سلسلة محاضرات فى الضوء الطبيعي

د/ محمد علوش

قسم الفيزياء- كلية العلوم

جامعة جنوب الوادى

كلية التربية

الفرقة الثانية تعليم أساسى

الضوء

تطلق كلمة الضوء على ذلك الجزء من الموجات الكهرومغناطيسية الذى يثير الإحساس بالرؤية فى عين الإنسان. و بلغة الأطوال الموجية فإن الموجات الكهرومغناطيسية تمتد على مدى واسع جدًا وهو ما يسمى بالطيف الكهرومغناطيسى ويبدأ من أشعة جاما ذات الطول الموجى 3×10-17متر إلى موجات الراديو الطويلة التى تقاس بالكيلومتر . ومن هذا الطيف الكهرومغناطيسى فإن الأطوال الموجية التى تراها عين الإنسان تمتد عبر شريط ضيق جدًا منه يقع بين حوالى 7 × 10-7 متر للون الأحمر و 4 × 10-7 متر للون البنفسجى. و المناطق الطيفية المجاورة لهذا الشريط يطلق عليها أيضا فى العادة ضوء و هى منطقة الأشعة تحت الحمراء المجاورة للمنطقة الحمراء و منطقة الأشعة فوق البنفسجية المجاورة للمنطقة البنفسجية على الجانب الآخر. و تعتبر سرعة الضوء فى الفراغ من الثوابت الفيزيائية الأساسية و القيمة المقبولة لها حالياً هى 299792458 متر/ ثانية (حوالى 299.792 ألف كيلومتر/ ثانية أى حوالى 186.282 ألف ميل/ ثانية).

من اكتشف الضوء ؟

من اكتشف الضوء هو العالم المسلم ابن الهيثم وهو أبو علي حسن ابن الهيثم ولد سنة 354 للهجرة الموافق 965 للميلاد في البصرة في العراق ثم أخذ يسافر لمختلف البلدان من أجل العلم، وقد كان ابن الهيثم رحمه الله منذ صغره متجهاً إلى القراءة والتعلم ولم يكن مثل أقرانه يمضي وقته في اللعب واللهو، وقد تخصص في علم العين كما كان بارعاً في الفلسفة والمنطق والأعمال

الهندسية، وهو من أشهر العلماء المسلمين حيث إنه هو مؤسس علم البصريات وكان يطلق عليه بطليموس الثاني.

البصريـات The Optics :

البصريات هو العلم الذى يختص بأصل و انتشار الضوء و التغيرات التى تحدث له و التى يسببها و كذلك الظواهر المرتبطة به .

وهناك فرعان أساسيان للبصريات هما:

- **البصريات الهندسـية** : وهى التى ترتبط بالأساسيات التى تحكم خصائص تكوين الصور بالعدسات و المرايا وتتعرف على مسار الضوء فى الأجهزة البصرية بصفة عامة و كذلك تكوين الظلال .
- **البصريات الطبيعية** : تختص بطبيعة و خصائص الضوء نفسه .

والواقع أن كلمة بصريات كانت تستخدم فى بادىء الأمر فيما يختص بالعين و الرؤية ولكن بعد تطوير العدسات والأجهزة الأخرى كأدوات مساعدة للرؤية و التى أطلق عليها الأجهزة البصرية فقد اتسع معنى كلمة بصريات ليغطى جميع التطبيقات الخاصة بالضوء حتى و لو كان المتلقى النهائى ليس العين و لكن أى كاشف فيزيائى مثل الألواح الفوتوغرافية و الكاميرا التلفزيونية و غيرها .

وفى القرن العشرين تم تطبيق طرق بصرية على مناطق فى الطيف الكهرومغناطيسى خارج المنطقة المنظورة مثل منطقة الأشعة تحت الحمراء و منطقة الموجات الميكرومترية ولذلك أدخلت هذه المناطق تحت المجال العام للبصريات.

مقدمة عن علم البصريات :

البصريات هى علم دراسة الضوء وتنقسم إلى ثلاثة مجالات كل واحد منها يحتاج إلى أسلوب معالجة نظرية مختلف. هذه المجالات هى:

أ) **البصريات الهندسية** Geometrical optics التى تعالج بطريقة الأشعة الضوئية .

ب) **البصريات الطبيعية أو الفيزيائية** Physical optics والتى تختص بطبيعة الضوء و تعتمد أساسا على النظرية الموجية .

جـ) **الضوء الكمى** Quantum optics وهذا المجال يتعامل مع تفاعل الضوء مع ذرات المادة و يحتاج لمعالجته إلى نظرية الكم .

أى أن مجال البصريات الطبيعية يعتمد أساسا على النظرية الموجية للضوء . فلدراسة الظلال أو تكون الصور بواسطة المرايا والعدسات و معرفة مسار الضوء فى الأجهزة البصرية نعتبر الضوء عبارة عن أشعة تسير فى الوسط المتجانس فى خطوط مستقيمة . و لكن هناك ظواهر أخرى لا يمكن تفسيرها إلا إذا اعتبرنا أن الضوء عبارة عن موجات و هذه هى ظواهر التداخل و الحيود و الاستقطاب بالإضافة إلى الانعكاس والانكسار. هناك ظواهر أخرى مثل توزيع الطاقة على طيف انبعاث الجسم الأسود أو المعتم Black body radiation و الانبعاث الكهروضوئى بمعنى انبعاث الإلكترونات من سطوح المعادن عند سقوط الضوء عليها Photoelectric emission هذه الظواهر و غيرها من الظواهر التى تتعلق بتفاعل الضوء مع المادة و انبعاثه منها أو امتصاصه

بها لم يمكن للنظرية الموجية للضـــوء تفســـيرها ولم يتم تفســـيرها إلا بعد ظهور نظرية الكم التى بدأها بلانكPlanck عام 1900 و التى تعتبر أن الضـــوء عبارة عن كمات Quantum من الطاقة ســـميت فوتونات Photons طاقة كل فوتون منها تســـاوى مقدار ثابت يســـمى ثابت بلانك مضروبا فى تردد الموجة الضوئية.

الموجـــــــة The Wave :

الموجة هى اضطراب يتحرك أو ينتشـر فى الوسط بسرعة معينة . فإذا أسقطنا حجرا فى ماء ساكن فإن سطح الماء عند نقطة سقوط الحجر سيبدأ فى الاهتزاز إلى أسفل و إلى أعلى و هكذا حركة توافقية بسيطة و لكن هذا الاهتزاز لا يتوقف على نقطة سقوط الحجر بل سينتشر مع الزمن و بسرعة معينة فى المنطقة حول هذه النقطة و تبدأ كل نقطة من النقاط فى هذه المنطقة فى الاهتزاز . و الجدير بالذكر هنا أن نوضح أنه لا توجد حركة انتقالية للمـــاء أى انتقال كميات من الماء مع انتشار الموجة و لكن ذلك الذى ينتشر أو يتحرك هو ذلك الاضطراب الذى حدث فى سطح الماء عند إسقاط الحجر فيه . و من أهم خصائص الموجات أيضا أن الموجة تحمل معها طاقة من مكان إلى آخر فسطح الماء بعيدا عن نقطة سقوط الحجر والذى كان ساكنا أصبح الآن يهتز أى انتقلت إليه الطاقة .

كذلك الصوت عبارة عن موجات تتولد عند اهتزاز الأجسام مثل اهتزاز فرعى الشوكة الرنانة و مثل اهتزاز وتر الجيتار أو الحبال الصوتية فى الإنسان أو اهتزاز غشاء سماعة الراديو . والصوت مثله مثل موجات الماء يحتاج لانتقاله إلى وسط يحمل هذه الموجات و قد يكون الوسط غازا

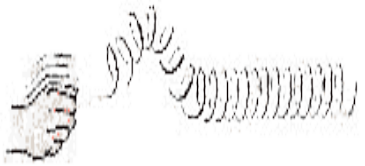
أو سائلا أو صلبا. و الذى يحدث فى حالة الموجات الصوتية هو أنه عند طرق شوكة رنانة مثلا يضغط فرع الشوكة على الهواء الملاصق له وهذا يسبب زيادة ضغط الهواء و تسمى المنطقة التى يزداد فيها ضغط الهواء منطقة تضاغط و تنتشر هذه المنطقة بعيدا عن فرع الشوكة و تسرى نبضة تضاغط فى الهواء بسرعة معينة هى سرعة الصوت فى الهواء. و عندما يتحرك فرع الشوكة إلى الناحية الأخرى مكملا الإهتزازة يتسع الحيز المقابل له و يقل ضغط هذه المنطقة عن الضغط الجوى حيث تتوزع الجزيئات متباعدة عن بعضها و تسمى هذه المنطقة منطقة تخلخل و تنتشر منطقة التخلخل هذه لتعقب نبضة التضاغط . و باستمرار اهتزاز فرع الشوكة الرنانة تتعاقب نبضات التضاغط والتخلخل فتهتز جزيئات الهواء على شكل حركة توافقية بسيطة و تكون هذه الحركة على خط انتشار الموجة أى أن الصــوت ينتشر على شكل موجات طوليــة .

وانتشار الصوت لا يصاحبه حركة انتقالية للهواء كما يحدث عند انتقال الرياح . فعندما نسمع صوتا من سماعة مثلا فإن جزيئات الهواء التى تتضاغط و تتخلخل بسبب اهتزاز غشاء السماعة ليست هى الجزيئات التى تؤثر على طبلة الأذن و لكن مع انتشار نبضات التضاغط و التخلخل فى موجة الصوت بعيدا عن المصدر المهتز فإن جزيئات الهواء تعمل حركة توافقية بسيطة حول نقط ثابتة و هى بذلك تتصادم مع الجزيئات المجاورة و بذلك تنتقل نبضات التضاغط و التخلخل إلى الأمام إلى أن تصل إلى طبلة الأذن .

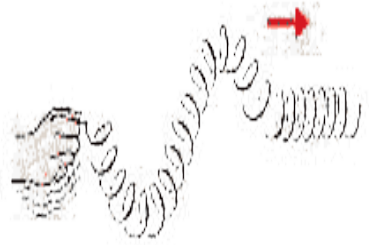
الموجات المستعرضة والموجات الطولية

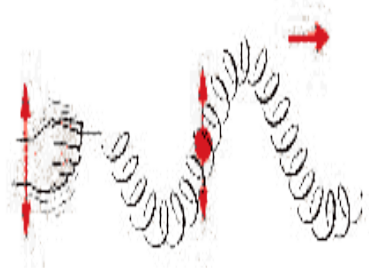
الموجة المستعرضة:

شكل (1) يوضح كيفية توليد موجة مستعرضة فى زنبرك. فإذا أمسكنا بأحد طرفى الزنبرك و حركناه إلى أعلى ثم إلى وضعه الأصلى كما هو فى شكل(a) فإن دفعة إلى أعلى تنتشر على طول الزنبرك جهة اليمين .



و إذا حركناه إلى أسفل ثم إلى وضعه الأصلى كما فالجزء (b) من الشكل فإن دفعة إلى أسفل تتحرك إلى اليمين على طول الزنبرك . و إذا حركنا طرف الزنبرك إلى أعلى و إلى أسفل بصفة مستمرة حركة توافقية بسيطة فإن موجة كاملة تتحرك على طول الزنبرك و الشكل(c) يوضح أن الموجة تتكون من سلسلة من الحركات إلى أعلى و إلى أسفل تنتشر إلى اليمين و هى بذلك تحدث اضطرابا فى الوضع الأصلى للزنبرك . و إذا نظرنا إلى أى نقطة على طول الزنبرك سنلاحظ أنها تتحرك إلى أعلى و إلى أسفل حركة توافقية بسيطة (الجزء c) و نلاحظ أن حركة هذه النقطة تكون عمودية على اتجاه انتشار الموجة .

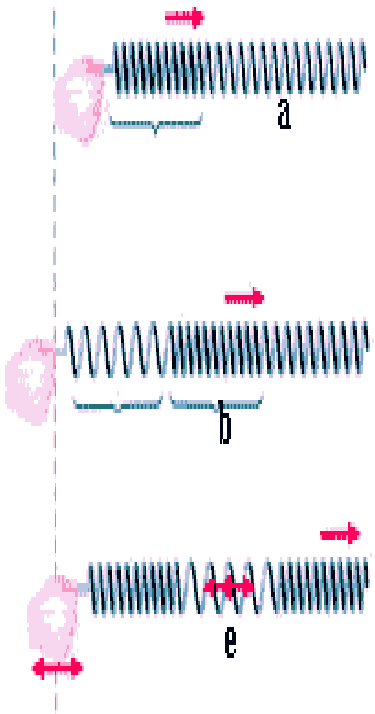




يوضح هذا المثال أن الموجة المستعرضة هى التى يكون فيها الاضطراب عمـوديا على اتجاه انتشار الموجة .

الموجة الطولية :

يمكن أيضا توليد موجات طولية بواسطة الزنبرك . فإذا أمسكت أحد طرفى الزنبرك و دفعته إلى الأمام فى اتجاه طوله (طوليا) ثم جذبته إلى الخلف إلى موضعه الأصلى كما فى شكل (2) فإنك تجد أن منطقة تضاغط أى منطقة تتقارب فيها لفات الزنبرك من بعضها قد انتشرت إلى اليمين



ثم إذا جذب طرف الزنبرك إلى الخلف ثم أعيد إلى موضعه الأصلى سنجد أن منطقة تخلخل أى منطقة تتباعد فيها لفات الزنبرك من بعضها قد انتشرت إلى اليمين . والآن إذا حركنا طرف الزنبرك إلى الأمام و إلى الخلف مرورا بموضعه الأصلى حركة توافقية بسيطة فإن قطارا من الموجات الكاملة تتولد فى الزنبرك كما هو موضح فى شكل (c) وتتكون هذه الموجات من سلسلة من التضاغطات والتخلخلات على طول الزنبرك تنتشر فى اتجاه اليمين وهى بذلك تحث اضطرابا فى المسافات البينية بين لفات الزنبرك . أى أن الموجة الطولية هى تلك الموجة التى يكون فيها الاضطراب فى اتجاه انتشار الموجة .

التردد والطول الموجي :

الــتردد :

كل دورة مكونة من تضاغط و تخلخل متعاقبين تشكل موجة صوتية كاملة و التردد هو عدد الموجات الكاملة التى تمر بنقطة معينة فى الوسط فى الثانية .

وعلى سبيل المثال إذا كان فرع الشوكة الرنانة يهتز إلى الأمام و إلى الخلف فى حركة توافقية بسيطة 1000 اهتزازة فى الثانية فإن 1000 تضاغط يعقبه تخلخل يتولد و ينتشر فى الوسط كل ثانية أى أن تردد الموجات الصوتية الحادثة هو 1000 هرتز. و لابد هنا أن نفرق بين تردد الجسم المهتز و هو عدد الاهتزازات التى يحدثها الجسم المهتز فى الثانية و تردد الموجات الصوتية المنتشرة و هو عدد الموجات الكاملة التى تمر بنقطة معينة فى الوسط فى الثانية.

ويسمى الصوت الذى يكون له تردد واحد الصوت النقى . و تدل التجارب على أن الشخص الشاب السليم يمكنه أن يسمع الصوت ذا التردد الذى يقع بين 20 و 20000 هرتز أى 20 كيلوهرتز. و تقل القدرة على سماع الترددات العالية مع تقدم السن . و بصفة عامة فإن الشخص العادى متوسط العمر يمكنه سماع الترددات إلى 12- 14 كيلوهرتز فقط .

و تسمى الموجات الصوتية ذات التردد الأعلى من 20 كيلوهرتز بالموجات فوق الصوتية أو الفوق صوتيات ultrasonic waves و لكن أنواع معينة

من الكلاب يمكنها سماع ترددات أعلى من 30 كيلوهرتز و بذلك يمكنها سماع كلاب أخرى لا يمكن للإنسان سماعها. و الخفاش يمكنه سماع ترددات تصل إلى 100 كيلوهرتز و هو يستخدم هذه المقدرة فى تحديد مكانه. وبصفة عامة فإن التردد هو عدد الذبذبات الكاملة فى الثانية.

الطول الموجى :

بالنسبة للموجات المستعرضة يعبر عن الطول الموجى بالمسافة بين أى قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين . و فى الموجات الطولية فإن الطول الموجى هو المسافة بين مركزى تضاغطين متتاليين أو تخلخلين متتاليين . و بصفة عامة فإن الطول الموجى هو المسافة بين نقطتين على مسار الموجة يكون الاضطراب عندهما له نفس القيمة و فى نفس الاتجاه سواء كان هذا الاضطراب إزاحة فى السطح كما فى حالة الموجات المائية (المستعرضة) أو تغيرا فى الضغط كما فى حالة الموجات الصوتية (الطولية) و يقال للنقاط التى يكون فيها الاضطراب له نفس القيمة و فى نفس الاتجاه بنقاط لها نفس الطور و بالتالى فإن :

الطول الموجى هو المسافة بين نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (الطور هو ذلك الكسر من الموجة عند لحظة زمنية معينة) ويرمز للطول الموجى بالرمز λ ويقاس بالمتر و أجزائه .

العلاقة بين الطول الموجى و التردد و سرعة انتشار الأمواج

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$$

من المعروف أن الموجات تنتشر فى الوسط بسرعة معينة ووالآن نعود إلى الشوكة الرنانة و نتذكر أن فرع الشوكة يهتز اهتزازة كاملة فى زمن قدره T و هو الزمن الدورى و فى هذه الفترة الزمنية تتولد موجة تضاغط و تخلخل متتاليين و تنتشر هذه الموجة إلى مسافة قدرها الطول الموجى λ أى أن سرعة انتشار الموجة يساوى

$$\text{السرعة } v = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{\lambda}{T} = \frac{\text{الطول الموجى}}{\text{الزمن الدورى}}$$

و لكن

$$\text{التردد} = \frac{1}{\text{الزمن الدورى}}$$

أى أن :

سرعة انتشار الموجة = الطول الموجى x التردد أى أنه يمكن حساب سرعة انتشار الموجات فى وسط ما من معرفة التردد والطول الموجى .

طبيعة الضوء

The nature of light

بالرّغم من أنّ الضوء هو من المُسلمات في حياتنا، وأحد الأمور البسيطة فيها، فكلّ يومٍ نرى الضوء عند طلوع الشمس فنستمتع به وبرؤية الأشياء من حولنا، وفي الليل نضيء المصابيح لكي تنير لنا العتمة، إلّا أنّنا إنْ أردنا البحث في طبيعة الضوء نفسها فسنجد أنّها ما زالت من الأمور الغامضة جداً في العلوم، فقد بحثت في طبيعة الضوء أكبر العقول الفيزيائية

في العالم كآينشـتاين، الذي وضـع بعض النظريات لتفسـير ما سـيحدث إن سافر الإنسان بسرعة الضوء أو البحث في ماهية الضوء. لم يتمّ التوصل إلى الآن بشـكلٍ قطعيٍّ لِطبيعة الضـوء، فبعض النظريات تبين أنّ الضـوء هو عبارةٌ عن موجاتٍ، بينما يوجد نموذجٌ آخر وهو الذي وضـعه آينشـتاين يبين أنّ الضوء هو عبارةٌ عن جسيمات، وهي ما نسميها الآن بالفوتونات، فيتصرف الضوء في بعض التجارب على أنّه جسيمات، بينما يتصرف في أخرى على أساسٍ موجي، وما زال الضوء حتى الآن أحد الأمور الغامضة والمعتمة في العلوم.

