جامعة الانبار

كلية التربية الاساسية /حديثة

قسم العلوم العامة /فرع الفيزياء

المرحلة الثانية

محاضرات

البصريات الفيزيائية

اعداد

م.م. سعد العنزي

20120-2019

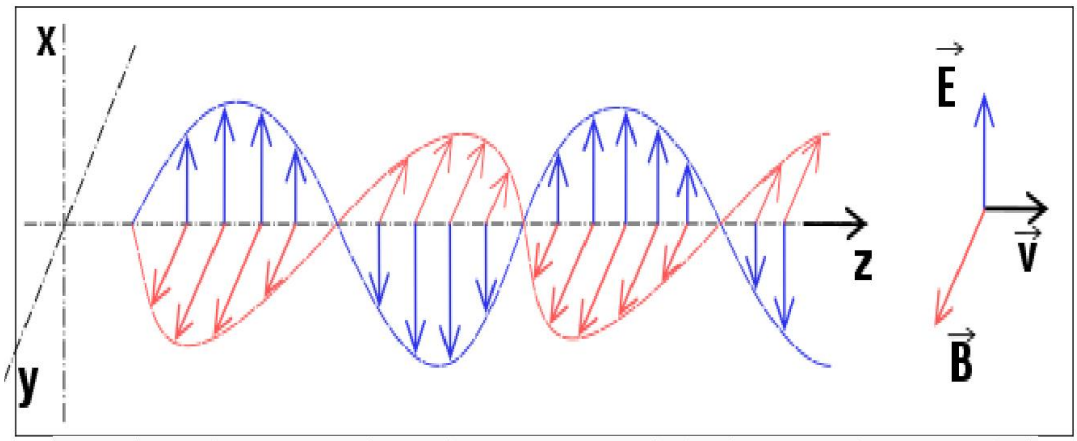
1. المقدمة (Introduction)

قديماً، قبل القرن التاسع عشر، كان التفكير في الضوء على أنه سيل من الجسيمات التي إما تصدر من العين، أو من الجسم الذي ننظر إليه. قاد فكرة أن الضوء عبارة عن جسيمات تنطلق من الأجسام التي نراها العالم إسحاق نيوتن(Isak Newton)، واستخدم هذه الفكرة لتفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار. بقي القبول لدى العلماء لفرض نيوتن سيد الموقف حتى عام 1678م. حيث اقترح الفيزيائي والفلكي الهولندي هوغنز (Huygens) أن الضوء عبارة عن نوع من الأمواج، وتمكنت النظرية الموجية لهوغنز من تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار للضوء. وفي عام 1801م تمكن العالم ثوماس يونغ (Thomas Young) من إثبات أن الضوء موجة، عن طريق جعل الضوء يتداخل، الأمر الذي سوف يؤدي إلى انخفاض شدة الضوء (أو اختفائه بالكامل)، أو زيادة شدة الضوء (أو تضاعف شدته) هاتين الظاهرتين يعرفان بالتداخل الهدام والتداخل البناء على الترتيب. ثم لحق ذلك نشر ماكسويل (Maxwell) لعمله في الكهربائية والمغناطيسية في عام 1873 م الذي دعم أيضاً النظرية الموجية للضوء. تمكنت النظرية الموجية للضوء من تفسير معظم الظواهر الضوئية، إلا أنها فشلت في تفسير بعض الظواهر، مثل الظاهرة الكهروضوئية (Photoelectric Effect)، الظاهرة التي نرى من خلالها انطلاق إلكترون من سطح المعدن عند تسليط ضوء عليه، وكان فشل النظرية الموجية للضوء يكمن في أن الطاقة الحركية لكل إلكترون لا تعتمد على شدة الضوء الساقط، وإنما على تردده، بينما يعتمد عدد الإلكترونات المنبعثة من سطح المعدن على شدة الضوء الساقط على هذا المعدن. تمكن العالم ألبرت آينشتاين ((Albert Einstein) من تفسير هذه الظاهرة عام 1905م مستعيناً بمفهوم تكميم الطاقة الذي وضعه العالم ماكس بلانك، وكنتيجة لتفسيره لهذه الظاهرة حاز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921م. للإجابة عن ماهية الضوء، يمكن القول إنّ الضوء يُظهر سلوكاً موجياً في بعض الأحيان، وفي أحيان أخرى يُظهر سلوكاً خاصاً بالأجسام.

