

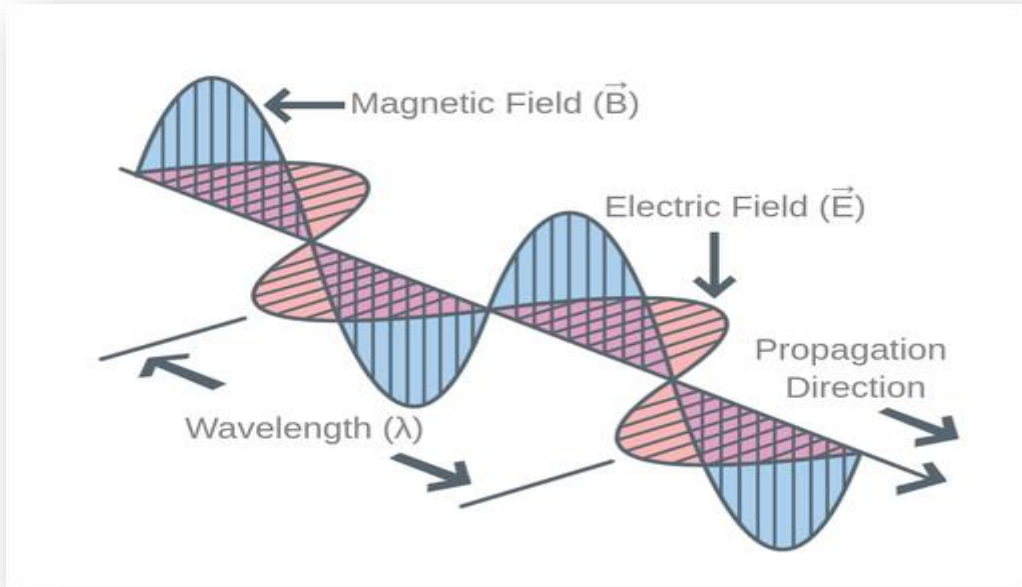
1. المقدمة Introduction

قديمًا، 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. بقيت نظرية نيوتن قائمة لفترة كبيرة من الزمن، حتى اقترح الفيزيائي والفلكي الهولندي هوغنز (Huygens) أن الضوء عبارة عن نوع من الأمواج، وتمكنت النظرية الموجية لهوغنز من تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار للضوء. بعدها تمكن العالم توماس 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 الكهربية والمغناطيسية 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 إلكترونات 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 أينشتاين (Einstein) من تفسير هذه الظاهرة مستعيناً بمفهوم تكميم الطاقة الذي وضعه العالم ماكس بلانك، وكنيجة لتفسيره لهذه الظاهرة حاز على جائزة نوبل في الفيزياء. للإجابة عن ماهية الضوء، يمكن القول إنّ الضوء يُظهر سلوكاً موجياً في بعض الأحيان، وفي أحيان أخرى يُظهر سلوكاً خاصاً بالأجسام.

عادةً ما تُستخدم 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 البنفسجي، 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 بموجة كهرومغناطيسية تتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي . تسير الموجة الكهرومغناطيسية بشكل جيبي (وفقا الى دالة الجيب sine function) بشكل انخفاض وارتفاع في سعة الموجة، تكون موجة المجال الكهربائي عمودية على موجة المجال المغناطيسي (الشكل 1). وكلاهما يتغير مع الزمن والموقع وهذا التغير في المجال يؤدي الى تكون المجال الاخر. تنتشر هذه الموجة باتجاه عمودي على المجالين (الكهربائي والمغناطيسي).