نظريات تفسير الضوء

1 – نظرية نيوتن الجسيمية لطبيعة الضوء :

قبل بداية القرن الثامن عشـر كان الاعتقاد سـائد بان الضـوء عبارة عن جسيمات تصدر من المصدر الضوئي وتستحث حاسية النظر من خلال دخولها إلى العين وكان المنزعم لهذه النظرية هو اسـحاق نيوتن والذي استطاع بهذه النظرية تفسير بعض الظواهر العملية المتعلقة بطبيعة الضوء منها التحقق من صحة قوانين انعكاس الضوء. وقد لاقن النظرية الجسيمية لطبيعة الضـوء القبول من الكثير من العلماء في ذلك الوقت ولم تستطع أن تعطي التفسير الجيد لبعض الظواهر الضوئية مثل انكسار الضوء وتداخل الضـــــــــــــــــــــــــــوء.

2 – نظرية هيجينز :Huggens

خلال تلك الفترة (نيوتن مازال حياً) فقد افترض هيجنز نظرية اخرى لطبيعة الضوءوهي أن الضوء عبارة عن نوع من أنواع الامواج وكان ذلك في عام1678 م واستطاع أن يفسر ويحقق قوانين الانعكاس والانكسار باستخدام هذه النظرية . ولم تلقى هذه النظرية ترحاب علمي في بداياتها لعدة اسباب منها : أن جميع الامواج المعروفة قي ذلك الوقت (صوت ، ماء ، ... الخ) تنتقل خلال وسط مادي بينما الضوء يستطيع ان ينتقل إلينا من الشمس خلال الفراغ ، ومن ناحية اخرى إذا كان الضوء عبارة عن امواج فإن الموجة يمكنها أن تنعطف حول العقبات ولذلك يمكن ان نرى حوالين الزوايا . ومعلوم الان بان الضوء له القدرة على الانعطاف حول الحواف وتعرف هذه الظاهرة بالحيود diffraction مع انه ليس من السهولة ملاحظة ذلك لان الضوء له طول موجي قصير . وكما ذكرنا سابقاً فلن هذه النظرية لاقت الرفض من قبل الكثير من العلماء وخصوصاً بسبب سمعة نيوتن في ذلك الوقت وشهرته.

وأول تفسير يبين الطبيعة الموجية للضوء تم في عام 1801 م على يد العالم يونج Young الذي بين عملياً بأنه تحت شروط معينة فإن الضوء يتبع ظاهرة التداخل والذي هو عبارة عن اتحاد موجتين لهما نفس الطول الموجي ونابعين من نفس المصدر ليكونا مناطق مضيئة عند حدوث التداخل البناء ومناطق مظلمة عند حدوث التداخل الهدام. هذا السلوك من التداخل لم تستطع النظرية الجسيمية تفسيره في ذلك الوقت

لانه أن يتحد جسيمين ويلغي بعضهما البعض غير منطقي ، وخلال تلك الفترة استطاع عالم آخر هو فوكلت Foucalt أن يبين بأن سرعة الضوء في الزجاج والسوائل المفروض أن تكون أسرع منها في الهواء كما أن هناك تطور آخر في القرن التاسع عشر قاد إلى القبول العام با لنظرية الموجية للضوء.

– 3نظرية ماكسويل :

أهم تطور يتعلق بالنظرية الموجية للضوء كان العمل الذي قام به ماكسويل Maxwellسنة 1873م والذي بين بأن الضوء شكل من اشكال الامواج الكهرومغناطيسية ذات الترددات العالية ، نظريته تنبأت بأن هذه الامواج لابد أن يكون لها سرعة تساوي 3×10^8 م/ث والتي هي عبارة عن سرعة الضوء. واستطاع هيرتز أن يثبت ذلك عملياً سنة 1887 م وذلك بانتاج وإلتقاط أمواج كهرومغناطيسية كما بين بأن تلك الامواج الكهرومغناطيسية تسلك نفس سلوك الضوء من انعكاس وانكسار وكل خواص الامواج.

بالرغم من أن النظرية الكهرومغناطيسية استطاعت تفسير الكثير من خواص الضوء إلا أن هناك بعض الظواهر لم تستطع أن تعطيها التفسير المقبول إذا اعتبرنا أن الضوء عبارة عن أمواج ، من أهمها الظاهرة الكهروضوئية والتي هي عبارة عن تحرر إلكترون من المعدن عند تعرضه سطحه لشعاع ضوئي .وقد بينت التجارب بأن الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر لا تعتمد على شدة الضوء المسلط وهذا بحد ذاته

تناقض للنظرية الموجية التي تقول بأنه كلما زادت شدة الشعاع المسلط كلما زادت الطاقة المضافة للإلكترون المتحرر .

4 – نظرية آينشتاين:

لقد تم تفسير هذه الظاهرة بواسطة نظرية آينشتاين سنة 1905 م والتي بنيت على مفهوم ماكس بلانك Max Planck الذي افترضه سنة 1900 م والذي يقول بأن طاقة الموجة الضوئية تكون متجمعة في حزم طاقية تسمة فوتونات ، ولذلك يقال بأن الطاقة مكممة quantized وبناءاً على نظرية آينشتاين فإن طاقة الفوتون تتناسب مع تردد الموجة الكهرومغناطيسية

$$E=h\upsilon$$

$$h = 6.626*10^{(-34)}\ \ j.s$$

من المهم أن نلاحظ بأن هذه النظرية احتفظت بكلا النظريتين الضوئيتين (النظرية الموجية والنظرية الجسيمية) وتفسير الظاهرة الكهروضوئية هو نتيجة لانتقال الطاقة من الفوتون المفرد الى الكترون في المعدن ، أي انه حصل تجاذب بين الالكترون والفوتون الضوئي وكأن هذا الالكترون اصطدم بجسيم وتبادل معه الطاقة ، وهذا الفوتون يسلك سلوك موجي لان طاقته تتحقق بالتردد.

بالنظر الى كل ما سبق فلابد أن نعرف بأن الضوء له ازدواجية طبيعية ، أي انه في بعض الحالات يعمل كموجة وفي بعض الاحيان يعمل كجسيم , فنظرية الامواج الكهرومغناطيسية تعطي التفسير الجيد لانتقال الضوء

وتفسير ظاهرة التداخل . بينما الظاهرة الكهروضوئية والتجارب الاخرى المشتملة على تجاذب الضوء مع المادة أفضل تفسير على أن الضوء عبارة عن جسيمات . فالان هل الضوء موجات ام جسيمات ؟ الجواب على ذلك هو انه في بعض الاحيان يعمل كامواج وفي بعض الاحيان كجسيمات.

كيفية انتقال الموجات الميكانيكية

عندما يهتز المصدر المهتز بكيفية معينة تهتز أجزاء الوسط المحيط به بنفس الكيفية ، وينتقل هذا الاهتزاز من نقطة إلى أخرى في الوسط على التتابع بانتظام على هيئة حركة موجية.

يمكن تصنيف الموجات الميكانـــيكـية إلى نوعين هما:

– 1الموجات الطولية.

– 2الموجات المستعرضة.

أولا : الموجات الطولية

تزداد كثافة الهواء في مناطق التضاغط نتيجة لتقارب جزيئات الهواء ، وتقل في مناطق التخلخل نتيجة لتباعد جزيئات الهواء.

تعريف الموجات الطولية:

هى الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط المادي ذهابا وأيابا في نفس اتجاه حركة انتشار الموجة.

وهي تتكون من تضاغطات وتخلخلات.

مثل : موجات الصوت ، والموجات التضاغطية لزنبرك

التضاغط:

هو الموضع الذي تتقارب فيه جزيئات الوسط من بعضها.

التخلخل:

هو الموضع الذي تتباعد فيه جزيئات الوسط عن بعضها.

كل موجة طولية تتكون من تضاغطات وتخلخلات

انتقال الموجات الصوتية في الهواء:

ينتقل الصوت في الهواء أو أي غاز آخر على هيئة موجات طولية تتكون من تضاغطات وتخلخلات.

أي أن موجات الصوت تنتقل في الهواء على هيئة موجات طولية.

ثانيا : الموجات المستعرضة:

تعريف الموجة المستعرضة:

الموجات المستعرضة :

هى الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الموجة.

وهي تتكون من قمم وقيعان.

مثل : موجات الماء – الموجات في حبل – الموجات الكهرومغناطيسية.

القمة : هي النقطة التي تمثل النهاية العظمى للازاحة في الاتجاه الموجب ، أي هي أعلى نقطة يصل إليها الإضطراب الموجي .

القاع : هو النقطة التي تمثل النهاية العظمى للازاحة في الاتجاه السالب ، أي أخفض نقطة يصل إليها الإضطراب الموجي.

كل موجة مستعرضة تتكون من قمم وقيعان

الموجات المائية:

على سطح الماء:

تتحرك جزيئات الماء عند السطح حركة اهتزازية إلى أعلى وإلى أسفل عموديا على اتجاه انتشار الموجة ، أي يحدث على سطح الماء موجات مستعرضة.

في عمق الماء:

بينما تتحرك جزيئات الماء في عمق السائل في نفس الوقت في اتجاه حركة الموجة مكونة موجة طولية.

انتقال الموجات في المواد المختلفة:

قد وجد أن كلا من الموجات الطولية والموجات المستعرضة يمكن إحداثها في الأجسام الصلبة إلا أن سرعة انتشار الموجات الطولية في المواد الصلبة تكون دائما أكبر من سرعة انتشار الموجات المستعرضة فيها وذلك بسبب كبر قوى التماسك بين جزيئات المواد الصلبة.

بينما تحدث موجات طولية فقط في كل من السوائل والغازات ، نظرا لأن السوائل والغازات ليس لها مرونة القص أي الاستجابة للتغير في ترتيب طبقات المادة ، أي إنه لحدوث موجات مستعرضة فإن ذلك يستلزم وجود حد معين من قوى التماسك بين جزيئات الوسط وهذا الحد لا يتوافر في السوائل والغازات.

الموجات الدورية:

هي الموجات التي تتكرر بانتظام بكيفية واحدة في فترات زمنية متساوية.

إذا كان الإضطراب الذي يكون الموجة ناتجا عن الاهتزاز الذي يتكرر كل

فترة زمنية معينة تعرف الموجة عندئذ بأنها موجة دورية ويمكن وصفها بالطول الموجي والتردد .

الضوء موجات كهرومغناطيسية

الضوء موجات كهرومغناطيسية :

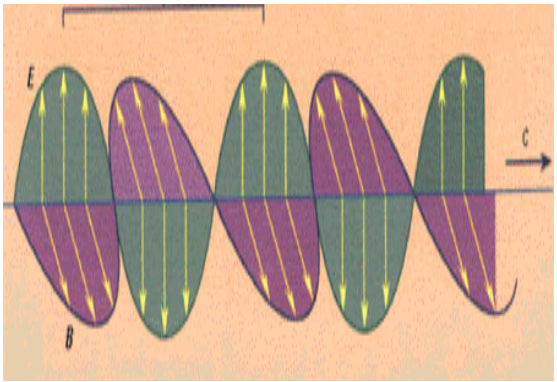
من الجدير بالذكر أن نعرف أن حوالى 0.01% من مجموع الكتلة و الطاقة فى الكون عبارة عن موجات كهرومغناطيسية. وأن حياة البشر كلها مغمورة فى خضم هائل من هذه الموجات. والواقع أن كل الكائنات الحية على كوكب الأرض تعتمد على الموجات الكهرومغناطيسية التى نستقبلها من الشمس وعلى تحويل الطاقة الشمسية بواسطة التمثيل الضوئى إلى الحياة النباتية. فعيون معظم الحيوانات بالإضافة إلى عين الإنسان مهيئة لتكون حساسة لذلك الجزء من الموجات الكهرومغناطيسية المنبعث من الشمس وهو الضوء والذى يشكل الجزء المنظور من ذلك المدى الواسع من الترددات . كذلك فإن النبات الأخضر لديه حساسية عالية للجزء الأكثر شدة من الطاقة الشمسية والذى تمتصه مادة الكلوروفيل فى النبات والذى يشكل أساس نمو النبات عن طريق عملية التمثيل الضوئى .

بالإضافة إلى ذلك فمعظم الوقود الذى تستخدمه الحياة العصرية مثل الفحم و البترول والغاز هو عبارة عن طاقة مختزنة فى باطن الأرض أصلها من الطاقة الشمسية من ملايين السنين . كذلك فالحياة اليومية تعتمد على مصادر للموجات الكهرومغناطيسية قام الإنسان بتطورها . فالغذاء يصنع فى أفران ميكروويف والطائرات توجه بواسطة موجات الرادار و أجهزة التلفزيون والراديو تستقبل موجات كهرومغناطيسية تم بثها من محطات إذاعية و الأشعة تحت الحمراء من الدفايات تستخدم للتدفئة . و عندما تغرب الشمس

و يحل الظلام نستخدم المصابيح الكهربية سواء المتوهجة أو الفلورسنتية أو لمبات النيون فى الإعلانات و كلها ينبعث منها موجات كهرومغناطيسية. وهناك جزء آخر من هذه الموجات غير منظور وهو الأشعة فوق البنفسجية وهو الذى يؤثر على جلد الإنسان . و كذلك الأشعة السينية التى تستخدم للتشخيص فى الطب . وهناك نوع آخر من الموجات الكهرومغاطيسية وهو أشعة جاما و التى تصدر من المواد المشعة.

الطيف الكهرومغناطيسي:

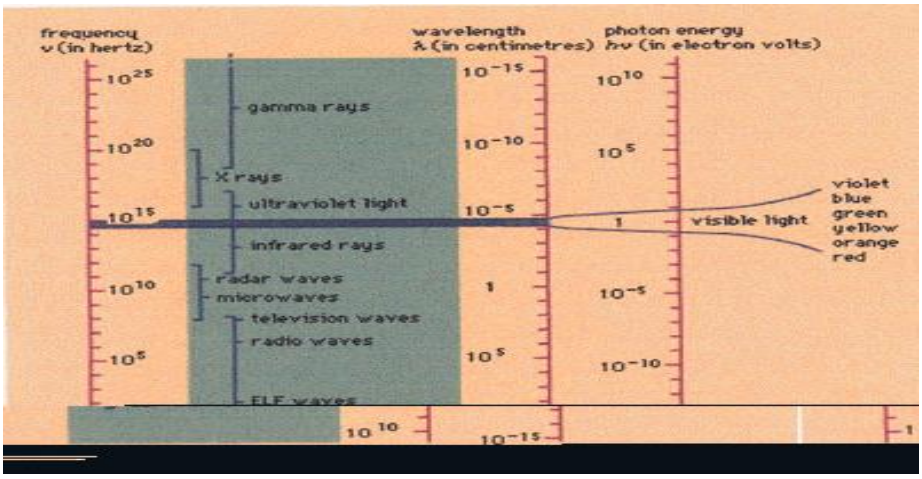
الموجة الكهرومغناطيسية عبارة عن مجالين أحدهما مجال كهربى E متعامد على مجال مغناطيسى B متردد بنفس التردد و كلا المجالان ينتشران فى الفراغ بسرعة عالية و لكنها محدودة و تساوى 300 كيلومتر فى الثانية أى 3 × 810 متر/ ثانية. والمجالان الكهربى والمغناطيسى متعامدان على اتجاه انتشار الموجة كما هو موضح فى شكل (3)



هذا و يختلف تردد الموجات الكهرومغناطيسية (n) وبالتالى طولها الموجى (l) حسب مصدرها و يسمى توزيع الطول الموجى أو التردد على الموجات الكهرومغناطيسية المختلفة بالطيف الكهرومغناطيسة الذى يوضحه الشكل المقابل.

و شكل (4) يوضح التدرج فى الطول الموجى من أشعة جاما gamma raysذات الطول الموجى القصير الذى قد يصل إلى 10-15 سم أى الترددات العالية التى قد تبلغ 10 25هرتز مرورا بالأشعة السينية ثم الأشعة الفوق بنفسجية والمنطقة المنظورة من الطيف الكهرومغناطيسي ثم منطقة الأشعة تحت الحمراء و التى تليها موجات الرادار والموجات الميكروئية ثم موجات التلفزيون والراديو بأطوالها الموجية المختلفة ثم الموجات ذات الترددات المتناهية فى القصر أى:

extremely low frequency waves (ELF waves



و الشكل يوضح كيف أن المنطقة المنظورة التى نطلق عليها الضوء تشغل جزءا صغيرا جدا من الطيف الكهرومغناطيسى . و الجدير بالذكر أنه يضاف إلى الضوء منطقتى الأشعة تحت الحمراء و الفوق بنفسجية ومع ملاحظة أن هذه التسمية جاءت بالنسبة للتردد و ليس بالنسبة للطول الموجى.

الشكل يوضح أيضا طاقة الفوتونات بوحدات الإلكترون فولت(electron volt eV) باعتبار نظرية الكم التى تعتبر الموجات الكهرومغناطيسية كمات من الطاقة

تسمى الفوتونات وأن طاقة الفوتون تساوى مقدار ثابت هو ثابت بلانك مضروبا فى التردد (hn). ونلاحظ أنه كلما نقص الطول الموجى أى زاد التردد زادت طاقة الفوتونات. و يتضح هذا بجلاء عند دراسة إمكانية اختراق هذه الموجات الكهرومغناطيسية للمواد حيث نعرف أن أشعة جاما والأشعة السينية أقدرها على النفاذ خلال المواد .

الخصائص العامة للموجات

مقدمة :

هناك خصائص عامة تصف جميع أنواع الموجات وهى :

الانعكاس و الانكسار و التداخل و الحيود و الاستقطاب و الخاصية الأخيرة وهى الاستقطاب صفة للموجات المستعرضة فقط و لا تحدث فى حالة الموجات الطولي.

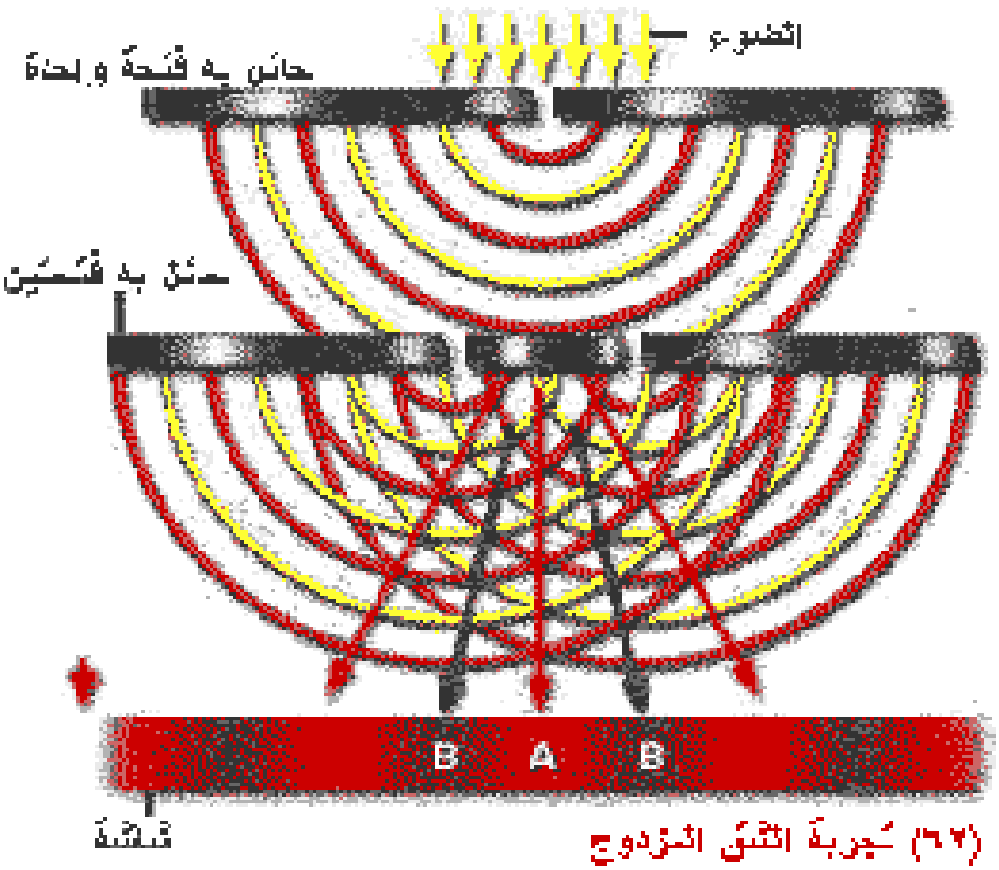
تداخل الموجات :

تحدث ظاهرة التداخل للموجات بصفة عامة عندما تتلاقى الموجات الصادرة من مصادر مختلفة فى منطقة ما. و هى من الخصائص العامة للموجات و تعتمد على مبدأ عام بالنسبة للموجات و هو مبدأ تراكب الموجات principle of superposition أو الاضطرابات بصفة عامة و الذى ينص على أن المحصلة (أى محصلة الاضطراب) عند نقطة هى مجموع الاضطرابات الناتجة عن الموجات المتلاقية.