عادةً ما تُستخدَم كلمة ضوء للتعبير عن الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يمثل جزءاً ضيقاً من كامل الطيف الكهرومغناطيسي؛ هذا الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي هو الجزء الذي يمكن للعين البشرية أن تدركه، وهو يتراوح بين الطول الموجي (700 nm) للضوء الأحمر والطول الموجي (400 nm) للضوء البنفسجيّ، وكل ما ينطبق على الطيف الكهرومغناطيسي من قوانين ينطبق أيضاً على هذا الجزء، وعلى الأرض تُعدّ الشمس أكبر مصدر للطيف الكهرومغناطيسي كاملاً، وبهذا يمكن استغلال ضوء الشمس في العديد من نشاطات الحياة اليومية.

2. طبيعة الضوء (Nature of Light)

يبدأ النموذج البسيط لموجة الضوء بشعاع (خط مستقيم) يوضح اتجاه انتقال الضوء. وتمثل الأسهم القصيرة التي على طول الشعاع، والمتعامدة (زاوية قائمة) عليه، المجال الكهربائي. وتشير بعض الأسهم إلى الأعلى من الشعاع والأسهم الأخرى تشير إلى الأسفل منه. وهي تختلف في الطول، لذلك فإن النمط الكلي لرؤوس الأسهم يُشْبه الموجة والأسهم التي تمثل المجال المغناطيسي هي أيضًا تشبه الموجة ولكن هذه الأسهم تصنع زاوية قائمة مع الأسهم التي تمثل المجال الكهربائي (الشكل (1)). وهذا النمط يتحرك خلال الشعاع وهو الضوء. أثبتت التجارب في بداية القرن العشرين أن العلماء في النهاية تركوا فكرة الأثير القديمة. وأدركوا أن موجة الضوء، بوصفها نمطًا منتظمًا من المجالات الكهربائية والمغنطيسية، يمكن أن تنتقل عبر الفضاء.