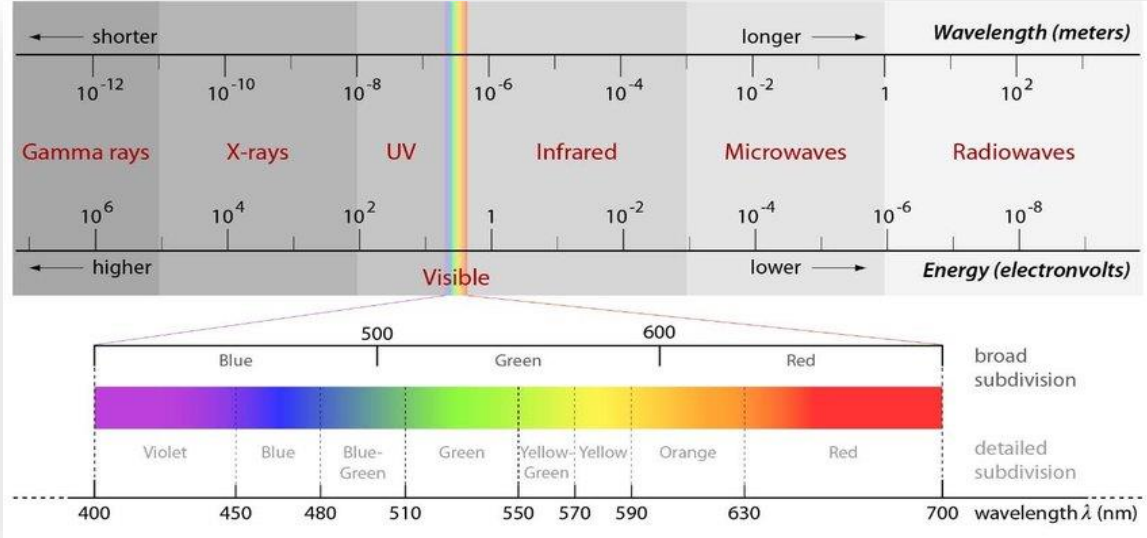
الشكل (1) : الموجة الكهرومغناطيسية التي يتغير فيها المجال الكهربائي متعامدا فيها على المجال المغناطيسي وتنتشر الموجة في الاتجاه العمودي على المستوي الذي يتغير فيه المجالان

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) ، انتهاء بأشعة كاما (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 الأطوال الموجية لها ، لكن هناك بعض الحيوانات يمكنها ان تحسس بعض الطيف الكهرومغناطيسي فضلا عن الضوء المرئي.



الشكل (2): الطيف الكهرومغناطيسي

4. فروع علم البصريات Branches of Optics

ينقسم علم البصريات الى فرعين رئيسيين (تقليدي و كمي) ، وضع هذا التصنيف عند نشوء النظرية الكمية واختلاف نظرة العلماء للفيزياء عن النظرة القديمة ، وظهور فيزياء الكم الذي اعطى تفسيرات حديثة ودقيقة لكل ظواهر الفيزياء (من ضمنها طبيعة الضوء). بالرغم من اهمية الفرع التقليدي للبصريات في تفسير معظم الظواهر التي تتعلق في تفسير الضوء وتفاعله مع الوسط المحيط والمادة ، الا ان الفرع الكمي اكثر شمولية ودقة في اعطاء هذا التفسير.

1.4. البصريات التقليدية Classical optics

تنقسم البصريات التقليدية إلى فرعين رئيسيين: البصريات الهندسية (أو الشعاعية) والبصريات الفيزيائية (أو الموجية). في البصريات الهندسية ينتقل الضوء بشكل خطوط مستقيمة، بينما في البصريات الفيزيائية، يعتبر الضوء بمثابة موجة كهرومغناطيسية. يمكن النظر إلى البصريات الهندسية على أنها تقريبية للبصريات الفيزيائية التي تنطبق عندما يكون الطول الموجي للضوء المستخدم أصغر بكثير من حجم العناصر البصرية في النظام الذي يتم دراسته. البصريات الهندسية تصف انتشار الضوء من حيث الأشعة التي تنتقل في خطوط مستقيمة، والتي تخضع مساراتها لقوانين الانعكاس والانكسار عند السطوح البينية بين الوسائط المختلفة. وتم استخدامها في تصميم المكونات والأدوات البصرية منذ ذلك الحين وحتى يومنا هذا.

في البصريات الفيزيائية، ينتشر الضوء كموجة. يفسر هذا النموذج بظواهر مثل التداخل والحيود، والتي لا يمكن تفسيرها بواسطة البصريات الهندسية. تبلغ سرعة موجات الضوء في الفراغ حوالي $(3 \times 10^8 \text{ m/s})$. حتى منتصف القرن التاسع عشر، كان معظم الفيزيائيين يؤمنون بوجود وسط (أثيري) ينتشر فيه اضطراب الضوء. تم التنبؤ بوجود الموجات الكهرومغناطيسية من خلال معادلات ماكسويل. تنتشر هذه الموجات بسرعة الضوء ولها مجالات كهربائية ومغناطيسية متنوعة تكون متعامدة مع بعضها البعض، وكذلك مع اتجاه انتشار الموجات. يتم الآن التعامل مع موجات الضوء بشكل عام على أنها موجات كهرومغناطيسية إلا عندما يجب أخذ التأثيرات الميكانيكية الكمومية في الاعتبار.