و لما كان الضوء عبارة عن موجات و هى موجات كهرومغناطيسية لذلك فهى تتبع أيضا مبدأ التراكب. فعندما تمر (أو تتلاقى) موجتان ضوئيتان (أو أكثر) بنقطة فإن المجالات الكهربية لهذه الموجات تتراكب (أو تتحد) طبقا لمبدأ التراكب مكونة المجال المحصلة. (و من المعلوم أن شدة الضوء تتناسب مع مربع شدة المجال الكهربى أى مربع السعة) و لذلك فإن شدة الضوء الناتج تتغير أى تزداد و تقل نتيجة للتداخل و ذلك حسب ما إذا كان التداخل بنائيا أى أن الموجتان تقوى إحداهما الأخرى أو هدميا فى حالة ما إذا كانت الموجتان تضعف إحداهما الأخرى .

تجربة يونج - تجربة الشق المزدوج :

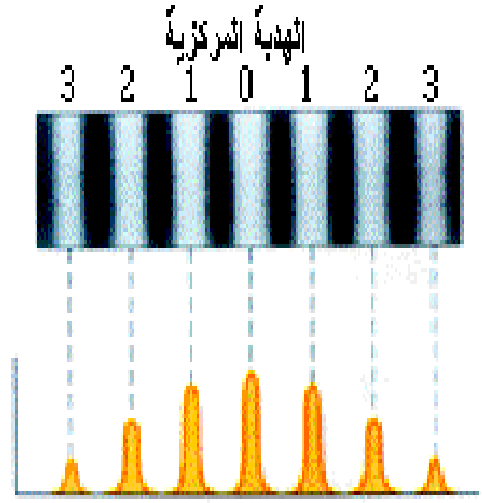
فى عام 1801 قام العالم توماس ينج بإجراء تجربته التاريخية الشهيرة التى أثبت بها الطبيعة الموجية للضوء بأن أوضح أن الموجتين الضوئيتين المتراكبتين تتداخلان . و قد زاد من أهمية هذه التجربة أن ينج أمكنه بواسطتها تعيين الطول الموجى للضوء . و يوضح شكل (62) أساس عمل هذه التجربة حيث يسقط الضوء من مصدر ضوئى أحادى اللون (أى أحادى الطول الموجى monochromatic) على فتحة مستطيلة ضيقة م موضوعة على بعد مناسب منه و يسقط الضوء المار من هذه الفتحة على حائل به فتحتان مستطيلتان ضيقتان و متقاربتان م1 و م2 و لذلك تسميان بالشق المزدوج double slit وهاتان الفتحتان تعملان كمصدرين مترابطين للموجات الضوئية ، حيث أنهما تقعان على نفس جبهة الموجة الصادرة من الفتحة م وبذلك تكون الموجتان الصادرتان منهما لهما نفس التردد و الطور و أيضا نفس السعة طالما كان للفتحتين نفس الاتساع.



شكل (٦٢) تجربة الشق المزدوج

لذلك فإن إضاءة الشق المزدوج بالضوء الصادر من فتحة واحدة أمر هام لإجراء هذه التجربة . و تتقابل الموجات الصادرة من الفتحتين عند الحائل المعد لاستقبالها على مسافة كبيرة نسبيا من الشق المزدوج و هذه الموجات تتداخل و يكون التداخل عند النقاط المختلفة على الحائل بنائيا أو هدميا حسب الفرق فى المسار الذى قطعته الموجات من الفتحتين إلى الحائل . و يظهر على الحائل مجموعة التداخل أو مجموعة من هدب التداخل كمناطق مضيئة (فى حالة التداخل البنائى) تتخللها مناطق مظلمة (فى حالة التداخل الهدمى) .

وشكل (63) يوضح أن الهدبة المركزية المتكونة عند النقطة التى تقابل منتصف المسافة بين الفتحتين تكون هدبة مضيئة و ذلك لأن طول المسار الذى تقطعه الموجتان الصادرتان من الفتحتين إلى هذه النقطة يكون متساويا أى أن فرق المسار يساوى الصفر و بذلك يكون التداخل بنائيا و تسمى الهدبة المركزية أيضا الهدبة الصفرية.



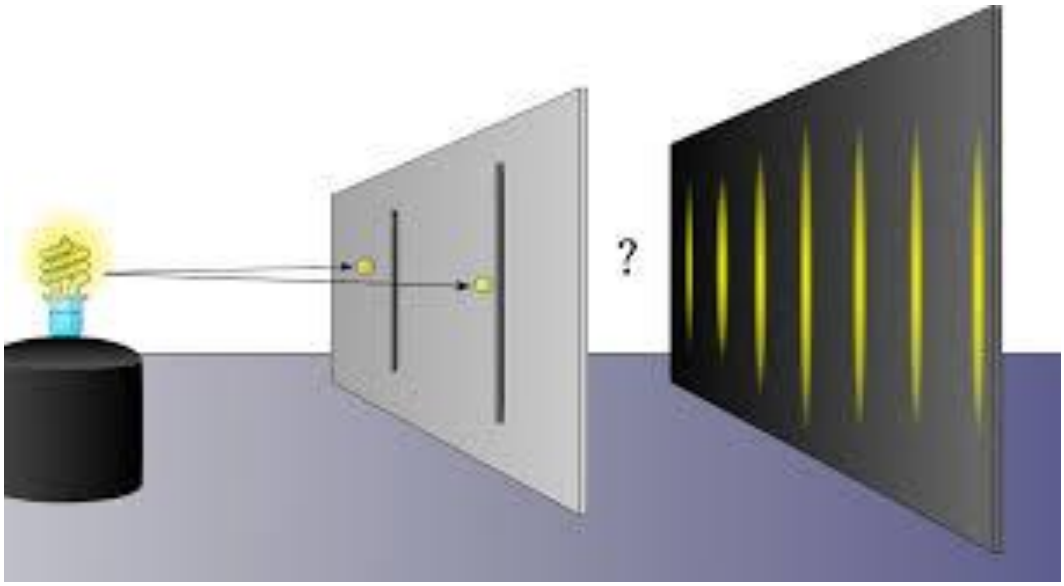
شكل (٦٣) الهدبة المكونة في تجربة الشق المزدوج

أما عند أى نقطة على جانبى الهدبة المركزية فإن المسافة التى تقطعها الموجات الصادرة من الفتحتين تختلف و لذلك فإن الموجات التى تتقابل عند هذه النقطة تتداخل تداخلا بنائيا أى تحدث تقوية للشدة إذا كان الفرق فى المسار الذى قطعته الموجتان مساويا عددا صحيحا من الأطوال الموجية

و بصفة عامة يكون التداخل بنائيا عندما يكون فرق المسار مساويا ml حيث m تساوى صفر أو عدد صحيح . و يتكرر هذا الوضع على الجانب الآخر من الهدبة المركزية. أما عن النقاط التى يكون فيها الفرق فى المسار مساويا عددا فرديا من أنصاف الطول الموجى فإن الموجات التى تصل إلى هذه النقاط تتداخل تداخلا هدميا أى يكون عند هذه النقاط ظلمة .

وبصفة عامة فإن شرط تكون الهدب المظلمة هو أن يكون فرق المسار مساويا (l + m½) حيث m تساوى صفر أو عدد صحيح . و تتغير شدة الإضاءة للهدب المضيئة كلما بعدنا عن الهدبة المركزية كما يوضحه الشكل .

في التجارب بعد ذلك استبدلت الثقوب بشقوق ضيقة واستخدم مصدر أحادي اللون وبذلك أصبح لدينا جبهات اسطوانية بدلا من الجبهات الموجية الكروية.



استنتاج العلاقة

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{Y\,d}{n\,D}}$$

حيث:

d المسافة بين الشقين

D المسافة بين الشاشة والشقين

Y المسافة بين هدبين متتاليين ـ الهدب المضيء الأول والهدب المركزي ـ

$\boldsymbol{\lambda}$ الطول الموجي للضوء المستخدم

n رتبة التداخل .

ملاحظات:

1. ظاهرة التداخل في الضـــوء من الظواهر التي لا يمكن تفســـيرها بالنظرية الجســيمية لنيوتن مثلها مثل ظاهرتي الحيود والاســتقطاب (وقد ســبق الشــرح عنهما) وعند دراســة التداخل أثبت فرينل الطبيعة الموجية للضــوء وبرهن أن الشـــعـــاع الضـــوئـــي عـــبـــارة عـــن مـــوجـــات عـــرضـــيـــة

2. لا يحدث التداخل الا مع الموجات المتوافقة زمنيا وأظهرت التجارب أن الشـعاع الصـادر من مصـدرين مختلفين للضـوء لا يعطي تداخلا حتى اذا كان المصدران متطابقين ومن هنا نجد أن الاشعة لا تكون متوافقة زمنيا الا اذا كانت صـادرة من نفس المصـدر ولكي نحصـل على تداخل في الضـوء يجب أن تكون الأشـعة آتية من مصـدر ضـوء واحد وفي اتجاهين مختلفين بعضـها على البعض الآخـــر بـــواســـطـــة جـــهـــاز ضـــوئـــي خـــاص

3. تكون صـورة التداخل على الشـاشـة أكثر وضـوحا عندما يصـدر المصـدر الضـــوئي اشـــعاعا وحيد اللون ويمكننا الحصـــول على هذا الشـــعاع بواســـطة مرشحات ضوئية ـــ زجاجات خاصة تسمح بمرور ضوء بلون واحد أي بتردد واحد وطول موجي معين.

المصطلحات العلمية المتعلقة بظاهرة التداخل

ظاهرة التداخل

هي الظاهرة التي تنشأ نتيجة التقاء قطارين من الموجات وتراكبهما معا مما ينتج مناطق تزداد فيها شدة الموجات ومناطق تنقص فيها الشدة

أو

هي ظاهرة تقوية واضعاف الذبذبات في نقاط مختلفة من الوسط كنتيجة لتركيب موجات متلازمة

مناطق التداخل الهدام

هي المناطق التي تنقص فيها الشدة وينعدم الاضطراب فيما يشبه مناطق العقد في الموجات الموقوفة

مناطق التداخل البناء

هي المناطق التي تزداد فيها الشدة ويكون الاضطراب أكبر ما يمكن فيما يشبه مناطق البطون في الموجات الموقوفة

خط التداخل المركزي

هو الخط الذي ينصف المسافة بين المصدرين ويكون عموديا عليه

نمط التداخل

ترتيب خطوط التداخل يمين ويسار خط التداخل المركزي

خط التداخل البناء

هو ذلك الخط الذي يمر بجميع النقاط التي تبعد عن المصدرين مسافتين الفرق بينهما يساوي صفرا أو عددا صحيحا من الطول الموجي

خط التداخل الهدام

هو ذلك الخط الذي يمر بجميع النقاط التي تبعد عن المصدرين مسافتين الفرق بينهما يساوي عددا فرديا من نصف الطول الموجي

هدب التداخل

مصطلح يطلق على خطوط التداخل البناء (المضيئة) وخطوط التداخل الهدام (المعتمة) في الضوء

شرط التداخل البناء

أن يكون الفرق بين مسلكي الموجات مساويا لعدد زوجي من أنصاف الموجات أو مساويا للصفر

أو

أن يكون فرق المسير بين الحركتين الموجيتين مساويا للصفر أو عددا صحيحا من الطول الموجي

شرط التداخل الهدام

ان يكون الفرق بين مسلكي الموجات مساويا لعدد فردي من انصاف الموجات.

وقد أوضحت تجربة الشق المزدوج لينج هذه الظاهرة فى الضوء.

قياس التداخل Interferometry

قياس التداخل Interferometry هي تشخيص خصائص اثنين أو أكثر من الليزرات أو الموجات بدراسة نمط التداخل الحادث من تراكبهم .الأداة المستخدمة لتداخل الموجات معاً تسمى مقياس التداخل .interferometer ويعد قياس التداخل تقنية هامة في حقول علم الفلك، بصريات الألياف، علم القياس الهندسي ,optical metrology ,علم المحيطات , seismology, quantum mechanics, فيزياء البلازما and , remote sensing

مقاييس التداخل

مقياس التداخل هو آلة تستخدم تداخل الموجات لإعطاء قياسات دقيقة. يمكن لمقياس التداخل قياس مسافات قصيرة جدًا، أو تغيّرات في كثافة المادة أو خصائصها الأخرى. وتعمل معظم مقاييس التداخل بالضوء أو بموجات الراديو، إلا أن بعض الأنواع الشائعة تستخدم موجات الضوء المرئي. وتتناول هذه المقالة بصورة رئيسية مقاييس التداخل الضوئي. وللحصول على معلومات عن مقاييس التداخل لموجات الراديو، انظر: التلسكوب اللاسلكي؛ المرصد.

يقسم مقياس التداخل الضوئي البسيط حزمة الضوء إلى حزمتين أو أكثر ويجمعها ثانية. وتُحدث الحِزَم المُعاد جمعها لمعانًا على الشاشة أو على أي جسم آخر، مكوّنة نمط تداخُل (سلسلة من الخطوط المضيئة والمعتمة). لمعرفة أسباب ظهور أنماط التداخل، انظر: التداخل.

ويبيّن نمط التداخل أي فروقات في المسارات التي تتخذها حزمتان ضوئيتان. ويحلّل العلماء هذه الفروقات لتحديد قياساتهم. فقد تنعكس إحدى الحزمتين من مرآة يجري قياس ملاستها، بينما لا تنعكس الحزمة الأخرى إلا من مرآة ملساء. وأي شائبة في المرآة تحت الاختبار، مثل جبل مجهري أو وادٍ مجهريّ، ينتج عنها تشوّه في نمط التداخل. وتستطيع بعض مقاييس التداخل مراقبة التغيرات السريعة في درجات الحرارة والكثافة داخل لهب. ويمكنها أيضًا قياس المسافات الدقيقة مثل حجم نمو النبات في الثانية الواحدة. وقد تمكّن العالم الإنجليزي توماس يونج في أوائل القرن التاسع عشر الميلادي، من توضيح الطبيعة الموجية للضوء باستخدام مبدأ التداخل. وفي عام 1881م، اخترع العالم الأمريكي ألبرت ابراهام ميكلسن مقياس تداخل لقياس حركة الأرض. ويمكن تصنيف مقاييس التداخل في صنفين: صنف تنقسم فيه جبهة الموجة wave front إلى شطرين، وتتكون ظواهر التداخل[ر] حيث يتلاقى هذان الشطران (مقياس رايْلي)

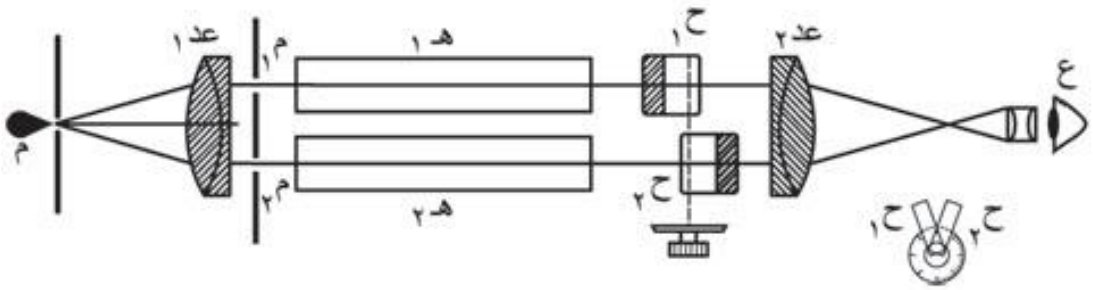
أما الصنف الثاني فتنقسم فيه سعة الموجةamplitude إلى قسمين أو أكثر، وتتكون ظواهر التداخل حيث تتلاقى هذه الأقسام. وتقع في هذا الصنف مقاييس التداخل: (ميكْلسون Michelson، جامان Jamin ، تويمان - غرين Twymann-Green، ماخ - تسنْدر Mach-Zhender، فابري - بيرو Fabry-Perot).

1- مقياس رايْلي:

يتكون هذا المقياس الذي يشبه جهاز شقا يانغ في التداخل[ر] من شق ضيق م يقسم الحزمة الواردة عليهما إلى حزمتين تخترقان أنبوبين متماثلين تمام

التماثل هـ1، هـ2، ثم تسقطان على العدسة عد2 التي تجعل الحزمتين تلتقيان في مستويها المحرقي حيث تتكون أهداب التداخل.

الشكل (١)

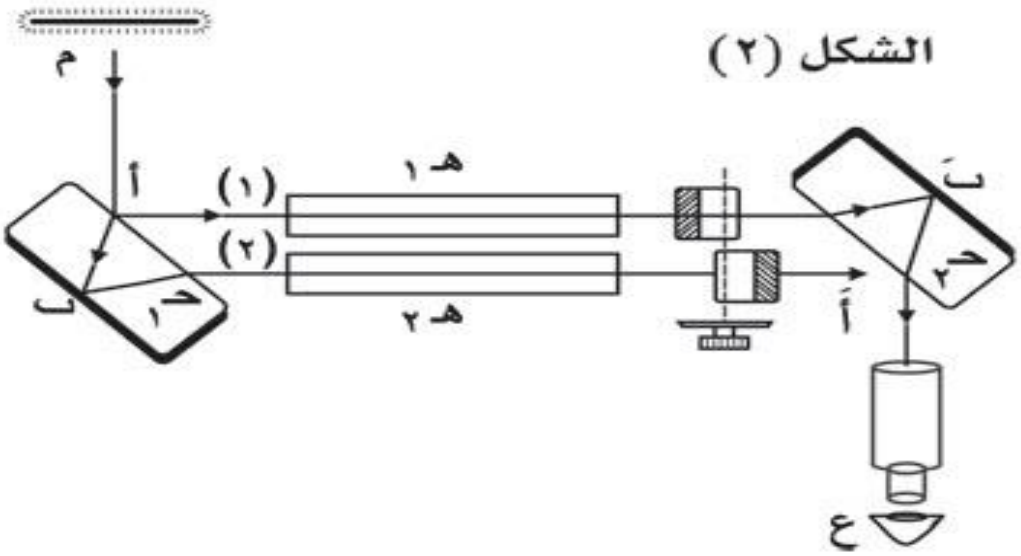


فإذا اختلف الغازان اختلف المساران الضوئيان وانزاح الهدب المركزي انزياحاً يتناسب مع الفرق بين المسارين Δ الذي يساوي: ل (ن2- ن1)، حيث ل: طول كلٍ من الأنبوبين و(ن2 - ن1) الفرق بين قرينتي انكسار الغازين.

ويستعمل منبع ضوئي أبيض اللون فيكون الهدب المركزي في منطقة التداخل أبيض اللون محفوفاً بالألوان. ويقدَّر فرق المسار Δ باستعمال مكافىء جامان الذي يتكون من لوحين زجاجيين متماثلين مادة وثخناً ح1، ح2 مثبتيْن على محور مشترك، ويميل أحدهما على الآخر بزاوية صغيرة. يُجعل اللوحان في طريقي الحزمتين، فإذا أُديرا حول محورهما قصُر المسار الضوئي لإحدى الحزمتين وطال مسار الحزمة الأخرى بسبب اختلاف ثخن ما تخترقه كل حزمة من اللوح الذي يعترض مسارها. إذا أُدير المكافىء بالزاوية المناسبة عوَّض فرق المسار الناجم عن اختلاف الوسطين في الأنبوبين ويعاير المكافئ ليعطي Δ مباشرة.