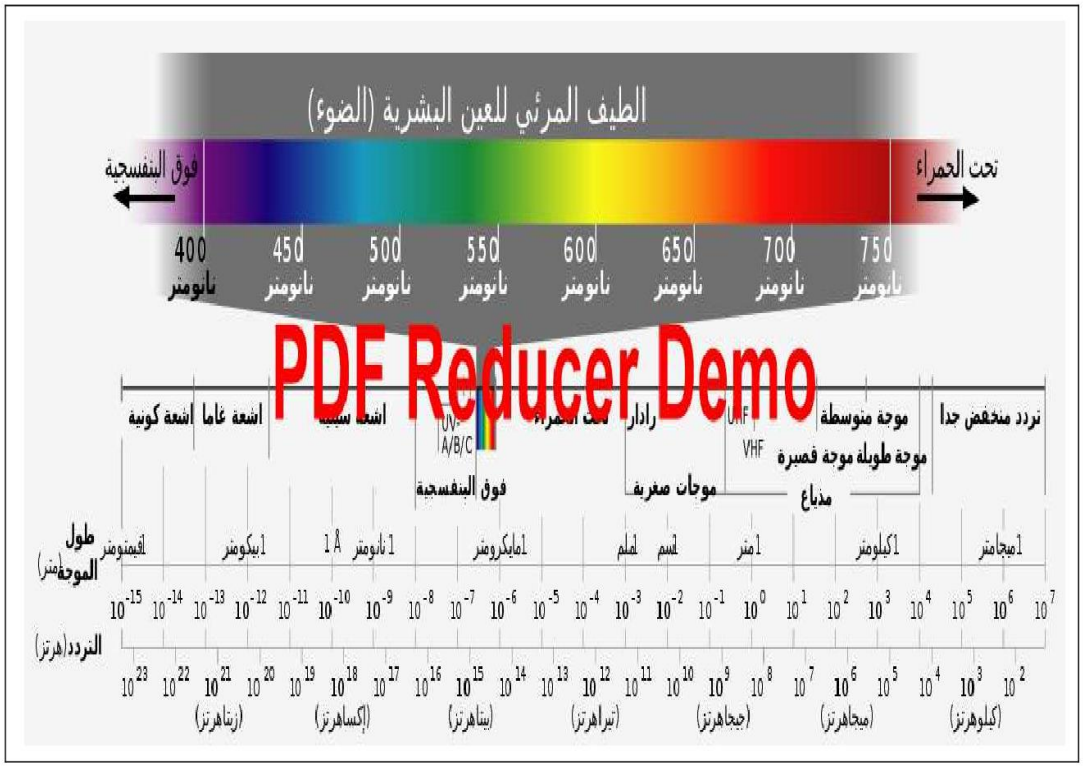


الشكل (1) : موجة يتغير فيها المجال الكهربي E متعامدا على موجة يتغير فيها مجال مغناطيسي B وتنتشر الموجة في الاتجاه Z العمودي على المستوي الذي يتغير فيه المجالان

3. الطيف الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Spectrum)

يعتبر الضوء المرئي إشعاع كهرومغناطيسي ينتج من أي مصدر تنتقل فيه الالكترونات بين المدارات الذرية المختلفة فينتج فرق طاقة يولد الطاقة الضوئية ، وهو جزء من طيف واسع من الاشعاع الكهرومغناطيسي الذي يبدأ من الموجات الراديوية (ذات الطول الموجي الطويل والطاقة والتردد الواطئ) ، انتهاءا بالاشعة الكونية (ذات الطول الموجي القصير والطاقة والتردد العالي) . بينما يتكون الضوء المرئي من طيف جزئي خاص به يبدأ من الضوء الاحمر (ذو الطول الموجي الطويل والطاقة والتردد الواطئ) ، وينتهي بالضوء البنفسجي (ذو الطول الموجي القصير والطاقة والتردد العالي) كما في الشكل (2).

ان العين البشرية قادرة على تحسس الضوء المرئي فقط وتمييز الالوان المختلفة عن طريق مستقبلات خاصة في شبكية العين (العصيات والمخاريط) لتتحلل الالوان في الدماغ عن طريق العصب البصري. بينما لا يمكن للعين البشرية تحسس باقي الطيف الكهرومغناطيسي بسبب محدودية مدى تحسس الاطوال الموجية لها ، لكن هناك بعض الحيوانات يمكنها ان تتحسس بعض الطيف الكهرومغناطيسي فضلا عن الضوء المرئي.



الشكل (2) :الطيف الكهرومغناطيسي

4. سرعة الضوء (Speed of Light)

تعتبر سرعة الضوء في الفراغ أسرع شيء في الكون حسب احدث النظريات العلمية (النظرية النسبية لاينشتاين) وهي نفسها لكل الطيف الكهرومغناطيسي، وتختلف سرعة الضوء في الاوساط المختلفة نتيجة اختلاف الخواص البصرية لكل وسط ، وتحسب سرعة الضوء من خلال القانون التالي:

$$c = f\lambda \quad \dots\dots \quad (1)$$

حيث (c) هي سرعة الضوء في الفراغ وهي قيمة ثابتة ($3x10^8$ m/sec) ، (f) هو تردد الضوء (عدد ذبذبات الموجة الضوئية في وحدة الزمن ويقاس بالهيرتز (Hertz)) ، (λ) هو الطول الموجي (المسافة التي تقطعها الموجة الضوئية حتى تعيد نفسها بنفس النمط ويقاس بالمتر او أجزاء المتر) . تعتبر سرعة الضوء من الثوابت الفيزيائية المهمة التي تدخل في

كثير من العلاقات المهمة المتعلقة بالبصريات والطاقة وعلاقتها بالكتلة ولعل أهم هذه العلاقات هي معادلة تكافؤ الطاقة والكتلة لاينشتاين ($E = Mc^2$).