2.4. البصريات الكمية Quantum Optics

البصريات الكمية هي فرع من الفيزياء البصرية التي تتعامل مع كيفية تفاعل الكمات الفردية للضوء، المعروفة باسم الفوتونات، مع الذرات والجزيئات. ويشمل دراسة خصائص الفوتونات الشبيهة بالجسيمات. تم استخدام الفوتونات لتفسير العديد من الظواهر البصرية القديمة والحديثة بوجهة نظر كمية مختلفة عن التفسير التقليدي.

وفقاً لنظرية الكم، يمكن اعتبار الضوء ليس فقط موجة كهرومغناطيسية بل فيض من الجسيمات تسمى الفوتونات التي تنتقل بسرعة ثابتة وهي سرعة الضوء في الفراغ. ولا ينبغي اعتبار هذه الجسيمات ككرات صغيرة تتفاعل مع بعضها ميكانيكياً، بل كجسيمات كمومية موصوفة بوظيفة موجية منتشرة على منطقة محدودة.

يحمل كل فوتون كمية واحدة من الطاقة، تساوي hf ، حيث h هو ثابت بلانك و f هو تردد الضوء. تلك الطاقة التي يمتلكها فوتون واحد تتوافق تماماً مع الانتقال بين مستويات الطاقة المنفصلة في الذرة (أو أي نظام آخر) التي ينبعث منها الفوتون، امتصاص المادة للفوتون هو عملية عكسية. كما تتنبأ تفسير أينشتاين للانبعثات التلقائي بوجود الانبعث المحفز.

5. مصادر الضوء Light Sources

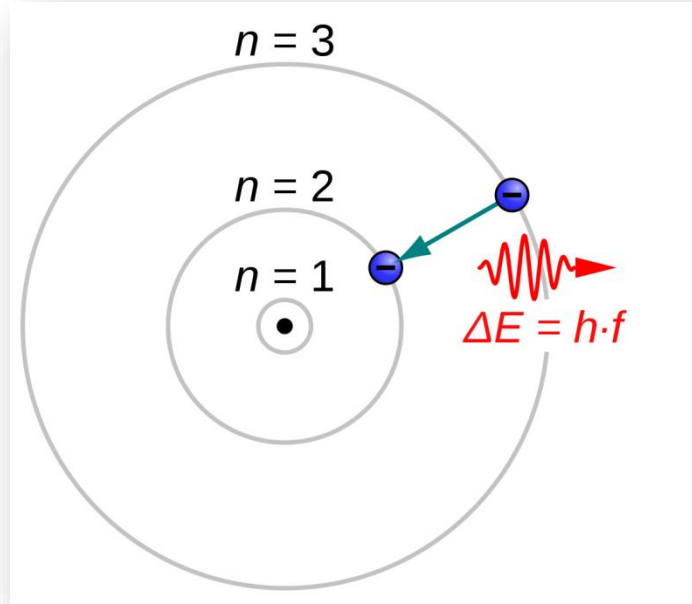
يوجد العديد من المصادر الضوئية الطبيعية والصناعية. أكثرها شيوعاً هي الحرارية: وهي الجسم الذي يصدر طاقة حرارية معينة ترافقها اشعة كهرومغناطيسية (تختلف حسب درجة حرارة الجسم). من الأمثلة الرئيسية للمصدر الحراري هي أشعة الشمس التي تبعث كل أنواع الطيف الكهرومغناطيسي إلى الفضاء، لكن يصل إلى سطح الأرض الأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجي فقط بسبب وجود الغلاف الجوي للأرض وتفاعله مع الأشعة الشمسية عن طريق عوامل كثيرة (مثل الامتصاص والاستطارة والانعكاس).