ويستعمل مقياس رايْلي أيضاً لكشف الشوائب التي تشوب الغازات، كما يستعمل لقياس الفروق البسيطة بين قرائن انكسار المحاليل والاستدلال من ذلك على الاختلافات في تركيبها. كذلك أمكن استعمال هذا المقياس لدراسة تغير قرينة انكسار غازٍ باختلاف الضغط ودرجة الحرارة.

2- مقياس جامان:



يتكون المقياس، كما يدل الشكل 2، من لوحيْن ثخينين من الزجاج جـ1، جـ2 متماثلين مادة

وثخناً والوجه الخلفي في كلٍ منهما عاكس عكساً شديداً. ويهيأ اللوحان بحيث يكونان رأسيين ومتوازيين وبحيث يكون سطحاهما غير العاكسين متقابلين.

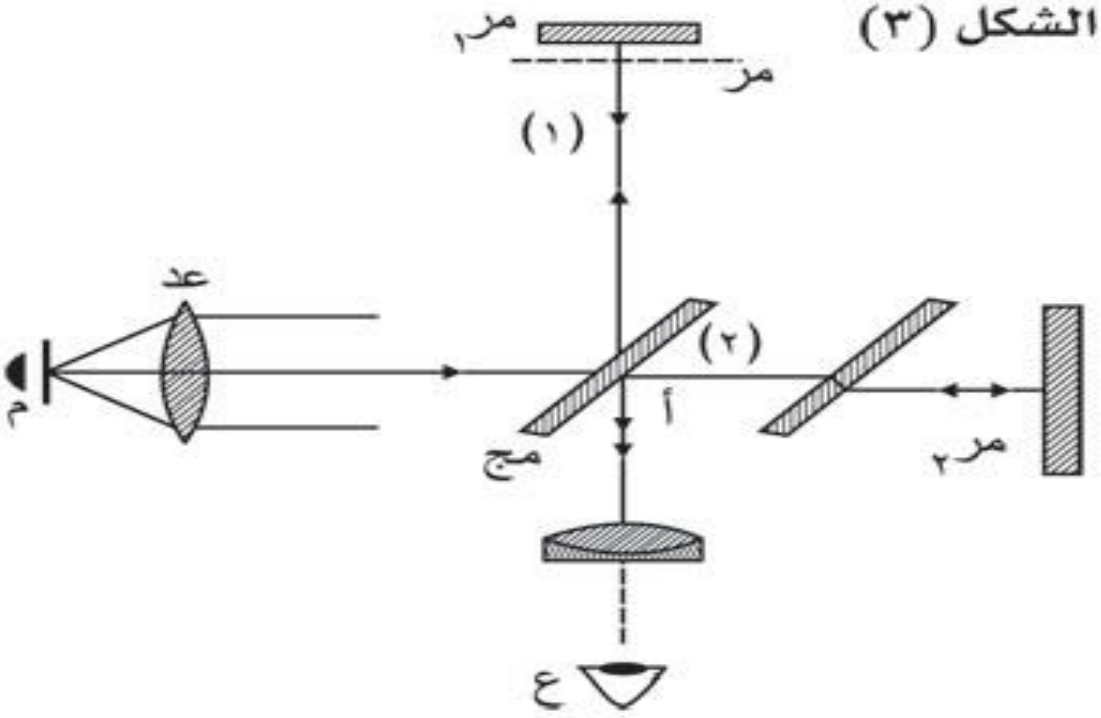
فإذا سقط على اللوح جـ1 شعاع من المنبع المنبسط الوحيد اللون م بزاوية ورود فإنه ينقسم بالانعكاس عن وجهيْ اللوح عند أ وب إلى شعاعين متوازيين (1) وبعد أن يخترق هذان الشعاعان الأنبوبين المتماثلين هـ1 وهـ2 يسقطان على اللوح الآخر جـ2 ويجتمعان بعد انعكاسهما عن وجهيْ هذا اللوح عند بَ وأَ، فيكون الفرق بين المسارين منعدماً إذا كان اللوحان متوازيين تمام التوازي.

ولا تتكون الأهداب إلا إذا عُدِّل توازي اللوحين بأن يُدار أحدهما بزاوية صغيرة حول محور أفقي فتتكون حينئذٍ أهداب مستقيمة موازية لمحور دوران اللوح، وتكون مستقرة في اللانهاية وتُرصد من خلال منظار مناسب. يستعمل مقياس جامان للأغراض نفسها التي يستعمل لها مقياس رايْلي.

3- مقياس ميكلسون:

يتكون المقياس من منبع ضوئي منبسط م وحيد اللون يقع في المستوي المحرقي للعدسة المقربة عد التي تحوِّل الحزمة الساقطة عليها إلى حزمة تكاد تكون متوازية، تنقسم الحزمة إلى حزمتين متساويتين شدة (1) و(2).

الشكل (٣)

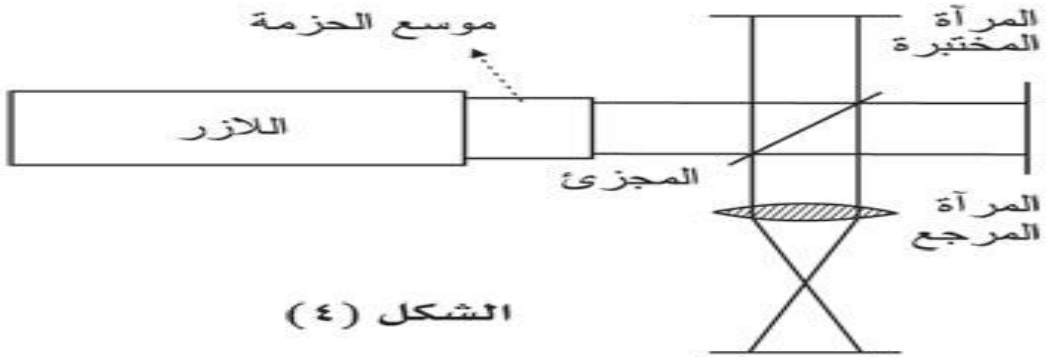


ناظمياً على مرآتين شديدتي العكس مر1، مر2 فتنعكسان عنهما وترتدان نحو المجزئ مج فتنفذ الحزمة (1) منه وتنعكس الحزمة (2) عنه ويتطابقان في مساريهما بعد أ، ويكون فرق المسار بين الحزمتين هو نفسه الذي يحدث بين حزمتين تنعكس إحداهما عن مر1 والأخرى عن مرآة مر هي خيال مر2 في المجزئ مج1. فإذا كانت مر توازي مر1كانت الأهداب شبيهة بأهداب صفيحة متوازية الوجهين مكوَّنة من الهواء بين الوجهيْن المتوازيين مر1 ومر، أي أنها أهداب حلقية كأهداب تساوي الميل (انظر التداخل)، ويتم رصدها مباشرة أو من خلال منظار ملائم. أما إذا كان بين مر ومر1زاوية حرفها رأسي تكوّنت أهداب مستقيمة رأسية.

ويستخدم مقياس ميكلسون لأغراض متعددة غير قياس قرائن الانكسار وتغيراتها، فهو يستعمل مثلاً لقياس طول موجة ضوء وحيد اللون بان يضاء

المقياس بهذا الضوء ويحصى عدد الأهداب ك الحلقية المنزاحة عبر خيط المحكّمة من أجل إزاحة لإحدى المرآتين قدرها ل، ويحسب طول الموجة المستعمل من العلاقة:

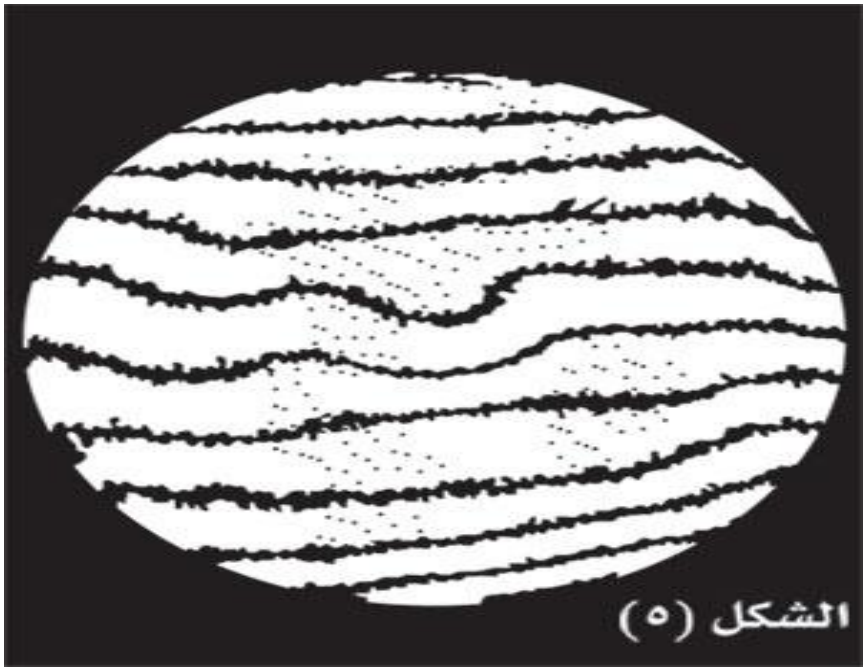
$$\lambda ك = ٢ل \qquad (١)$$



الشكل (٤)

كذلك يستخدم مقياس ميكلسون في دراسة طبيعة الضوء الوحيد اللون من حيث كونه بسيطاً أو مؤلفاً من ضوءين بسيطين أو أكثر. فإذا كان الضوء مؤلفاً من ضوءين بسيطين متجاورين تكونت مجموعتان من الأهداب المتجاورة. فإذا أُزيحت إحدى المرآتين بحيث يصبح الضوءان متعاكسين في الطور انطبقت الأهداب المضيئة في إحدى المجموعتين على المظلمة في المجموعة الثانية واختفت ظواهر التداخل، وتعود الأهداب إلى الظهور واضحة عندما تزاح المرآة ويصبح الضوءان متفقين في الطور ثم تختفي من جديد عندما تؤدى إزاحة المرآة إلى أن يصبح الضوءان متعاكسين في الطور مرة أخرى، فإذا كان مقدار إزاحة المرآة اللازم للانتقال من اختفاء إلى الاختفاء التالي يساوي ل، فإن الفرق بين الطولين الموجيين ل) للضوءين يعطى بالعلاقة:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^{2}}{2L} \qquad (2)$$

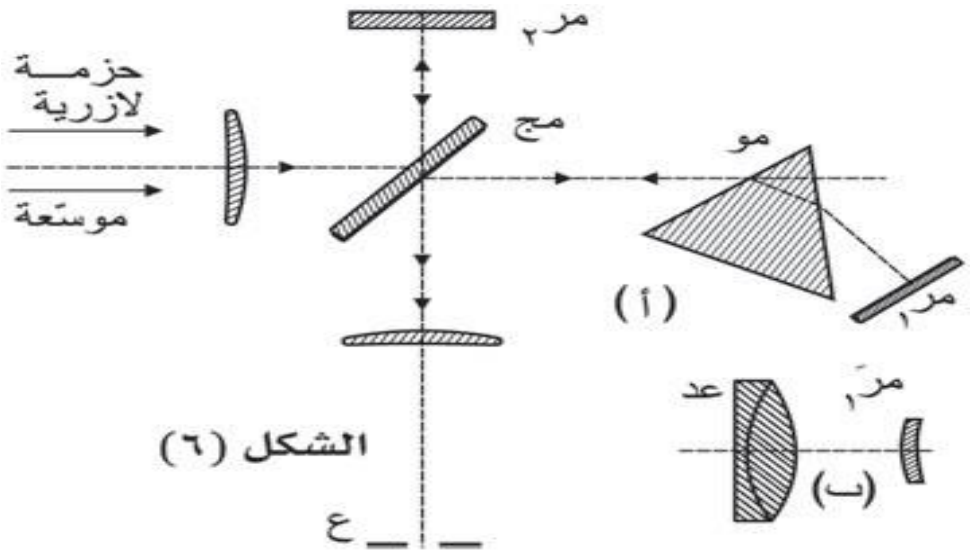


4- مقياس تويمان - غرين:

أجرى تويمان وغرين تعديلاً طفيفاً على مقياس ميكلسون، وذلك باستعمال منبع ضوئي نقطي م0 وإن استعمال ضوء اللازر في هذا المقياس جعله مفيداً جداً في اختبار أدوات الضوئية.

يبين الشكل 4 استعمال مقياس تويمان - غرين لاختبار استواء مرآة مستوية، ويبين الشكل 5 مثالاً عن عيوب السطح المختبر حيث تظهر التعرجات. ويمكن تعديل مقياس تويمان - غرين كي يُستخدم في اختبار أدوات ضوئية مختلفة كالموشور والمرايا والعدسات الكروية. فمثلاً لاختبار موشورٍ ما مو يجعل هذا الموشور وفق الترتيب المبين في الشكل 6. فإذا لم يكن في

الموشور أي عيب ظهرت الإضاءة في المستوي ع منتظمة. أما إذا كان في الموشور عيب فإن الموجة المستوية التي تسقط عليه يتشوه استواؤها مرتين حين تخترق الموشور ذهاباً وإياباً، وتتداخل هذه الموجة التي تشوه استواؤها مع الموجة المستوية المنعكسة عن المرآة المرجعية مر2 فتتولد أهداب تدل مواضعها على أماكن العيب في الموشور، ويمكن أن يعود هذا العيب إلى عدم استواء وجهيْ الموشور أو إلى إجهادات في نقاط مختلفة من زجاجه.



الشكل (٦)

5- مقياس فيزو

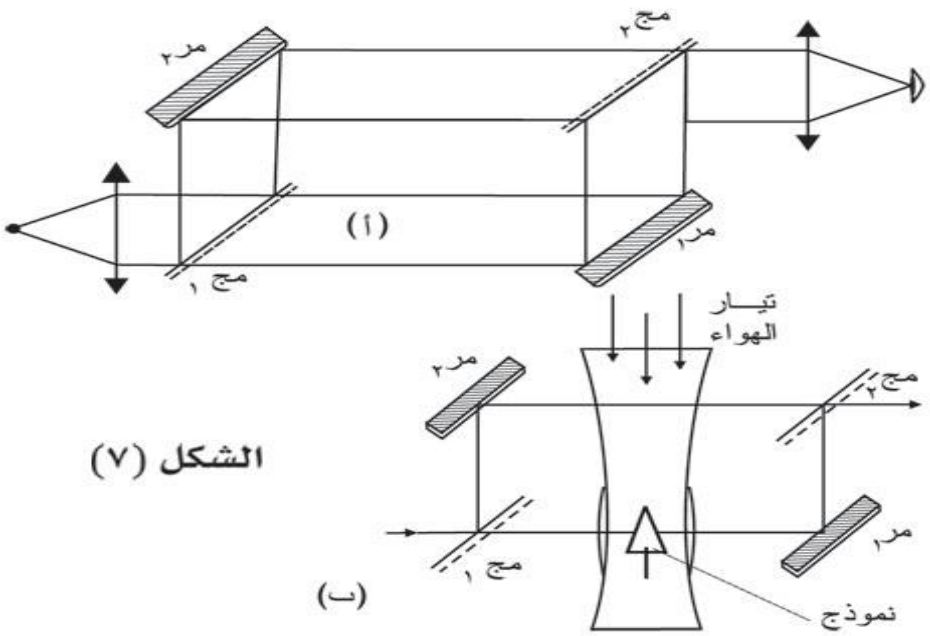
هو أكثر مقاييس التداخل استعمالاً في قياس الثخانات والانزياحات الميكانيكية الصغيرة الناجمة عن المرونة والتمدد الحراري، ويمكن النظر إليه على أنه مقياس تويمان ـ غرين المطوي، يكون فيه السطحان العاكسان متماسين أو متجاورين جداً، ويمكن أن يكونا مستويين أو كرويين أو غير كرويين. ويتم التداخل بين الحزم المنعكسة عن السطحين، ويوافق كلَّ هدب فرق مسار ثابت، وبالتالي ثخن ثابت للطبقة بين السطحين، فمواضع

الأهداب تدل على المحلات الهندسية لثخانات الطبقة بين السطحين لذلك تسمى أهداب تساوي الثخن (انظر التداخل).

6- مقياس ماخ ـ تسنْدر:

هو تحوير لمقياس ميكلسون ويعتمد مثله على انقسام السعة، ويتـكون من لوحين مجزئين مج1 مج2

وفبصمرآتين عاكستين عكساً شديداً مر1 ومر2.



الشكل (٧)

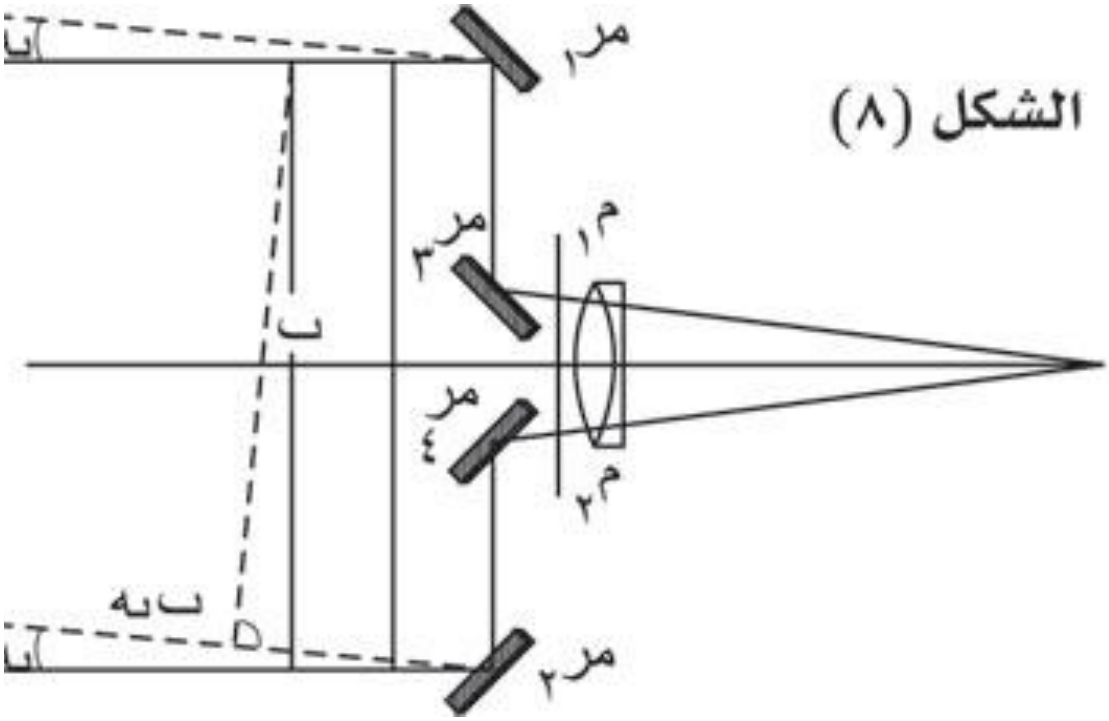
وتقع العناصر الأربعة عند ذرى مستطيل أو مربع، والمرايا الأربع متوازية (الشكل - 7:أ).

وتقوم معظم تطبيقات هذا المقياس على دراسة جريان الهواء في أطرزةٍ من الطائرات والصواريخ والقذائف كما هو مبين في (الشكل -7:ب).

