نطاق MF

طبقة F التردد الحرج لها هو أعلى تردد في نطاق HF

الزاوية الحرجة لطبقة ما هي أكبر زاوية تنعكس عندها الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة على هذه الطبقة و الزاوية الأعلى منها مباشرة تمرر الموجات و لا تعكسها مع ثبات تردد الموجات الساقطة.

## أسئلة

- ١- مم تتكون الموجة الكهرومغناطيسية؟
- ٢- ما السرعة التي تتحرك بها الموجات الكهرومغناطيسية و هل تتأثر بطبيعة وسط الانتشار؟
- ٣- ما العلاقة بين الطول الموجي و تردد الإشارة؟
- ٤- ما المقصود بالشعاع في الموجات؟
- ٥- ما المقصود بجهة الموجة؟
- ٦- ما الموجة المستوية؟
- ٧- ما الموجة الكروية؟
- ٨- ما قانون التريبع العكسي؟



٩- ما أنواع القطبية؟

١٠- ما الذي يحدد نوع القطبية؟

١١- ما الخصائص الكهربية لوسط الانتشار؟

١٢- ما المشاكل التي قد تعانيها الموجة أثناء انتقالها من وسط إلى وسط آخر يختلف في الخصائص الكهربية؟

١٣- ما قانون سنل الأول وماذا يربط؟

١٤- ما قانون سنل الثاني وماذا يربط؟

١٥- متى يحدث التشتت؟

١٦- متى يحدث التداخل؟

١٧- ما الطرق المختلفة التي يمكن أن تنتشر بها الموجات؟

١٨- فيم تستخدم الموجات الأرضية؟

١٩- ما خصائص الموجات الأرضية؟

٢٠- ما مميزات الموجات الأرضية؟

٢١- ما عيوب الموجات الأرضية؟

٢٢- فيم تستخدم الموجات الفضائية؟

٢٣- مم تتكون الموجات الفضائية؟

٢٤- ما مميزات الموجات الأرضية؟

٢٥- كيف يمكن زيادة المسافة بين هوائي المرسل و المستقبل؟

٢٦- ما الموجات السماوية؟

٢٧- ما طبقة D و ما أعلى تردد ينعكس منها؟

٢٨- ما طبقة E و ما أعلى تردد ينعكس منها؟

٢٩- ما طبقة F و ما أعلى تردد ينعكس منها؟

٣٠- ما التردد الحرج؟

٣١- ما الزاوية الحرجة؟