من الأمثلة الأخرى المصابيح المتوهجة، التي ينبعث منها جزء بسيط من طاقتها على شكل ضوء مرئي والباقي يكون أشعة تحت الحمراء. ومن مصادر الضوء الحرارية الشائعة في التاريخ هي الاجسام الصلبة المتوهجة بسبب اللهب التي تبعث معظم إشعاعها بشكل موجات تحت الحمراء وجزء صغير فقط كطيف مرئي. فكلما ازدادت درجة حرارة الجسم يتغير الطول الموجي للأشعة المنبعثة إلى أطوال موجية أقصر، مولدة أولاً توهجاً أحمرًا، ثم توهجاً أبيضًا، وأخيراً توهجاً أزرقاً حين تتزاح

الذرة خارجة من الجزء المرئي من الطيف تجاه مجال الأشعة فوق بنفسجية. يمكن رؤية هذه الألوان عند تسخين المعدن إلى درجات حرارة عالية فنرى اللون الأحمر ثم اللون الأبيض. أما الانبعاثات الحرارية الزرقاء فلا يمكن رؤيتها غالبًا، باستثناء النجوم واللون الأزرق الذي نراه في لهب الغاز أو مشعل اللحام هو في الواقع نتيجة لانبعاثات جزيئية.

تبعث الذرات الضوء وتمتصه عند طاقات معينة تتوافق مع الفرق بين مستويات الطاقة للذرة المنتقلة فيها الإلكترونات في المدارات الذرية (الشكل 3)، مما يولد إشعاع كهرومغناطيسي بتردد يتوافق مع فرق الطاقة بين مدارات الذرة التي انتقل فيها الإلكترون حسب المعادلة الآتية :

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad \dots \dots (1)$$



الشكل (3): انبعاث فوتون نتيجة انتقال الإلكترون عبر المدارات الذرية

ان تعجيل الجسيمات المشحونة مثل الإلكترونات يُولد إشعاع كهرومغناطيسي يعتمد على كمية التعجيل وسرعة الإلكترون. تُولد بعض المواد الكيميائية إشعاعًا مرئيًا بعملية كيميائية. وكذلك في الأجسام الحية، تسمى هذه العملية بالضيائية الحيوية (Bioluminance). فمثلا تقوم اليراعة بتوليد الضوء بهذه الطريقة، تقوم بعض المواد بتوليد الضوء عندما تضاء بإشعاع ذي طاقة تناسب توزيعها الإلكتروني بطول موجي يختلف عن الضوء الممتص. تعرف هذه الظاهرة بالفلورية. وتستخدم في المصابيح الفلورية. تصدر بعض المواد الضوء بعد فترة قصيرة من تحفيزها بإشعاع طاقي، نتيجة بطئ الانتقال الإلكتروني في المدارات الذرية مما يسبب انبعاث الضوء بعد مرور فترة من الزمن. وتعرف هذه الظاهرة باسم الفسفورية.

6. سرعة الضوء Speed of Light

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

$$c = f\lambda \quad \dots \dots (2)$$

حيث (c) هي سرعة الضوء في الفراغ وهي قيمة ثابتة (3×10^8 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 لآينشتاين ($E = Mc^2$).

7. الفوتون The Photon

اقترح العالم الفيزيائي الألماني ألبرت آينشتاين في سنة (1905) نموذجاً للضوء، وهو مفيد تماماً مثل النموذج الموجي. يتصرف الضوء في بعض التجارب كما لو أنه جسيمات، وتسمي هذا النوع من الجسيمات الآن الفوتونات. وفي نموذج آينشتاين فإن شعاع الضوء هو المسار الذي يسلكه الفوتون. فمثلاً عندما يرسل المصباح شعاعاً 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 معاً، لأن النموذجين مختلفان تماماً. 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 لآينشتاين.

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 فضلاً على الضوء المرئي ، وتحسب طاقة الفوتون عن طريق العلاقة (1).

8. معامل الانكسار Refraction Index

هي نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في هذا الوسط. وهو معامل يبين مدى تأثر المادة بالأمواج 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 الكهرومغناطيسية. بالإضافة، فلبعض المواد يختلف معامل الانكسار وفق اتجاه تقدّم الموجة الكهرومغناطيسية في المادة.