ولأن ضغط الهواء يختلف بجريانه فوق الطراز فإن قرينة انكساره تختلف بالمثل ويكون المسار الضوئي الفعلي للحزمة مختلفاً باختلاف الموضع،

وحيث يصبح فرق المسار مساوياً عدداً فردياً من نصف طول الموجة يحدث تداخل هدام ويظهر هدب مظلم. ويمكن استنتاج نموذج الجريان رياضياً من صورة التداخل.

إن الاختلاف بين مقياس ميكلسون ومقياس ماخ هو أن كلاً من الحزمتين تتخذ مساراً واحداً في مقياس ماخ في حين تتخذان مسارين متعاكسين في مقياس ميكلسون.



الشكل (٨)

7 ـ مقياس ميكلسون النجمي :

لما كان يه القطر الظاهري للنجم صغيراً جداً، وجب أن يكون قطر فتحة جسمية المنظار كبيراً يغطي المسافة (ب) بين الشقين فيما لو استعمل شتاينغ وهي من مرتبة آحاد الأمتار في حالة النجوم البعيدة، أي أكبر كثيراً من قطر فتحة أية عدسة جسمية جيدة يمكن صنعها، إضافة إلى أن أهداب التداخل تكون شديدة التراص بحيث يصعب تمييزها. وقد استطاع ميكلسون تخطي

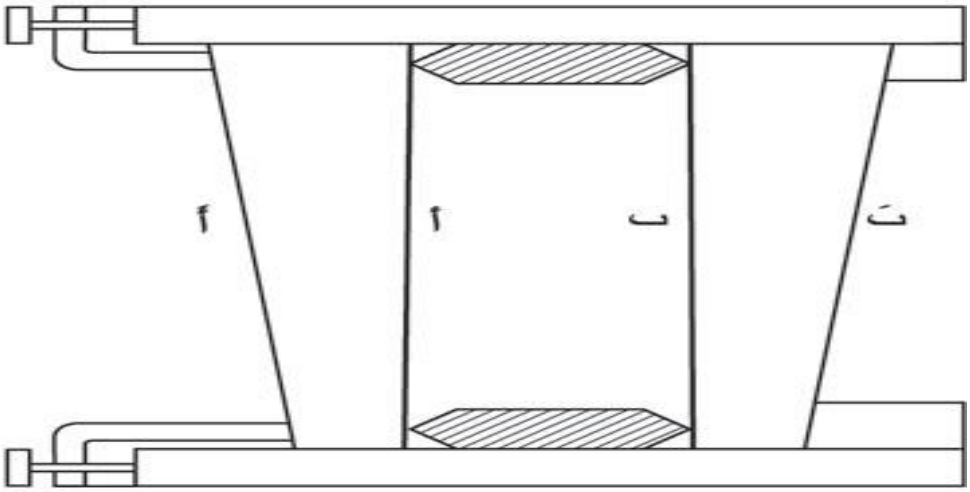
هذه الصعوبة بتصميم مقياس التداخل النجمي الذي يُنسب إليه والذي يبينه (الشكل ـ 8).

8 ـ مقياس فابري ـ بيرو:

إن كل المقاييس السابقة يتم التداخل فيها بين حزمتين، أما مقياس فابري ـ بيرو فيتم التداخل فيه بين أمواج متعددة (انظر التداخل)، وهو يتكون، كما هو مبين في (الشكل ـ9)، من لوحين سميكين من الزجاج أو الكوارتز، والوجهان المهمان في المقياس هما الوجهان الداخليان أ وب العاكسان

عكساً جزئياً واللذان تنعكس عنهما الموجات الساقطة انعكاسات متعددة.

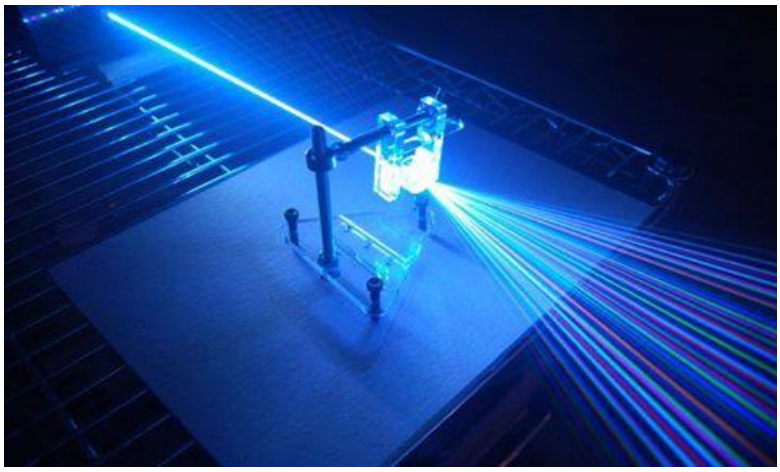
ولا تختلف مواضع الأهداب الحلقية المضيئة المتكونة في مقياس فابري ـ بيرو عن مواضع الأهداب المضيئة الناجمة عن تداخل حزمتين، ولكنها تمتاز عنها بأنها دقيقة جداً بالنسبة إلى البعد الهدبي، لذلك يعد هذا المقياس أدق مقاييس التداخل المستعملة لقياس الأطوال الموجية ودراسة تركيب الخطوط الطيفية، ويمكنه أن يميّز الأهداب الخاصة بضوءين متقاربين جداً في الطول الموجي، ويمكن أن يميز المقياس حينئذ بين ضوءين يختلفان بمقدار 0.0042 أنغستروم إذ يظهر طيفاهما منفصلين انفصالاً واضحاً.



الشكل (٩)

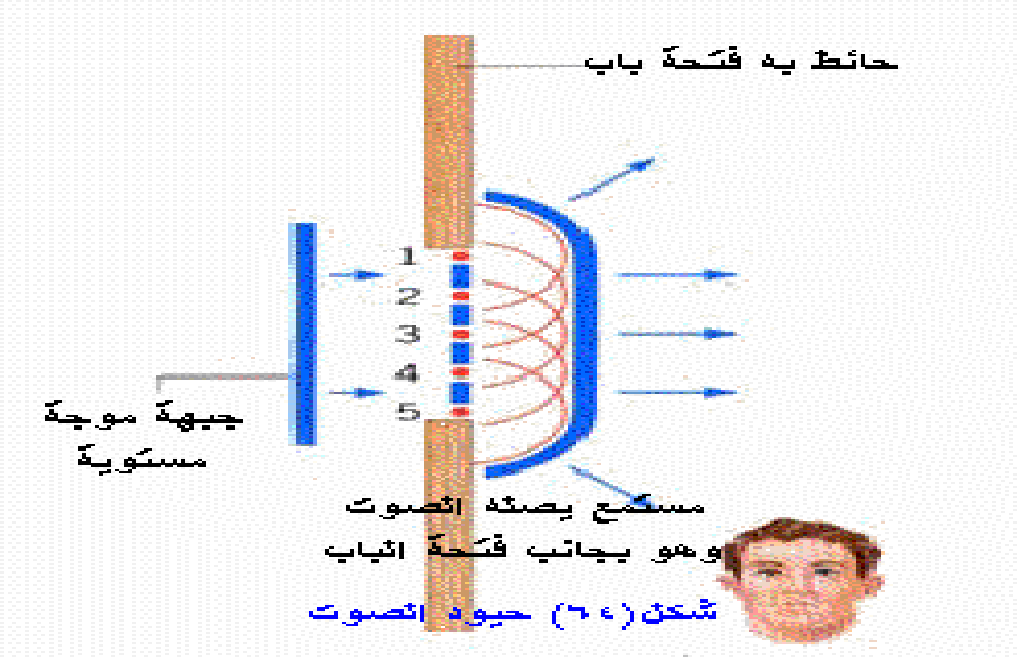
وقد لمع اسم ألبِرْت ميكلسون الفيزيائي الأميركي (1852 - 1931) حين ابتكر مقياس التداخل الذي سمي باسمه والذي كان ذا دقة عالية استطاع أن يستخدمه في قياسات دقيقة لسرعة الضوء في الهواء وفي السوائل. وقد أجرى ميكلسون بوساطته تجارب عديدة في برلين عام 1881 وفي كليفْلَنْد عام 1887 كانت الغاية منها بيان حركة الأرض بالنسبة للأثير وهو الوسط الذي افتُرض أن الأمواج الضوئية تنتشر فيه، وكانت نتيجة التجارب سلبية وأدت إلى ظهور النظرية النسبية لأينشتاين.

حيود الضــوء : Diffraction



الحيود :

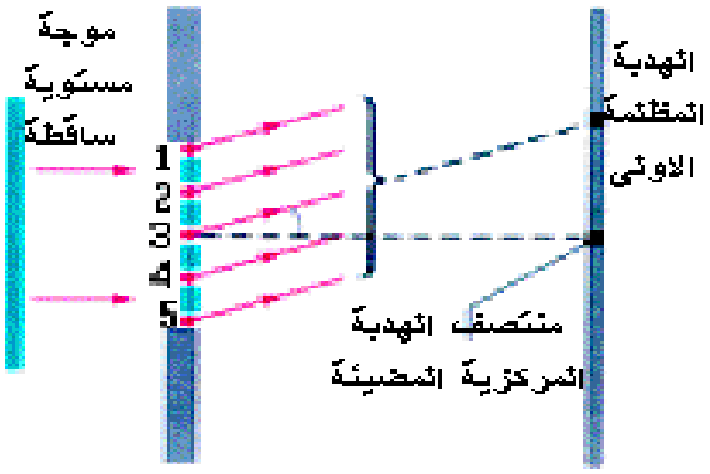
هو خاصية من الخصائص العامة للموجات و تحدث للموجات عندما تمر بحافة عائق أو خلال فتحة ضيقة كما يحدث عند مرور الصوت خلال فتحة باب مثلا.



شكل (٦٤) حيود الصوت

و لهذا فإن الشخص الموجود بجانب باب حجرة مفتوح (كما فى شكل 64) يمكنه سماع الصوت الصادر فى الحجرة حتى ولو لم يكن أمام فتحة الباب مباشرة. ولشرح الحيود نستخدم أيضا مبدأ تراكب الموجات الذى تفسر على أساسه ظاهرة التداخل. والواقع أن ظاهرة الحيود تنشأ أيضا من تداخل الموجات كما سنرى فيما بعد. فعلى أساس قاعدة Huygens هيجن (1629-1695) فأنه عند أى لحظة زمنية تعتبركل نقطة على جبهة الموجة مصدرا لمويجات كروية صغيرة تنتشر بنفس سرعة الموجة وأنه عند أى لحظة زمنية تالية فإن السطح الذى يغلف هذه المويجات يعتبر الجبهة الجديدة للموجة .

وشكل (65) يوضح موجة مستوية تسقط على فتحة فى حائل و إذا اعتبرنا مثلا خمس نقاط فى هذه الفتحة على جبهة الموجة فإن كل نقطة ستعتبر مصدرا لمويجة و بعد لحظة زمنية يكون السطح المغلف لهذه المويجات هو الجبهة الجديدة للموجة .



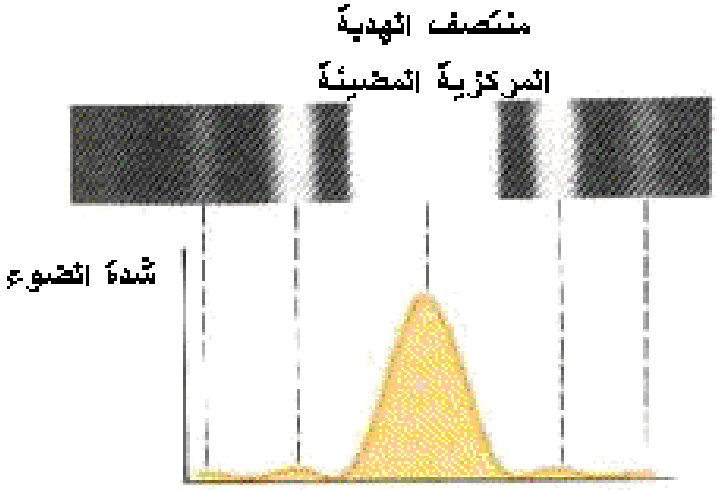
شكل (٦٥) حيود الضوء

وإذا كانت هذه الموجات موجات صوتية والفتحة هى باب حجرة فإن الشخص الموجود على جانب الباب سيصل اليه الصوت الصادر من الحجرة . وما يحدث للصوت يحدث تماما للضوء . ولكن ربما نتساءل إذا كنا نسمع الصوت و نحن على جانبى الباب بسبب حيود الموجات الصوتية ، فلماذا لا نرى ما فى الحجرة و نحن على جانبى الباب بسبب حيود الموجات الضوئية. الواقع أن الضوء يحيـد أيضا و لكن درجة انحنائه أو حيوده تكون صغيرة بما لا يكفى أن نرى ما بداخل الحجرة .

فدرجة الانحناء تعتمد على النسبة بين الطول الموجى و اتساع الفتحة و تبعا لذلك يكون حيود الضوء مدركا كلما كان اتساع الفتحة صغيرا بالنسبة للطول الموجى . والشكل يوضح ماذا يحدث لموجة مستوية (أشعة متوازية) تسقط على فتحة ضيقة يوجد أمامها حائل على مسافة كبيرة منها. يمكن اعتبار كل نقطة من نقاط هذه الفتحة مصدرا لمويجات تنتشر بنفس سرعة الموجة . و سنعتبر للسهولة خمس من هذه النقاط . سنجد أنه عند النقطة التى تقابل منتصف الفتحة فإن الموجات التى تصلها تتداخل تداخلا بنائيا و تظهر هدبة مركزية مضيئة.

بينما على جانبى الهدبة المركزية يكون التداخل إما بنائيا أو هدميا وتظهر مناطق أو هدب مضيئة و هدب مظلمة على جانبى الفتحة أى أن الضوء يحيد عن مساره و تظهر هدب مضيئة فى أماكن على جانبى الفتحة لا

يمكن تفسير تكونها إلا باعتبار أن الضوء عبارة عن موجات .



شكل (٦٦) هدب حيود الضوء الناتج عن فتحة واحدة

شكل (66) يوضح صورة فوتوغرافية لهدب الحيود الناشئة عن فتحة واحدة ضيقة single slit diffraction و يوضح الرسم البيانى توزيع الإضاءة على هدب الحيود هذه .

تفسير ظاهرة الحيود

تنتج ظاهرة الحيود بسبب تداخل موجات بدائيّة عند حدود الجبهة المُنقطعة للموجة في الحاجز، ويلاحظ أنّه كلما كان حجم الفتحة أو الحاجز صغيراً مقارنةً مع طول الموجة كانت هذه الظاهرة أكثر وضوحاً. الموجات التي تشملها ظاهرة الحيود الموجات المائيّة: يلاحظ في ظاهرة الحيود المنتشرة على سطح الماء، أنه كلما كان الحاجز كبيراً مقارنةً بطول تلك الموجة فإنها لا تتكوّن خلفه موجات، أمّا عندما يكون حجم هذا الحاجز صغيراً مقارنةً بطول الموجة فإنه لا يؤدي هذا الأمر إلى أيّ تغييرٍ يذكر في قلب الموجة، وأثناء مرور الموجة من خلال فتحةٍ في الحاجز يلاحظ أنه في الفتحة الكبيرة

لا تؤدّي إلى حدوث ظاهرة الحيود على وجهٍ تقريبي، وذلك لِعدم انعطاف تلك الموجات، أمّا خلال مرور تلك الموجات من فتحةٍ صغيرة فإنّ ظاهرة الحيود تحدث بشكلٍ ملحوظ وواضح، وأثناء مرور الموجة من خلال فتحةٍ صغيرةٍ جداً فإنها تقوم بتغطية السطح الواقع خلف الحاجز بكامله.

ملاحظة

عندما يكون حجم الحاجز أو الفتحة مقاربا بالقياس لطول الموجة نشاهد الحيود بقرب الحاجز مباشرة أما عندما يكون الحاجز كبيرا مقارنة بطول الموجة يمكن أن نشاهد الحيود ولكن على مسافة أكبر من الحاجز . يفسر ماسبق أن التغيرات في جبهة الموجة التي يحدثها الحاجز تكون أكثر ظهورا كلما ابتعدنا عن الحاجز وبالتالي كلما كان حجم الحاجز أكبر كلما شوهدت ظاهرة الحيود على مسافة أبعد منه بشرط أن تكون طاقة الموجات كبيرة بدرجة كافية لكي يكون انعطافها وحيودها واضحا .

استعمالات حيود الضوء

لجأ علماء الفيزياء إلى إجراء اختبار معين للتعرف فيما إذا كانت الأشياء تختلف في موجاتها أو تتشابه، وتوصّل العلماء إلى الاقتناع تماماً بأن الأشعة السينية موجات بعد خضوعها لاختبار بالاعتماد على البلورات، ويعتبر شكل الذرات التي تحتويها المادة وتوزعها على تحديد نمط هذه الأشعة السينية، واعتمدت هذه النتيجة في البحث عن تركيب البلورات ودراستها عن طريق حيود الأشعة السينية، وبالنهاية للتوصل إلى الكشف عن تركيبة البروتينات.

وننوّه بالتفرقة بين تداخل الضوء وحيوده، إذ يشار إلى تداخل الضوء لا يمكن تفسيره بواسطة النظريّة الجسيميّة التي أوجدها نيوتن، ومن الأمثلة عليها بظواهر الحيود والاستقطاب، وقد أشار فرينل مثبتاً بأنه عند التطرّق إلى الطبيعة الموجيّة التي يمتلكها شعاع ضوئي هي عبارة عن موجات عرضيّة، أما فيما يتعلق بحيود الضوء فإنه ينشأ نتيجة الاصطدام بين الموجات الصوتيّة أو الضوئية مع عائق يقف في طريقها التي تسلكه، ويحدث الحيود بعد أن تنحني هذه الموجات حول ما العوائق بشدة واضحة، وتبدأ بدورها بالانتشار عبر الفتح الصغيرة، وتستخدم بالأشعة السينية في مجال الطب.

أمثلة على الحيود في حياتنا اليومية:

- **الأقراص المدمجة (DVD & CD)** حيث يوجد بها حزازات (مسارات) دائرية متقاربة وعند سقوط الضوء عليها ينعكس الضوء إلينا في شكل القوس القزح المألوف .

وذلك يحدث بسبب حيود الموجات الضوئية عليه حيث أن المسافات بين الحزازات مقاربة لطول الموجات الضوئية . يمكن استغلال هذه الظاهرة في إنتاج حاجز مشبك ذو تصميم مشابه لحزازات القرص يمكن به إنتاج أية انحراف (حيود) موجي مرغوب .

- الحيود الضوئي يحدث أيضا في الغلاف الجوي حيث تنحرف الأشعة عند اصتدامها بذرات الهواء حول مصدر الضوء يمكنها أن تحدث حلقات لامعة متتالية ضوئية حول مصدر ضوء ساطع كالشمس أو القمر .وتبدو لنا تلك الحلقات حول القمر خصوصا في وجود السحب الخفيفة أو الضباب.

- يمكن للحيود أن يحدث لأي نوع من الموجات ، موجات البحار يحدث لها حيود (انحراف) حول حواجز الماء والعوائق الأخرى، الموجات الصوتية يمكنها الحيود حول الأشياء ، وهذا سبب استطاعتنا سماع شخص ما بينما نحن خلف حائط على ناصية . الحيود يمكن استخدامه أيضاً في بعض التطبيقات التقنية فهو يضع حدودا أساسية لدرجة نقاء صور الكاميرا والتليسكوب أو الميكروسكوب.

- يستخدم حيود الإلكترونات و حيود الأشعة السينية لتعيين البناء البلوري للمواد . كما يستعمل حيود النيوترونات لتعيين مواقع ذرات الهيدروجين في بلورات المركبات . أي أنها مكملة لحيود اشعة إكس حيث تنعكس أشعة إكس على الذرات الثقيلة وتعين مواقعها في البلورة ، ثم نجري حيود النيوترونات على عينة المركب فتنعكس موجات النيوترونات على ذرات الهيدروجين الخفيفة وتعين أماكنها في البناء البلوري.