5. الفوتون (The Photon)

اقترح العالم الفيزيائي الألماني ألبرت أينشتاين في سنة 1905 نموذجًا للضوء، وهو مفيد تمامًا مثل النموذج الموجي. يتصرف الضوء في بعض التجارب كما لو أنه جسيمات، وتسمّي هذا النوع من الجسيمات الآن الفوتونات .وفي نموذج أينشتاين فإن شعاع الضوء هو المسار الذي يسلكه الفوتون. فمثلاً عندما يرسل المصباح شعاعًا من الضوء خلال غرفة مظلمة فإن شعاع الضوء يتألف من عدد كبير من الفوتونات، وكل واحد منها يسير في خط مستقيم. فهل الضوء موجات أو جسيمات؟ فيما يبدو، لا يمكن أن يكون النموذجان معًا، لأن النموذجين مختلفان تمامًا. وأفضل إجابة أن الضوء لا هذا ولا ذاك. ويتصرف الضوء في بعض التجارب كما لو أنه موجة، وفي بعضها الآخر كما لو أنه جسيمات. وللضوء في الفراغ سرعة واحدة، بعكس الأنواع الأخرى من الموجات، وهي أقصى سرعة ممكنة لأي شيء. ولا يفهم العلماء كنه هذه الحقيقة. والحقيقة التي تنص على أن الضوء في الفراغ يملك سرعة واحدة وهي واحدة من أسس النظرية النسبية لأينشتاين.

ان الفوتون هو جسيم متناهي في الصغر (كتلته السكونية تساوي صفر) له طاقة وزخم وترافقه موجة كهرومغناطيسية (حسب المفاهيم الحديثة) ، ويعتبر كم الطاقة الكهرومغناطيسية أي هو العنصر المكون لكل الطيف الكهرومغناطيسي فضلا على الضوء المرئي ، وتحسب طاقة الفوتون عن طريق العلاقة :

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \qquad \dots\dots (2)$$

6. معامل الانكسار (Refraction Index)

هي نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في هذا الوسط. وهو معامل يبين مدى تأثر المادة بالامواج الكهرومغناطيسية. ليس لمعامل الانكسار وحدة تميزه. كلما ازدادت الكثافة البصرية زاد معامل الانكسار للمادة. معامل الانكسار يعتمد على طول الموجة ويمكن مشاهدة ذلك في المنشور الزجاجي . ان زيادة معامل الانكسار يؤدي إلى نقصان سرعة الضوء c في الوسط.

على العموم، فإنّ معامل الانكسار غير ثابت ويعتمد على طول الموجة الكهرومغناطيسيّة. بالإضافة، فلبعض المواد يختلف معامل الانكسار وفق اتجاه تقدّم الموجة الكهرومغناطيسية في المادة.

معظم المواد ذات الشفافية للضوء المرئي لديها معاملات انكسار مابين (1-2)، والغازات عند الضغط الجوي القياسي لديها معامل انكسار مقارب للواحد بسبب كثافتها المنخفضة، تقريباً جميع الجوامد والسوائل لديها معامل انكسار أكبر من (1.3) ويستثنى من ذلك الهلام الهوائي. ان الماس من أعلى المواد في قيمة معامل الانكسار(2.42) . أعظم المواد البلاستيكية لديها معاملات انكسار

مابين (1.7 – 1.3)، ولكن بعض البوليمرات ذات معامل الانكسار الكبير تصل قيمة معامل انكسارها إلى (1.76) للأشعة تحت الحمراء . ان مفهوم معامل الانكسار هو مفهوم نسبي متعلق بالطول الموجي ، فتكون المادة شفافة (اي تسمح بمرور الاشعاع خلالها) لاطوال موجية معينه ، فنحن حين نتحدث عن الزجاج او البلاستك باعتبارها مواد شفافة نقصد للاطوال الموجية لضوء المرئي، بينما الجرمانيوم يعتبر غير شفاف في مدى الضوء المرئي ولدية معامل انكسار حوالي (4) ، في المقابل يكون الجرمانيوم شفاف لمدى الاشعة تحت الحمراء مما يجعله مادة مهمة لصناعة الخلايا الشمسية. يحسب معامل الانكسار من خلال العلاقة التالية :

$$n = \frac{c}{v} \qquad \dots\dots \ (3)$$

حيث (v) هي سرعة الضوء في الوسط.