معظم المواد ذات الشفافية للضوء المرئي لديها معاملات انكسار ما بين (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 ما بين (1.3 – 1.7)، 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 معينة ، فنحن حين نتحدث عن الزجاج او البلاستيك 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 :

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

9. 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 تكرر جبهة الموجة الى ان تكون مستوية (تقريباً) في المصادر البعيدة جداً (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 .

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

Velocity of light in glass

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8}{1.5} = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

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

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{500 \times 10^{-9} \text{ m}}{1.5} = 333.3 \times 10^{-9} \text{ m}$$

(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:

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

$$N = \frac{(30 - 3) \times 10^{-3} \text{ m}}{600 \times 10^{-9} \text{ m}} + \frac{3 \times 10^{-3} \text{ m}}{\frac{600 \times 10^{-9} \text{ m}}{1.5}}$$

$$N = \frac{27 \times 10^{-3}}{600 \times 10^{-9}} + \frac{4.5 \times 10^{-3}}{600 \times 10^{-9}} = 52500 \text{ waves}$$

(3) اناء زجاجي عمقه (10 cm) مملوء بالكحول ($n_{ch}=1.361$) ، واناؤه 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؟

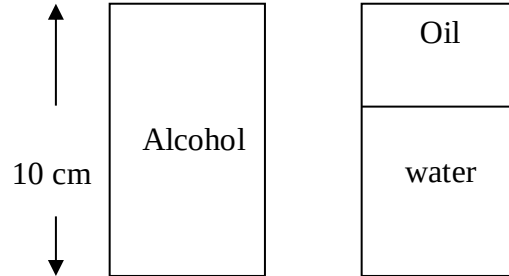
$$m = \frac{d_{ch}}{\lambda_{ch}} = \frac{d_w}{\lambda_w} + \frac{d_{oil}}{\lambda_{oil}}$$

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

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

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

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



(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 .

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

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

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

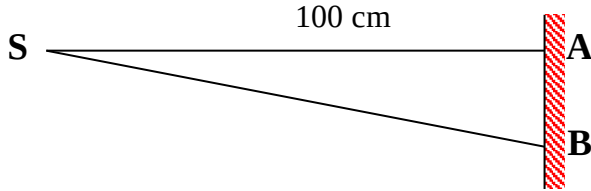
(5) مصدر ضوئي يمتلك قدرة (0.005W) وطول موجي مقداره ($1.4 \times 10^{-7} \text{ m}$) . كم عدد الفوتونات المنبعثة من هذا المصدر (في الفراغ) خلال ثانية واحدة ؟

$$E_{ph} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \cdot 3 \times 10^8}{1.4 \times 10^{-7}} = 1.42 \times 10^{-18} \text{ J}$$

المصدر الضوئي يمتلك قدرة مقدارها (0.005W) ، هذا يعني انه يبعث طاقة ضوئية مقدارها (0.005J) في الثانية الواحدة. لذلك يكون عدد الفوتونات المنبعثة من المصدر خلال الثانية الواحدة يمثل النسبة بين الطاقة الكلية للاشعة الضوئية الى طاقة الفوتون الواحد :

$$N = \frac{E}{E_{ph}} = \frac{5 \times 10^{-3} J}{1.42 \times 10^{-18} J} = 3.52 \times 10^{15} \text{ Photons}$$

(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 ؟



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

$$m_{SB} = \frac{d}{\lambda} = \frac{100.005 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-9}} = 0.20001 \times 10^7 = 20001 \times 10^2$$

$$m_{SA} = \frac{100 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-9}} = 20000 \times 10^2$$

$$m_{SB} - m_{SA} = 20001 \times 10^2 - 20000 \times 10^2 = 1 \times 10^2 = 100$$

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

$$\frac{d_{SB}}{\lambda_{SB}} = \frac{d_{SA}}{\lambda_{SA}} \rightarrow \frac{d_{SB}}{\lambda_{SB}} = \frac{d_{SA} - d_g}{\lambda_{SA}} + \frac{d_g}{\frac{\lambda_0}{n_g}}$$

$$\frac{100.005 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-9}} = \frac{100 \times 10^{-2} - d_g}{500 \times 10^{-9}} + \frac{d_g n_g}{500 \times 10^{-9}}$$

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

$$0.005 = 0.5 d_g$$

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