ظاهرة الحيود هي ظاهرة مميزة للموجات سواء كانت موجات مائية أو صوتية أو كهرومغناطيسية أي ضوئية.
وقدرة الإلكترونات و النيوترونات على الحيود على منظومات الذرات تنبع من الخاصية الموجية للإلكترونات والنيوترونات.

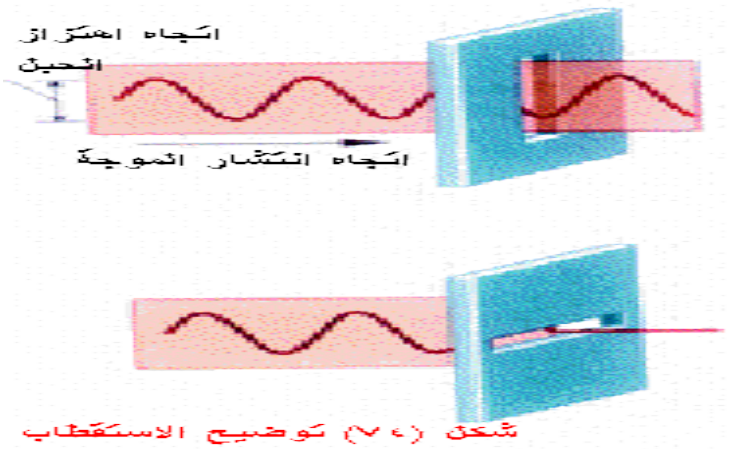
استقطاب الضوء Polarization

مقدمة :

الاستقطاب من أهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية لأنها موجات مستعرضة . و الجدير بالذكر أن الموجات الطولية لا يحدث لها استقطاب كما هو الحال فى الموجات الصوتية.

معنى الاستقطاب

و لتوضيح معنى الاستقطاب نعتبر شكل (67) الذى يمثل موجة مستعرضة تنتشر فى حبل يهتز. و هذه الموجة مستعرضة لأنها تنتشر على طول الحبل الذى يهتز فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الموجة



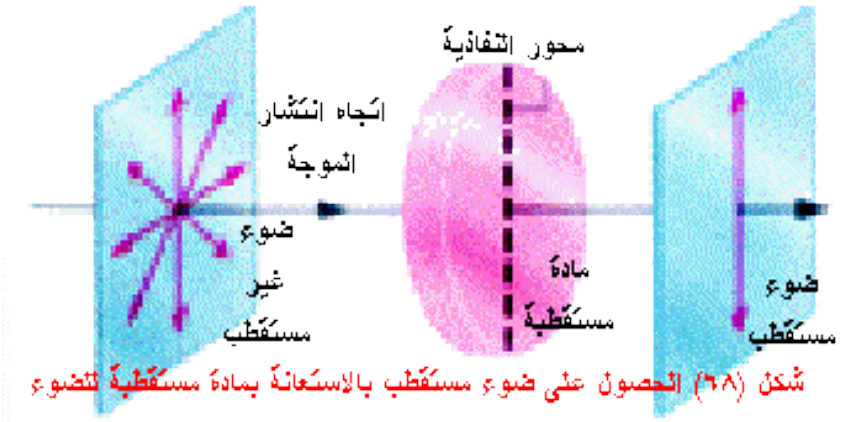
شكل (٦٧) توضيح الاستقطاب

نلاحظ فى الشكل أنه إذا كان اهتزاز الموجة يحدث فى اتجاه الفتحة فإن الموجة ستنفذ خلال الفتحة و فى هذه الحالة تسمى موجة مستقطبة خطيا linearly polarized wave أى أن الموجة تمر فى الفتحة إذا كان اتجاه استقطابها موازيا لاتجاه الفتحة أما عندما تكون الفتحة متعامدة مع اتجاه استقطاب الموجة فإن الموجة لا تمر. و يسمى الاتجاه الذى يحدث فيه

اهتزاز الموجة المستقطبة خطيا باتجاه الاستقطاب polarization axis و إذا اعتبرنا الموجة الكهرومغناطيسية سنجد أن الموجة تنتشر فى اتجاه محور السينات مثلا أو المحور x ويتذبذب المجال الكهربى فى اتجاه محور الصادات أو المحور y بينما يتذبذب المجال المغناطيسى فى اتجاه المحور ع أو المحورz هذه الموجة مستقطبة خطيا و يؤخذ اتجاه المجال الكهربى على أنه اتجاه الاستقطاب أو محور الاستقطاب . وعادة لا يذكر المجال المغناطيسى للسهولة ولأنه دائما عمودى على المجال الكهربى . أما الموجات الكهرومغناطيسية التى تنبعث من مصدر ضوئى عادى كفتيل المصباح الكهربى مثلا فإنها تكون غير مستقطبة unpolarized و فى هذه الحالة يتذبذب المجال الكهربى للضوء الغير مستقطب فى جميع الاتجاهات مع كونه متعامدا مع اتجاه انتشار الضوء. و فى حالة الضوء الغير مستقطب يمكن تحليل المجال الكهربى إلى مركبتين فى اتجاهين متعامدين كلاهما متعامد مع اتجاه انتشار الموجة.

المستقطب Polarizer - البـــولاروید Polaroid :

يمكن الحصول على ضوء مستقطب من الضوء الغير مستقطب بالاستعانة بمواد معينة تسمى مستقطب polarizer و من المواد المستخدمة تجاريا تلك التى تندرج تحت اسم بولاريود مثل هذه المواد تسمح لمركبة الضوء (أى مركبة المجال الكهربى) التى تتذبذب فى اتجاه معين بالمرور خلالها بينما تمتص مركبة المجال المتعامد مع هذا الاتجاه كما هو موضح فى شكل 68.



شكل (٦٨) الحصول على ضوء مستقطب بالاستعانة بمادة مستقطبة للضوء

و يسمى الاتجاه الذى تسمح فيه هذه المادة بمرور المجال (أو الضوء) محور النفاذية Transmission axis أو محور الاستقطاب للمادة . ومهما كان اتجاه محور النفاذية فإنه عند سقوط الضوء غير المستقطب على هذه المادة فإن شدة الضوء المار من خلالها تكون نصف شدة الضوء الساقط والسبب فى ذلك هو أن الضوء غير المستقطب يحتوى على مجال كهربى يتذبذب فى جميع الاتجاهات وبنفس الشدة. ويمكن تحليل المجال الكهربى إلى مركبتين إحداهما فى اتجاه محور النفاذية والأخرى فى الاتجاه العمودى والمركبتين متساويتين فى الشدة . ولما كانت المركبة الموازية لمحور النفاذية هى التى تمر فإن الضوء النافذ ستكون شدته نصف شدة الضوء الساقط .

ضوء الفلوريسنت (النيون)

لا يوجد مكان لا يستخدم مصابيح الاضاءة الفلوريسنت المعروفة باسم ضوء النيون. فهي تستخدم في المنازل وفي المكاتب وفي تزيين المحلات التجارية والأعلانات التجارية. ماذا يحدث داخل انبوبة الفلوريسنت؟ وما هي فكرة عمله لاصدار الضوء الابيض الساطع؟ في هذه الاجزء سنحاول شرح فكرة عمل هذا النوع من المصابيح الذي يصدر ضوء أبيض ساطع وبكفاءة أعلى من المصابيح الكهربية العادية.

مـــــــــــا هـــــــــــو الضـــــــــــوء

لفهم فكرة عمل مصابيح الفلوريسنت سوف نعطي فكرة مبسطة عن الضوء اولاً .فما هو الضوء؟ الضوء هو عبارة شكل من اشكال الطاقة وهذه الطاقة هي التي تنطلق من الذرة .تنطلق الطاقة من الذرة على شكل جسيمات تسمى الفوتونات الضوئية Light Photonsوهي ابسط مكونات الضوء وليس لها كتلة ولكن لها طاقة وكمية حركة.

انبعاث الفوتونات الضوئية من الذرة

نعلم أن الذرة لها مستويات طاقة محددة تسمى مدارات تتوزع فيها الالكترونات بطريقة معينة. عندما تكتسب هذه الالكترونات طاقة فإنها تنتقل إلى مستويات طاقة أعلى وعندها تصبح الذرة في حالة اثارة Excited atom، تزداد درجة اثارة الذرة كلما انتقلت الالكترونات إلى مدارات ذات طاقات اعلى وهكذا.

كيـــــــــف يصـــــــــدر الضـــــــــوء

نستخلص من ذلك أن الذرة عندما تكتسب طاقة أو تفقدها فإن التغير يحدث على اتتقال للالكترونات على مدارات الطاقة للذرة. فالطاقة الحرارية أو التصادمات بين الذرات مع بعضها البعض تكسب الالكترونات الطاقة الكافية لتنتقل إلى مدارات اعلى. إن وجود الذرة في حالة الاثارة تعتبر حالة غير مستقرة وما تلبث أن تعود الالكترونات المثارة من المدارات ذات الطاقة العالية إلى مداراتها الأصلية وهنا تطلق الالكترونات اثناء رجوعها كمية من الطاقة على شكل فوتون ضوئي .

تختلف طاقة الفوتون المنبعث من ذرة إلى أخرى وذلك لان طاقة الفوتون تساوي الفرق بين طاقة المدرات التي ينتقل بينها الألكترون .وهذا يؤدي إلى أن ذرات مختلفة تطلق فوتونات مختلفة وهذا ينعكس على لون الضوء المنبعث لان هنالك علاقة تربط بين طاقة الفوتون وطوله الموجي وهي

$$hc/\lambda = E2-E1$$

حيث ان h هو ثابت فيزيائي يدعى ثابت بلانك، و c هي سرعة الضوء في الفراغ، و l الطول الموجي للفوتون المنبعث، أما المقدار E2-E1 فهو فرق الطاقة بين المدارين الذي انتقل الالكترون بينهما. كل مصادر الضوء تعمل بنفس الفكرة السابقة ولكن باختلاف طريقة اثارة الذرة فإحياناً تكون الطاقة حرارية مثل المصابيح العادية او مصابيح الغاز، او أن تكون الاثارة ناتجة عن التفاعلات الكيميائية مثل الاصابع المضيئة، او ان تكون الاثارة من

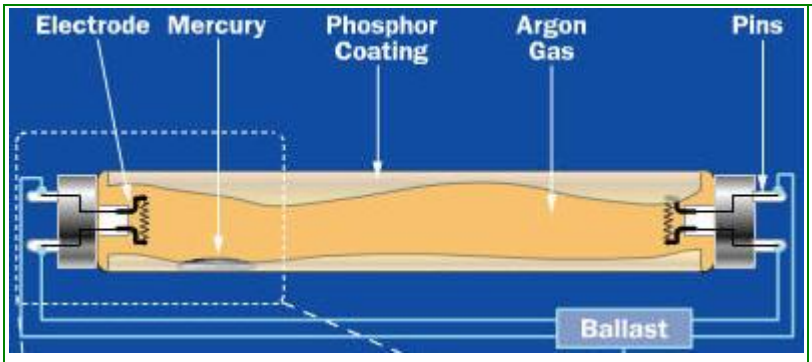
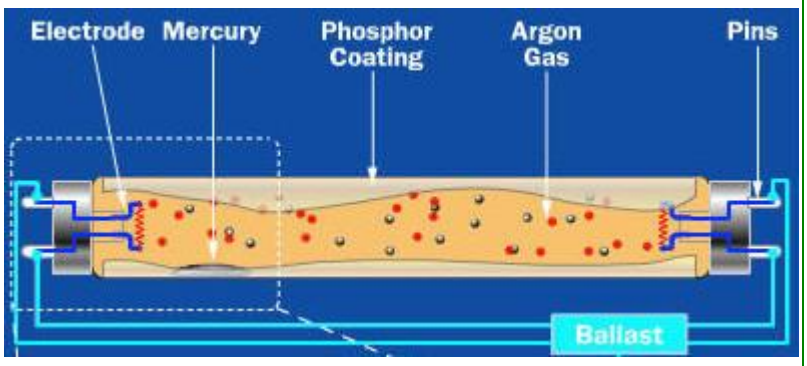
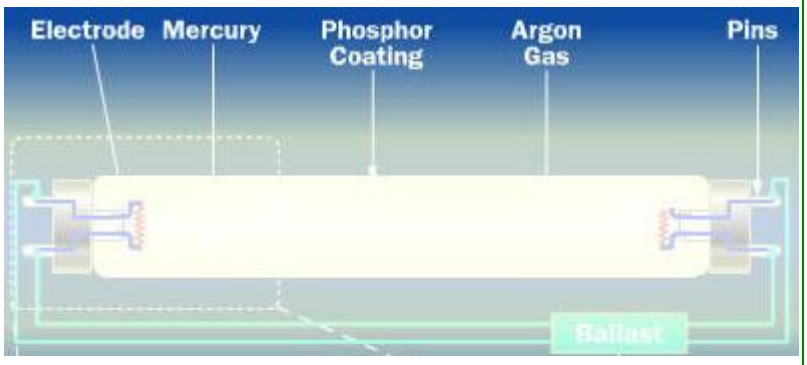
خلال التصادمات بين الذرات كما هو الحال في المصابيح الفلوريسنت التي سنوضحها في الجزء القادم.

داخـــــــــــــــل انبوبـــــــــــــــة الفلوريســـــــــــــــنت

العنصـــر الأساســـي فـــي انبوبـــة الفلوريســـنت هـــي الانبوبـــة الزجاجيـــة المفرغـــة مـــن الهـــواء. هـــذه الانبوبـــة تحتـــوي علـــى القليـــل مـــن جزيئـــات الزئبـــق Hg وغـــاز خامـــل هـــو الأرجـــون Ar عنـــد ضـــغط مـــنخفض. كـــذلك تغطـــي ســـطح الانبوبـــة الـــداخلي طبقـــة مـــن مـــادة فوســـفورية. يوجـــد علـــى طرفـــي الانبوبـــة الكتـــرود للتوصـــيل الكهربـــي وفـــي داخـــل الأنبوبـــة يتصـــل الالكتـــرود بفتيلـــة حراريـــة تطلـــق الالكترونـــات عنـــدما تســـخن بمرور التيار الكهربي بها.

ماذا يحدث عند تشغيل انبوبة الفلوريسنت

بمجرد توصيل التيار الكهربي الموصل على طرفي الالكترود تسخن الفتيلتين على طرفي الأنبوبة وتنطلق الالكترونات منها. هذه الالكترونات تتعجل (تتزايد سرعتها) تحت تأثير فرق الجهد الكهربي المطبق على طرفي الانبوبة والذي يبلغ 240 فولت. تتصادم هذه الالكترونات المعجلة بذرات غاز الارجون فتعمل على تأيينها) تنتزع منها بعض الالكترونات وتترك ذرة الارجون على شكل أيون موجب(، تحت تأثير فرق الجهد الكهربي المطبق على طرفي الالكترود فإن الالكترونات السالبة تتسارع في اتجاه الجهد العالي (الموجب) بينما الأيونات الموجبة تتسارع في اتجاه الجهد المنخفض (السالب .(وهذا يشكل دائرة كهربية يمر فيها التيار خلال غاز الأرجون المتأين) . تم تجاهل دور المشغل الابتدائي starter وسيأتي شرح دوره في الجزء القادم .(عندما تصطدم الالكترونات والايونات المعجلة بغاز الزئبق داخل الأنبوبة الزجاجية المفرغة تثار ذرات الزئبق حيث تنتقل الكترونات ذرة الزئبق إلى مدارات ذات طاقة اعلى. ولكن هذه الالكترونات المثارة ما تلبث إلا وتعود لمداراتها الاصلية مطلقة بذلك الفوتونات الضوئية.هذه الفوتونات الضوئية الناتجة عن ذرات الزئبق المثارة تكون في مدى الطيف فوق البنفسجية وذلك لخاصية في مدارات ذرة الزئبق وهذا الفوتونات لا تصلح للاضاءة ولهذا يجب تحويلها إلى مدى الطيف المرئي.

قبل مرور التيار الكهربي	
بعد مرور التيار الكهربي الالكترونات والايونات تتصادم مع غاز الزئبق وتسبب في اثارته	
اصطدام الفونتونات المنبعثة من ذرات الزئبق المثارة بالغطاء الفسفوري لتطلق بدورها الضوء الأبيض	

وهنا يأتي دور الغطاء الفسفورى المحيط بالجزء الداخلي للنبوبة الزجاجية حيث يمتص هذه الفوتونات ذات الأطوال الموجية في المدى فوق البنفسجي وتثار المادة الفسفورية ولكن عندما تعود فإن جزء من طاقة الفوتونات المنبعثة من ذرات الفسفور المثار يبد على شكل طاقة حرارية (ومن هنا

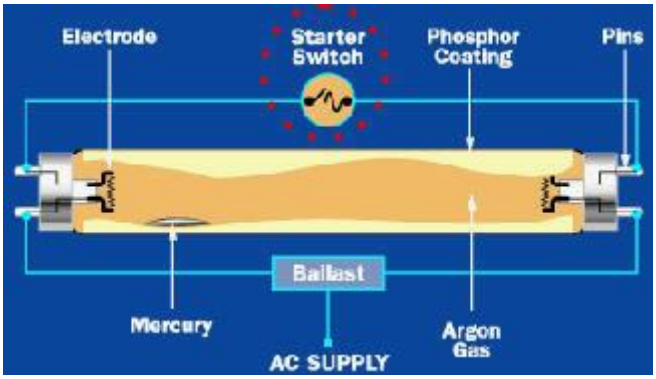
نستنتج سبب الارتفاع الطيف في درجة حرارة الانبوبة الفلوريسنت) والجزء الباقي ينطلق على شكل فوتون ضوئي ذو طاقة اقل بحيث يصبح طوله الموجي في مدى الطيف المرئي. مما يعطي الضوء الأبيض والذي هو خليط لما يعرف بالوان الطيف السبعة.

ظاهرة امتصاص الطيف فوق البنفسجي وانبعاث الطيف المرئي بواسطة المواد الفسفورية يسمي بالفلوريسنت ومن هنا اطلقت على هذه المصابيح بأنابيب الفلوريسنت.

مـــا هـــو دور المشـــغل أو مـــا يعـــرف بالســـتارتر

مـن المعـروف أنـه مـن الصـعب الحصـول علـى الضـوء مباشـرة مـن مصـباح الفلوريسـنت إذا كـاان السـتارتر Starter معطـل وفـي اغلـب الاحيـان يـتم اسـتبداله بـآخر جديـد ليعـود المصـباح للعمل من جديد.

فما هو الدور الذي يلعبة هذا العنصر في الدائرة الكهربية) موضح في الشكل التالي بالدائرة الحمراء المنقطة.(

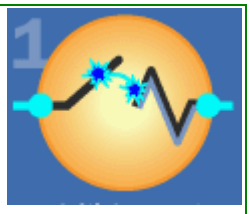


من المعروف أن غاز الأرجون داخل الانبوبة لا يوصل التيار الكهربي إلا إذا اصبح متأين. ولحين تأينه يمرر التيار الكهربي في دائرة جانبية bypass circuitموضحة بالسلك الأزرق السماوي في الشكل أعلاه .ويستمر التيار يمر في الستارتر لفترة وجيزة وهي الفترة اللازمة لكي تسخن الفتيلتين على طرفي الأنبوبة وتنطلق الالكترونات منها لتأين غاز الأرجون وعندها يتوقف الستارتر عن العمل) يمكنك فكه بعد اضاءة ضوء المصباح وستجد أن المصباح لا زال يعمل .(ماذا يحدث داخل الستارتر؟؟

مـــــــــاذا يحـــــــــدث داخـــــــــل الســـــــــتارتر؟؟

الستارتر هو عبارة عن مصباح ضوئي صغير مثل فلاش الكاميرا يحتوي على طرفين من سلكين موصلين للتيار الكهربي كما في الشكل (1) ادناه. عند بدء تشغيل مصباح الفلوريسنت يبدأ التيار الكهربي في المرور من خلال الستارتر لان الغاز داخل الانبوبة لازل عازلا للتيار الكهربي. يحدث بين طرفي سلك الستارتر تفريغ كهربي ينتج عنه بريق ضوئي يعمل على تسخين السلكين. احد هذين السلكين يتمدد في اتجاه الطرف الاخر فيتلامسان ويمر التيار الكهربي من خلالهما.