7. جبهة الموجة ومبدأ هوغنز (Wave Front &Huygens Principle)

ان مفهوم جبهة الموجة يشير الى المحل الهندسي للنقاط التي لها نفس الطور (اي نفس نسق الحركة للموجة الكهرومغناطيسية). مثال على ذلك موجات الماء المتكونة عند سقوط حجر في بركة الماء الراكدة ، فتكون جبهة الموجة على شكل دوائر متحدة المركز يكون مركزها نقطة سقوط الحجر. لكن في الموجة الضوئية تكون الصورة اعقد من ذلك ، لكن لا بأس بهذا التشبيه اذا كان المصدر نقطي قريب فتنبعث موجات ذات شكل كروي (جبهة الموجة كروية)، اما اذا ابتعدنا عن المصدر فيقل تكور جبهة الموجة الى ان تكون مستوية (تقريبا) في المصادر البعيدة جدا (مثل الشمس).

يعتبر مبدأ هوغنز طريقة هندسية لايجاد شكل جبهة الموجة في لحظة زمنية ما اذا كان شكلها معلوم في لحظة اخرى . حيث افترض ان **كل نقطة في جبهة الموجة تعتبر مصدر لتوليد موجات ثانوية تنتشر خارج مراكزها وبنفس اتجاه الموجة الاصلية** . ان هذا المبدأ يسمح بتفسير عدة ظواهر فيزاوية مهمة مثل الانعكاس والانكسار .

8. مسائل الفصل الاول (Problems)

1) ما هي سرعة الضوء في الزجاج (معامل انكسار الزجاج 1.5) لطول موجي مقداره في الفراغ (500 nm) ، احسب ايضا الطول الموجي للضوء المستخدم في الزجاج .

a) Velocity of light in vacuum : $c = 3x10^8\ m/s$

Velocity of light in glass

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3x10^8}{1.5} = 2x10^8\ m/s$$

b) $n = \frac{c}{v} = \frac{f\lambda_0}{f\lambda_g} = \frac{\lambda_0}{\lambda_g}$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{500x10^{-9}m}{1.5} = 333.3x10^{-9}\ m$$

2) قطعة زجاجية سمكها (3 mm) ومعامل انكسارها (1.5) . وضعت بين شاشة ومصدر ضوئي ذي طول موجي (600 nm) (في الفراغ) . المسافة بين المصدر والشاشة هي (3 cm) . كم عدد الموجات الضوئية بين المصدر والشاشة ؟

Number of waves:

$$N = \frac{d}{\lambda} = \frac{d_0}{\lambda_0} + \frac{d_g}{\lambda_g} \qquad , \qquad \lambda_g = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$N = \frac{(30-3)x10^{-3}m}{600x10^{-9}m} + \frac{3x10^{-3}m}{\frac{600x10^{-9}m}{1.5}}$$

$$N = \frac{27x10^{-3}}{600x10^{-9}} + \frac{4.5x10^{-3}}{600x10^{-9}} = 52.5\ waves$$

3) اناء زجاجي عمقه (10 cm) مملوء بالكحول (n_{ch}=1.361) ، واناء اخر مماثل له يحتوي على طبقة من الماء (n_w=1.333) وطبقة اخرى طافية من الزيت (n_{oil}=1.473) ، بحث اصبح الاناء الثاني ممتلئ . عدد الموجات الضوئية النابعة من مصدر عمودي والمارة خلال الانائين هو نفس العدد . ما هو سمك طبقة الزيت؟

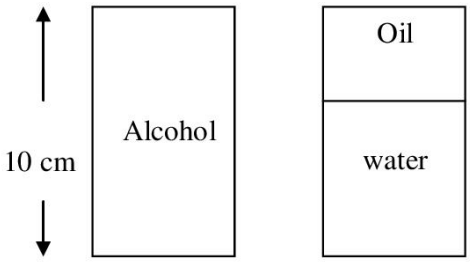
$$m = \frac{d_{ch}}{\lambda_{ch}} = \frac{d_w}{\lambda_w} + \frac{d_{oil}}{\lambda_{oil}}$$

$$\frac{d_{ch}}{\frac{\lambda_0}{n_{ch}}} = \frac{d_w}{\frac{\lambda_0}{n_w}} + \frac{d_{oil}}{\frac{\lambda_0}{n_{oil}}}$$

$$\frac{10}{\frac{\lambda_0}{1.361}} = \frac{10 - d_{oil}}{\frac{\lambda_0}{1.333}} + \frac{d_{oil}}{\frac{\lambda_0}{1.473}}$$

$$13.61 = 13.33 - 1.333\, d_{oil} + 1.473\, d_{oil}$$

$$0.28 = 0.14\, d_{oil} \Rightarrow d_{oil} = \frac{0.28}{0.14} = 2\ cm$$



4) جد النسبة بين سمك طبقة الماء (n_w=1.333) الى سمك طبقة الزيت (n_{oil}=1.473) اذا كان الزمن المستغرق لعبور الضوء خلال الطبقتين متساوي .