يستمر مرور التيار في الستارتر إلى أن يتأين غاز الأرجون كما ذكرنا سابقاً ويجد التيار الكهربي مقاومة أقل في غاز الارجون المتأين .عندها يتوقف مرور التيار في الستارتر ومن ثم يبرد الستارتر وينكمش السلك ليبتعد عن السلك الآخر. وينتهي دوره إلى أن يعاد تشغيل المصباح في المرة القادمة....

		
التيار الابتدائي يعمل على توليد بريق ضوئي بين طرفي السلكين للستارتر.	الحرارة الناتجة عن الضوء تسخن السلك فيتمدد ليلامس الطرف المقابل للسلك.	عند توقف التيار في الستارتر يبرد ويعود الطرف المتمدد إلى وضعه الطبيعي.

لا يدخل غاز النيون في فكرة عمل مصباح الفلوريسنت ولكن اشتهر اسم هذا المنوع من المصابيح بضوء النيون.

أسئلة وأجوبة عن لمبة الفلورسنت

1- هل تعمل بتيار متردد أم مستمر ؟؟

يعمل مصباح الفلورسنت على التيار المتردد لسببين، الأول هو وجود المحول (سنأتي له لاحقا فهو لا يسمى محول) والذي لا يعمل إلى في حالة تغير الجهد، وهذا ما يوفره التيار المتردد. ثانيا لوجود مكثف داخل الستارتر.

2- المحول الموجود داخل العلبة هل هو يقوم برفع أم خفض الجهد ؟؟

المحول الموجود لا يقوم بهذا ولا هذا يقوم، ولهذا فهو ليس محول، يسمى هذا بالجوك وواضح من توصيلاته اختلافه عن المحولات

العادية. مهمته الرئيسية هي منع التيار المرتفع من المرور (تحديد التيار) وهذا يعتمد على قوة مصباح الفلورسنت.

3- ما فائدة المبدئ (ستارتر) ، ومما يتكون ؟ (أقصد هل هو مكثف) ؟

اسمه في عمله، يعتمد مصباح الفلورسنت أساسا على عملية مرور الإلكترونات عبر بخار الزئبق الموجود داخل العلبة الزجاجية، ولكنه يحتاج لدفعة بداية من أجل هذه العملية خصوصا أن التيار ضعيف. يقوم الستارتر والمكون أساسا من مكثف ومصباح نيون صغير موصولان على التوازي، بتوصيل التيار المتردد بشكل مؤقت. ولمعرفة عمله بالتحديد ستحتاج إلى معرفة مكونات مصباح الفلورسنت، ولكن قبل ذلك سنجيب على الأسئلة التالية.

4- هل يمكن تشغيلها بالبطارية ؟

يمكن ولكن يجب رفع الجهد إلى أكثر من 100 فولت (في العادة أكبر من 220)

5- كم الجهد التي تعمل عنده اللمبة ؟

يختلف حسب طول المصباح وضغط الغاز الذي فيه (كلما يقصر الطول وينخفض الضغط يقل الجهد)

6- لماذا لا نوصلها مباشرة مع التيار (أي بدون محول) ؟ سيسبب التيار العالي الذي يمر دفعة الكترونية قوية وستتحول إلى مجرد سلك عادي فيحصل قصر في الدارة.

آلية عمل المصباح:

يتكون مصباح الفلورسنت من أنبوب زجاجي مجوف يحتوي على غاز بخار الزئبق تحت ضغط منخفض جدا (وهذا يساعد على إبقائه على هيئة غاز)، يحتوي الوجه الداخلي للإنبوب على مادة فوسفورية تقوم بامتصاص الأشعة الفوق البنفسجية التي تطلق لدى مرور تيار في غاز بخار الزئبق، وتطلق موجات ضوئية بجميع الأطوال الموجية مما ينشئ لون أبيض.

يوجد في طرفية مصباح الفلورسنت فتيلتي تنغستين عاديتين كل واحدة يستخدم منها طرفين.

يمر التيار من المصدر الرئيسي إلى الجوك والذي يحكم التيار ويمنع مرور تيار مرتفع ثم يمر إلى أحد طرفي المصباح ويوصل الطرف الآخر مباشرة بمصدر التيار، بسبب كون الغاز بارد فإن الإلكترونات ستلاقي مقاومة للمرور عبر الغاز، لهذا ستمر عبر الفتيلتين ثم عبر المكثف ومصباح النيون، وضع المكثف ليمنع كل التيار من الوصول إلى مصباح النيون، بمرور التيار عبر الفتيلتين سيسخنان بشكل كبير (تلك اللحظة التي يحمر فيها طرفي المصباح)، ومعروف أن الإلكترونات تكون سريعة في المواد

الساخنة، سيجعل ذلك عملية قذف الإلكترونات أسهل ليمر عبر الغاز فتمر أول دفعة (تسخن الغاز قليلا) ثم تقل درجة حرارة الفتيلتين فينتقل مرة أخرى إلى الستارتر، لتسخن الفتيلتين من جديد وينتقل الدفعة الثانية من الإلكترونات عبر الغاز. تتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يسخن الغاز بشكل كاف ليكون مرور اللإلكترونات عبره أسهل من مرورها عبر الستارتر (لهذا يومض المصباح عدة مرات قبل أن يعمل).

أسباب تعطل مصباح الفلورسنت:

1- تدمر إحدى أو كلتا الفتيلتين، في هذه الحالة تستطيع تشغيل المصباح بتمرير جهد مرتفع (أكثر من 300 فولت ويفضل 400) لعدة ثواني ريثما يسخن الغاز ثم يمر الجهد العادي عبر الجوك. ولكنها ستعمل لفترة قصيرة ثم تنتهي صلاحيتها (بسبب تكون مواد على طرفي المصباح يمنع مرور اللإلكترونات)

2- تسرب بعض الهواء إلى داخل الأنبوب، في هذه الحالة إذا كانت الكمية قليلة، فإن المصباح سيأخذ في الوميض لفترة أطول قبل أن يعمل بشكل نهائي ثم سيطفئ ويعمل بين الحين والآخر (تزيد الحالة بازدياد الهواء الداخل)، أما إذا كانت الكمية كبيرة فأحسن حل لها هو وضعها في سلة المهملات (لأنك ستحتاج إلى جهد بعدة عشرات آلاف من الفولتات لجعلها تعمل)

3- تأكسد مادة التنغستين أو اتحادها مع بخار الزئبق، يحدث ذلك نتيجة عيب في المواصفات بتخفيض مقاومة الفتيلتين أو بزيادة تيار

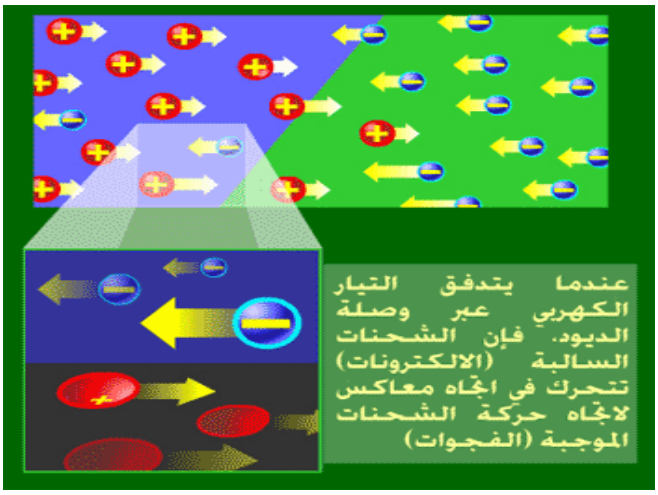
الجهد، فهذا يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة بشكل كبير مما يؤدي إلى تكون طبقة على الفتيلة تمنع مرور الإلكترونات.

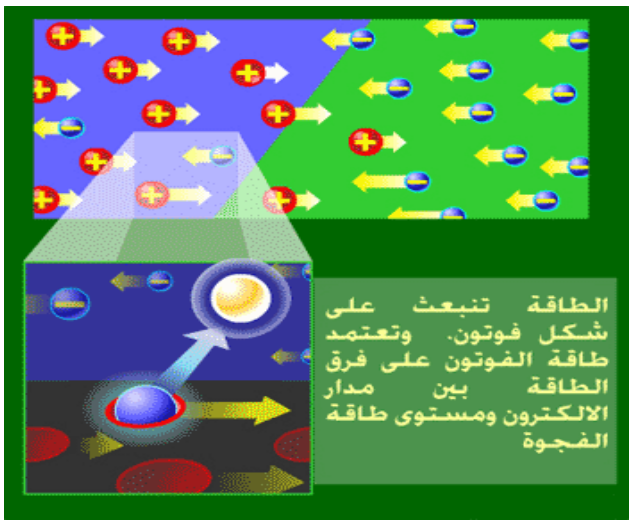
كيف ينتج الديود الضوء ؟

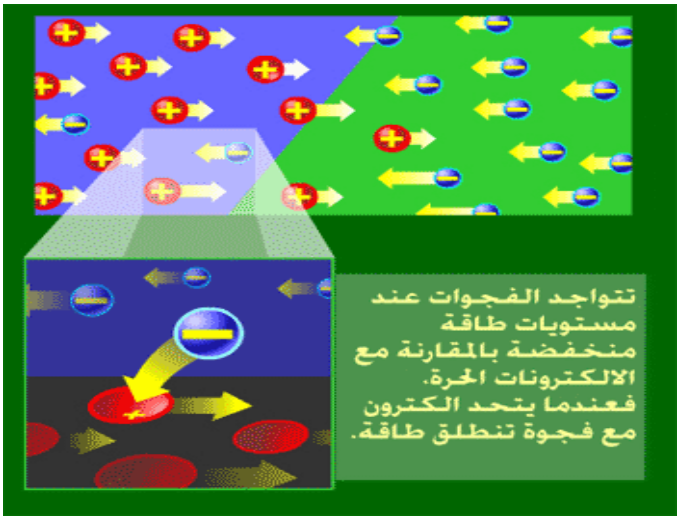
الضوء هو عبارة عن طاقة تنتج او تنبعث من الذرة في صورة اشباه جسيمات تسمى الفوتونات Photons لها كمية حركة وكتلتها صفر. وسميت اشباه جسيمات لان الضوء له طبيعة مزدوجة فيمكن ان يكون موجة ويمكن ان يكون جسيم .

عندما ينتقل الكترون من مدار منخفض إلى مدار اعلى فإنه يمتص طاقة خارجية ليتم الانتقال اما في حالة عودة اللكترون من المدار الاكبر إلى المدار الادنى فإنه تتحرر طاقة يحملها فوتون تساوي فرق الطاقة بين المدارين. وبالتالي فإن طاقة الفوتون تتحدد بفارق الطاقة بين المداريين الذين انتقل بينهما الالكترون وهذا يدل على ان طاقة الفوتون يمكن ان تكون متغيرة المدارات التي حدثت بينها الانتقالات، تغير طاقة الفوتون تعني تغير في الطول الموجي للفوتون فيمكن ان يكون فوتون على شكل ضوء مرئي او ضوء غير مرئي. في حالة وصلة الديود فإن الالكترونات الحرة تحرك عبر وصلة الديود في اتجاه الفجوة وهذا يعني ان الالكترون عندما يتحد مع الفجوة كما لو انه انتقل من مدار عالي الطاقة إلى مدار منخفض الطاقة وتنطلق الطاقة على شكل فوتون. ولكن لا نرى الفوتون المنبعث إلا اذا كان ذو طول موجي في الطيف المرئي وهذا لا يتحقق في كل وصلات الديود ففي الديود المصنعة من مادة السليكون يكون الفوتون المنطلق في منطقة

تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي ولا يرى بالعين المجردة ولكن له تطبيقات هامة في الرموت كنترول حيث تنتقل التعليمات من الرموت كنترول إلى التلفزيون على شكل نبضات من الفوتونات تحت الحمراء يفهمها مجس الاستقبال في التلفزيون.







وللحصول على وصلة ديود تعطي ضوء مرئي فإنه يستخدم مواد ذات فارق طاقة اكبر بين مدار الالكترون في المادة N والفجوة في المادة P التي تمثل المدار ذو الطاقة الأدنى. حيث ان التحكم في هذا الفارق يحدد لون الضوء المنبعث من الديود عند اتحاد الالكترون مع الفجوة خلال وصلة الديود.

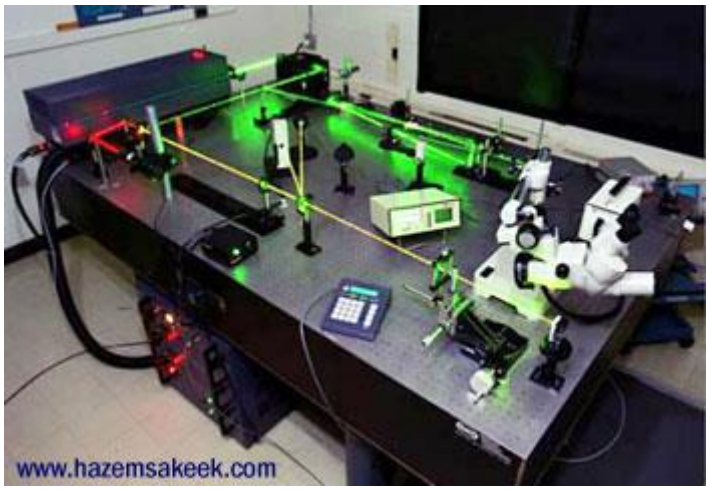
في حين ان كل انواع الديودات تعطي ضوء الا ان هذا الضوء المنبعث له كفاءة معينة تحدد شدة الضوء المنبعث. حيث ان جزء من هذا الضوء يعاد امتصاصه داخل وصلة الديود. ولكن الديودات الباعثة لضوء LED تصمم بحيث يتم توجيه الضوء الى الخارج من خلال احتواء وصلة الديود داخل مادة بلاستيكية على شكل مصباح شبه كروي كما في الشكل ادناه لتركيز الفوتونات المنطلقة في اتجاه محدد.

خصائص الـ LED

تمتلك الـ LED خصائص تميزها عن المصابيح الكهربية التقليدية فهي في البداية لا تحتوي على فتيلة يمكن ان تحترك فتعيش LED مدة زمنية اطول بكثير كما انها صغيرة الحجم تمكننا من استخدامها في تطبيقات الكترونية عديدة، هذا بالاضافة إلى كفاءتها العالية بالمقارنة بالمصابيح التقليدية. ولا تنبحث منها اي طاقة حرارية التي تعتبر طاقة مفقودة .

الليزر Laser

دخلت أشعة الليزر في العديد من المنتجات التكنولوجية فتجدها عنصر اساسي في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو في ألات طبيب الأسنان أو في معدات قطع ولحام الحديد أو في أدوات القياس وغيرها من المجالات. كل تلك الأجهزة تستخدم الليزر ولكن ما هو الليزر وما الذي يجعل الليزر مميز عن غيره من المصادر الضوئية. في هذه المقالة سوف نقوم بشرح كل ما يتعلق بالليزر بشكل مبسط وواضح.



مختبر أبحاث يستخدم شعاع الليزر.

جاءت تسمية كلمة ليزر LASER من الأحرف الأولي لفكرة عمل الليزر والمتمثلة في الجملة التالية:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعني تكبير الضوء Light Amplification بواسطة الانبعاث الاستحثاثي Stimulated Emission للإشعاع الكهرومغناطيسي Radiation. وقد

تنبأ بوجود الليزر العالم البرت اينشتاين في 1917 حيث وضع الأساس النظري لعملية الانبعاث الاستحثاثي stimulated emission وتم تصميم أول جهاز ليزر في 1960 بواسطة العالم ميمان T.H. Maiman باستخدام بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت Ruby laser.

في الشكل التالي نموذج توضيحي لمكونات الذرة

نموذج بسيط لتمثيل شكل الذرة يتكون من النواة والالكترونات التي تدور في مدارات حول النواة.

تحتوي الذرة على النواة (المكونة من البروتونات والنيوترونات) والإلكترونات التي تدور حول النواة في مدارات مختلفة كل مدار هو عبارة عن مستوى طاقة.

اساسيات فيزيائية حول الذرة

يوجد في الكون 100 نوع مختلف من الذرات وكل شيء حولنا هو مكون من الـ 100 ذرة تلك، ولكن كيف تتحد وتترابط الذرات مع بعضها البعض لتكون المواد مثل الماء المكون من ذرتين هيدروجين وذرة اكسجين أو كيف تكونت قطعة من الحديد أو النحاس.

إن الذرات في حركة مستمرة حيث تتذبذب الذرات حول موضع استقرارها في المادة كما أن الذرات لها حركة دائرية أو حركة انتقالية أيضاً. فلو نظرت إلى طاولة خشبية مثلاً وبالرغم من أنها ثابتة في مكانها إلى أنها ذراتها التي كونت الخشب في حركة مستمرة.

نتيجة لحركة الذرات التي تكتسبها من الطاقة الحرارية فإنها تتواجد في حالات مختلفة من الأثارة أو بمعنى آخر أن الذرات لها طاقات مختلفة، فلو زودت ذرة ما بكمية من الطاقة فإن الذرة تنتقل من المستوى الأرضي ground state الذي تتواجد فيه إلى مستوى طاقة أعلى يسمى بمستوى الإثارة excited state. يعتمد مستوى الإثارة على كمية الطاقة التي ذودت بها الذرة ومصدر الطاقة إما حرارة أو ضوء أو كهرباء.

امتصاص الطاقة Absorbing Energy

إذا ذودت الذرة بطاقة حرارية لأو طاقة من مصدر ضوئي أو كهربائي فإن بعض الإلكترونات في الذرة سوف تنتقل من المدار ذو مستوى الطاقة الأدنى إلى مدار طاقته أعلى وابعد من النواة.

امتصاص الطاقة

تمتص ذرة الطاقة من الحرارة أو الضوء أو الكهرباء. تنتقل الإلكترونات من مستوى الطاقة الأقل إلى مستوى طاقة أعلى.

هذه افكرة السابقة هي مبسطة عن امتصاص الطاقة في الذرة ولكن تعتبر الأساس في دور الذرة لانتاج الليزر.

عندما ينتقل الإلكترون إلى المدار ذو مستوى الطاقة الأعلى فإنه ما يلبث إلا أن يعود وينتقل إلى المستوى الطاقة الأدنى، وعندها فإن الإلكترون يحرر طاقة في صورة فوتون (ضوء). تصدر الإلكترونات الفوتونات عند اثارتها وعلى سبيل المثال عند تسخين معدن مثل سلك السخان الكهربي فإنه يتحول لونه من اللون المعتم إلى اللون المتوهج وهذا التوهج ناتج من الفوتونات التي انطلقت بعد اثارة ذرات

مادة سلك السخان الكهربي. كذلك لو فكرنا في فكرة عمل شاشة التلفزيون فهي تعطي الصورة من خلال الفوتونات التي تنتجها مادة الشاشة (الفوسفور) عند اثارتها بشعاع إلكتروني.

إذا نستنتج أن الضوء ينتج من الفوتونات المنبعثة من إثارة إلكترونات الذرة وتعتمد لون الفوتون (لون الضوء) على طاقة الفوتون

علاقة الذرة بالليزر

لتعريف مبسط لليزر نقول معتمدين على الشرح السابق أنه جهاز يقوم بالتحكم في كيفية تحرير الذرات للفوتونات.