$$\frac{d_w}{d_{oil}} = ?$$

$$t_w = t_{oil} \Rightarrow \frac{d_w}{v_w} = \frac{d_{oil}}{v_{oil}}$$

$$\frac{d_w}{\frac{c}{n_w}} = \frac{d_{oil}}{\frac{c}{n_{oil}}} \Rightarrow \frac{d_w}{d_{oil}} = \frac{n_{oil}}{n_w} = \frac{1.473}{1.333} = 1.1$$

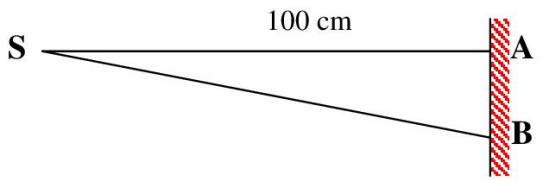
5) قطعة زجاجية طولها (3 m) ومعامل انكسارها (n= 1.5) . نبضتان ضوئيتان متزامنتين انطلقتا معا في نفس الاتجاه ، واحدة خلال الزجاج والثانية خلال الفراغ وقطعتا نفس المسافة . ما هو الفرق الزمني بين النبضتين لتصل الى المراقب ؟

$$t_{air} = \frac{d_{air}}{v_{air}} = \frac{d_{air}}{c} = \frac{3\ m}{3x10^8} = 1x10^{-8}\ sec$$

$$t_g = \frac{d_g}{v_g} = \frac{d_g}{\frac{c}{n_g}} = \frac{3\ m}{\frac{3x10^8}{1.5}} = 1.5x10^{-8}\ sec$$

$$t = t_g - t_{air} = (1.5 - 1)x10^{-8} = 0.5x10^{-8}$$

6) مصدر نقطي (S) يبعث ضوء ذو طول موجي (500 nm) في الهواء . (A , B) نقطتان على شاشة بينهما مسافة (1 cm) ، والمسافة بين الشاشة والمصدر (100 cm) . (a) ما هو الفرق بين عدد الموجات الضوئية بين المسار (SA) والمسار (SB) ؟ (b) وضعت شريحة زجاجية (n=1.5) في المسار (SA) ، ما هو سمك الشريحة اللازم لجعل عدد الموجات في المسارين متساوي ؟



a) $SB = \sqrt{(SA)^2 + (AB)^2} = \sqrt{100^2 + 1^2} = 100.005\ cm$

$$m_{SB} = \frac{d}{\lambda} = \frac{100.005x10^{-2}}{500x10^{-9}} = 0.20001x10^{7} = 20001x10^{2}$$

$$m_{SA} = \frac{100x10^{-2}}{500x10^{-9}} = 20000x10^{2}$$

$$m_{SB} - m_{SA} = 20001x10^{2} - 20000x10^{2} = 1x10^{2} = 100$$

b) $m_{SB} = m_{SA}$

$$\frac{d_{SB}}{\lambda_{SB}} = \frac{d_{SA}}{\lambda_{SA}} \rightarrow \frac{d_{SB}}{\lambda_{SB}} = \frac{d_{SA} - d_g}{\lambda_{SA}} + \frac{d_g}{\frac{\lambda_o}{n_g}}$$

$$\frac{100.005x10^{-2}}{500x10^{-9}} = \frac{100x10^{-2} - d_g}{500x10^{-9}} + \frac{d_g n_g}{500x10^{-9}}$$

$$100.005 = 100 - d_g + 1.5\ d_g$$

$$0.005 = 0.5\ d_g$$

$$d_g = \frac{0.005}{0.5} = 10^{-2} cm$$