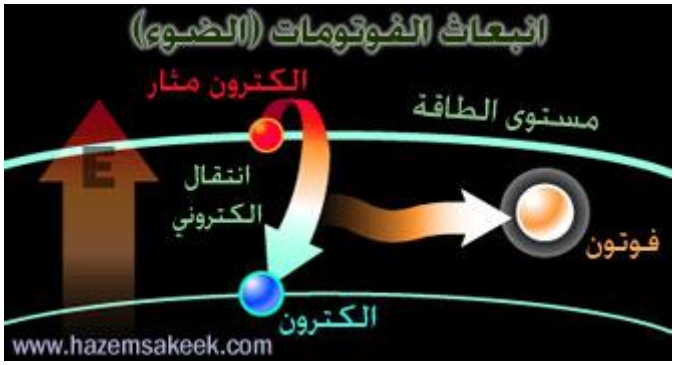
وكما ذكرنا فإن كلمة ليزر هي اختصار للجملة light amplification by stimulated emission of radiation والتي معناها يشرح بالتفصيل فكرة عمل الليزر والذي يعتمد على إن الليزر ماهو إلا ضوء مكبر بواسطة عملية تسمى الإنبعاث الإستحثاثي للإشعاع وهذا ما قصدنا به التحكم بكيفية تحرير الذرة للفوتون

بالرغم من وجود عدة أنواع من الليزر إلا انهم جميعاً يشتركون في نفس الخصائص. ففي الليزر يوجد المادة التي تنتج الليزر يتم اثارتها بواسطة عملية ضخ pumping للإلكترونات من المستوى الأرضي إلى مستوى الإثارة. يستخدم للضخ الإلكتروني ضوء فلاش قوي أو بواسطة التفريغ الكهربي ويساعد هذا الضخ على تزويد أكبر قدر ممكن من الإلكترونات لتنتقل إلى مستويات الطاقة الأعلى فتصبح مادة الليزر مكونة من ذرات ذات إلكترونات مثارة ونسميها بالذرة المثارة. ومن الجدير بالذكر أن أنه من الضروري جداً إثارة عدد كبير من الذرات للحصول على ليزر وتسمى هذه العملية بإنقلاب التعداد population inversion أي جعل عدد الذرات المثارة في مادة الليزر أكبر من عدد الذرات الغير مثارة.

قلب التعداد هو الذي يجعل الضوء الذي تنتجه المادة ليزراً وإذا لم نصل إلى مرحلة انقلاب التعداد نحصل على ضوء عادي. وكما امتصت الإلكترونات

طاقة كبيرة من خلال عملية الضخ فإن الإلكترونات هذه تطلق الطاقة التي امتصتها في صورة فوتونات أي ضوء.

الفوتونات المنبعثة لها طول موجي محدد (ضوء بلون محدد) يعتمد على فرق مستويات الطاقة التي انتقل بينها الإلكترونات المثارة. وإذا كان الإنتقال لكافة الإلكترونات بين مستويين طاقة محددين كما هز موضح غب الشكل أدناه فإن كل القوتونات المنبعثة سيكون لها نفس الطول الموجي.



الإلكترون باللون الأحمر مثار ينتقل إلى مستوى طاقة أدنى (الإلكترون باللون الأزرق) ويفقد طاقته في صورة فوتون

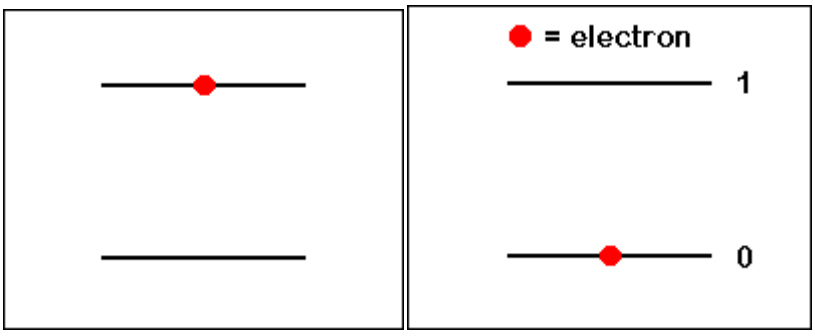
ضوء الليزر

المسؤول عن هذه الخصائص هي عملية الانبعاث الإستحثاثي stimulated emission بينما في الضوء العادي يكون الإنبعاث تلقائي حيث يخرج كل فوتون بصورة عشوائية لا علاقة له بالفوتون الآخر

الضوء المنبعث من الليزر يكون متزامن coherent أي ان الفوتونات كلها في نفس الطور مما يجعل شدة الضوء كبيرة فلا تلاشي الفوتونات الضوئية بعضها البعض نتيجة لاختلاف الطور بينها.

الضوء المنبعث له اتجاه واحد directional حيث يكون شعاع الليزر عبارة عن حزمة من الفوتونات في مسار مستقيم بينما الضوء العادي يكون مشتت وينتشر في أنحاء الفراغ.

المسؤول عن هذه الخصائص هي عملية الانبعاث الإستحثاثي stimulated emission بينما في الضوء العادي يكون الإنبعاث تلقائي حيث يخرج كل فوتون بصورة عشوائية لا علاقة له بالفوتون الآخر.



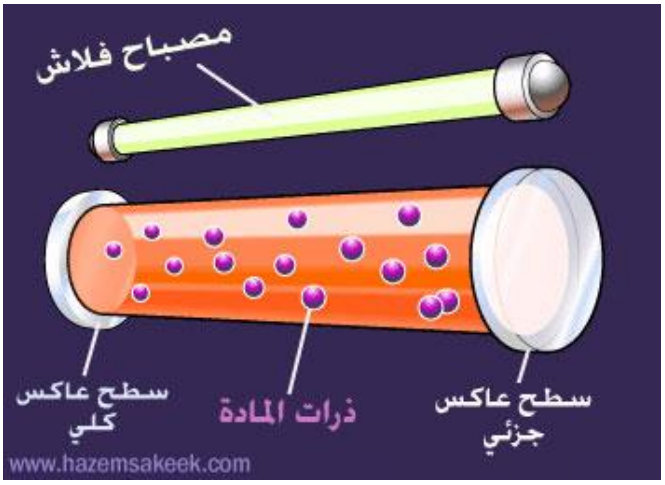
عملية الإنبعاث التلقائي عملية الإنبعاث الإستحثاثي

العامل المهم في انتاج الليزر هو المرايا المثبتة على جانبي مادة انتاج الليزر. تساعد المرايا على عكس بعض الفوتونات إلى داخل مادة الليزر عدة مرات لتعمل هذه الفوتونات على استحثاث الكترونات مثارة أخرى لتطلق مزيدا من الفوتونات بنفس الطول الموجي ونفس الطور، وهذه هي عملية التكبير للضوء light amplification. تصمم إحدى هتين المرأتين لتكون عاكسيتها اقل من 100% لتسمح لبعض الفوتونات من الخروج عبرها وهو شعاع الليزر الذي نحصل عليه.

في الشرح التالي سنرى مكونات الليزر من خلال شرح عمل ليزر الياقوت ruby laser.

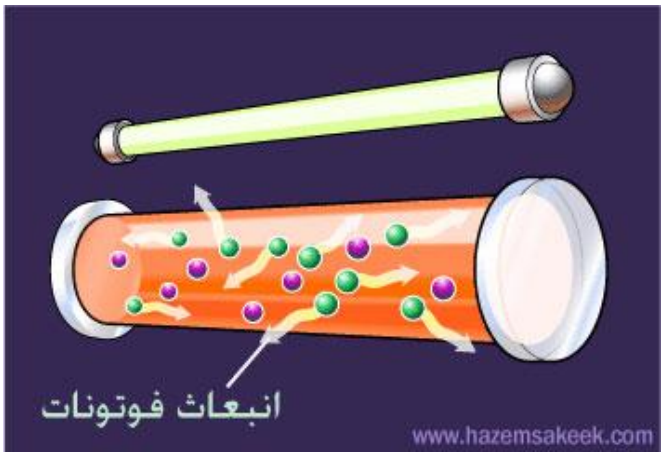
ليزر الياقوت Ruby Laser

مكونات ليزر الياقوت عبارة عن مصدر ضوء فلاش وساق من الياقوت ومرأتين مثبتتين على طرفي الساق احدى هاتين المرأتين لها مقدار انعكاس 90%. يعتبر المصدر الضوئي مسؤولاً عن عملية الضخ وساق الياقوت هو مادة انتاج الليزر.

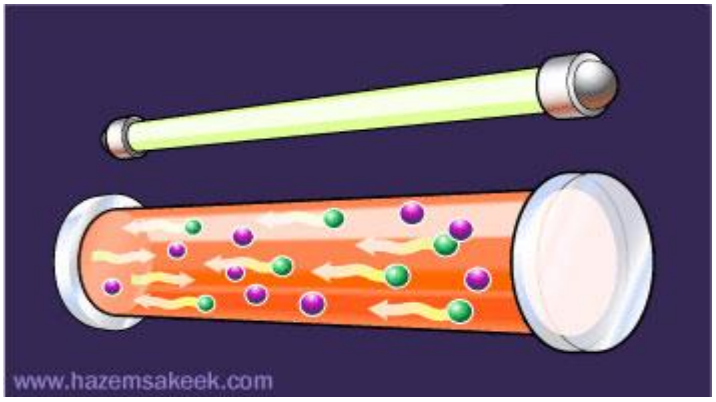


(1) مكونات ليزر الياقوت

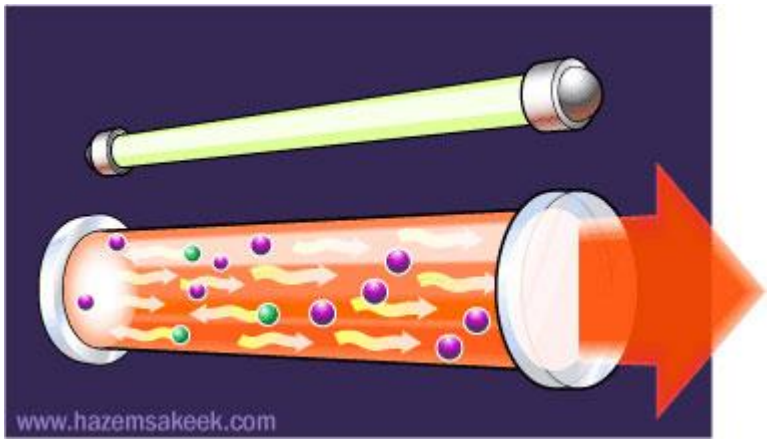
(2) فرق جهد عالي يعمل على تزويد الفلاش بالطاقة الكافية لتوليد ضوء ذو شدة عالية ولفترة زمنية قصيرة. هذا الضوء يعمل على اثارة الذرات في بلورة الياقوت إلى مستويات الطاقة الأعلى.



(3) تطلق بعض الذرات فوتونات



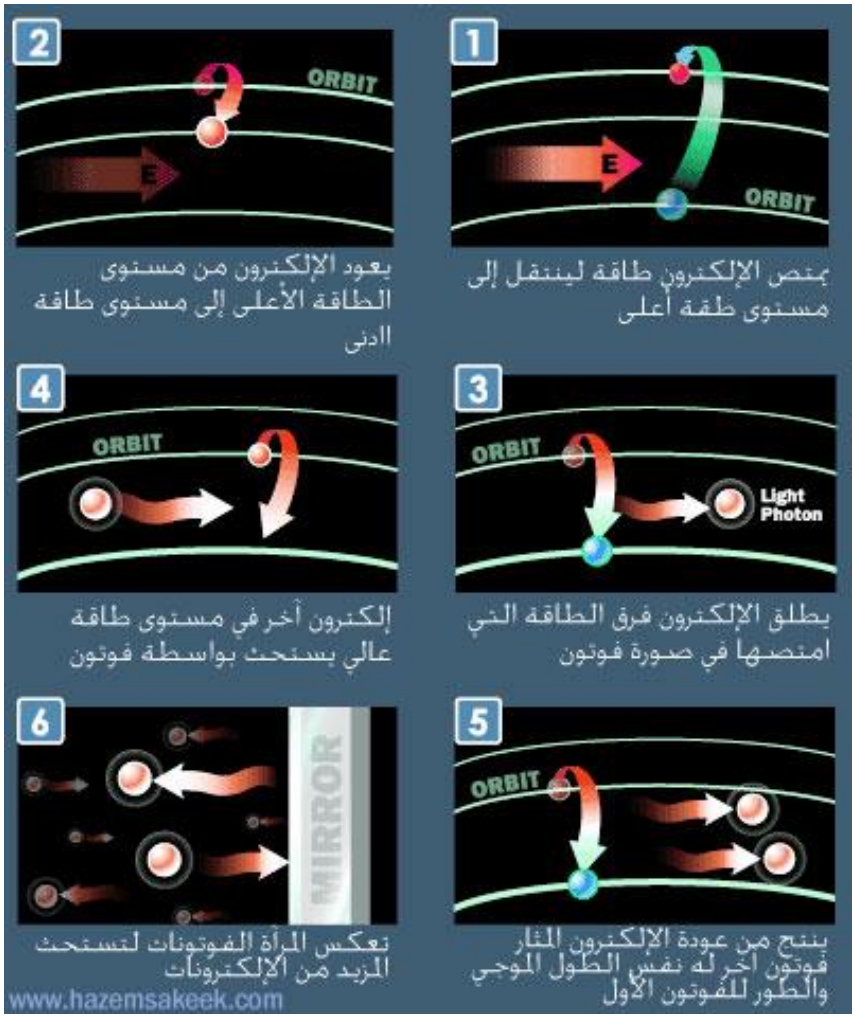
تنطلق الفوتونات بموازاة محور ساق الياقوت لتصطدم بالمرآة وتنعكس إلى داخل الياقوت عدة مرات لتستحث إلكترونات أخرى لتطلق فوتونات.



(5) فوتونات بطول موجي واحد وفي تفس الطور ومتجمعة في حزمة تعبر من المرآة لتعطي ضوء اليزر.

نظام ليزر ثلاثي المستويات

الشكل التالي يوضح تفاصيل عملية انتاج الليزر من خلال نظام ذو ثلاث مستويات للطاقة كما بالشكل التالى:



تسلسل مراحل انتاج شعاع ليزر

أنواع الليزر

يأتي الليزر بأنواع مختلفة حسب الاستخدامات وتنوع الليزر يأتي من تنوع المادة المستخدمة لإنتاجه فهناك من المواد الصلبة والسائلة والغازية، ويعتبر نوع المادة الأساس الاكثر استخداماً للتميز بين الأنواع المختلفة. ويسمى الليزر من خلال نوع المادة المستخدمة فمثلاً ليزر الهيليوم نيون He-Ne يعني ان المادة المستخدمة هي خليط من الهيليوم

والنيون وليزر الياقوت يعني ان المادة المنتجة لليزر هي الياقوت وهكذا لباقي الأنواع الأخرى. ولنأخذ بعض الأمثلة لأنواع مختلفة لليزر:

- ليزر الحالة الصلبة solid-state laser هو الليزر الذي ينتج بواسطة مادة أو خليط من مواد صلبة مثل الياقوت ruby أو خليط الالومنيوم واليتريم والنيوديميم neodymium:yttrium-aluminum ويسمى بليزر الـ TAG اختصاراً ويكون طوله الموجي في منطقة الأشعة تحت الحمراء.
- ليزر الغاز Gas laser وهو يعتمد على مادة غازية مثل الهيليوم والنيون وغاز ثاني اكسيد الكربون وتكون اطوالها الموجية في مدى الاشعة تحت الحمراء وتستخدم في قطع المواد الصلبة لطاقتها العالية.
- ليزر الإكسيمر Excimer laser وتطلق على أنواع الليزر التي تستخدم الغازات الخاملة مثل غاز الكلور أو الفلور أو الكربتون أو الأرجون وتنتج هذه الغازات اشعة ليزر ذات أطوال موجية في مدى الأشعة فوق البنفسجية.
- ليزر الأصباغ Dye laser وهي عبارة عن مواد عضوية معقدة مثل الرودامين rhodamine 6G مذابة في محلول كحولي وتنتج ليزر يمكن التحكم في الطول الموجي الصادر عنه.
- ليزر أشباه الموصلات Semiconductor laser ويطلق عليه احياناً بليزر الديود ويعتمد على المواد شبه الموصلة ويمتاز بحجم

ليزر صغير ويستهلك طاقة قليلة ولذلك يستخدم في الأجهزة الدقيقة مثل أجهزة السي دي وطابعات الليزر.

يتميز الليزر بطوله الموجي فمثلا الطول الموجي لليزر الياقوت هو 694nm، ويتم أختيار مادة الليزر بناء على الطول الموجي المطلوب كما في الجدول التوضيحي أدناه، فمثلاً يستخدم ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون في قطع المعادن الصلبة لأن طوله الموجي في مدى الأشعة تحت الحمراء وهي أشعة حرارية إذا سقطت بتركيز على سطح معدن تذيبه.

نوع الليزر	الطول الموجي لليزر (nm)
Argon fluoride (UV)	193
Krypton fluoride (UV)	248
Xenon chloride (UV)	308
Nitrogen (UV)	337
Argon (blue)	488
Argon (green)	514

Helium neon (green)	543
Helium neon (red)	633
Rhodamine 6G dye (tunable)	570-650
Ruby (CrAlO3) (red)	694
Nd:Yag (NIR)	1064
Carbon dioxide (FIR)	10600

تصنيفات الليزر

يصنف الليزر بأربعة تصنيفات تعتمد على خطورتها على الخلايا الحية. فعند التعامل مع الليزر يجب الإنتباه إلى الإشارة التي توضح تصنيفه.

إشارة تحذير بوجود ليزر

التصنيف الأول Class I هذا يعني أن شعاع الليزر ذو طاقة منخفضة ولا يشكل درجة من الخطورة.

التصنيف الأول Class IA هذا التصنيف يشير إلى أن الليزر يضر العين إذا نظرنا في اتجاه الشعاع ويستخدم في السوبرماركت كماسح ضوئي وتبلغ طاقة الليزر الذي يندرج تحت هذا التصنيف 4mW.

التصنيف الثاني Class II هذا يشير إلى ليزر ضوئه مرئي وطاقته لا تتعدى 1mW.

التصنيف الثالث Class IIIA طاقة الليزر متوسطة وتبلغ 1-5mW وخطورته على العين إذا دخل الشعاع المباشر في العين. ومعظم الأقلام المؤشرة تقع في هذا التصنيف.

التصنيف الثالث Class IIIB طاقة هذا الليزر أكثر من المتوسط.

التصنيف الرابع Class IV وهي انواع الليزر ذات الطاقة العالية وتصل إلى 500mW للشعاع المتصل بينما لليزر النبضات فتقدر طاقته بـ 10 J/cm2 ويشكل هطورة على العين وعلى الجلد واستخدام هذا الليزر يتطلب العديد من التجهيزات وإجراءات الوقاية.

تطبيقات الليزر

الليزر له تطبيقات عديدة جدا في مختلف مجالات الحياة ولا يمكن في هذه المحاضرة من تغطية الموضوع بالكامل وسنقوم بالقاء الضوء على اهم هذه التطبيقات وسيتم اثراء هذا المجال من خلال الكتابة فيه ولكن تحت باب تفسيرات فيزيائية أو مقالات علمية أو ابحاث تخرج الطلبة. يمكن تقسيم استخدامات الليزر إلى ستة اقسام اساسية هي على النحو التالي:

تطبيقات صناعية	Industrial applications
تطبيقات طبية	Medical applications
تطبيقات عسكرية	Military applications
تطبيقات الحياة اليومية	Daily applications
تطبيقات الابحاث العلمية	Scientific research applications
تطبيقات خاصة	Special applications

ادخل الليزر في التطبيقات الصناعية منذ اول اكتشافه في 1960. وبالاخص

تطبيقات صناعية	Industrial applications

في القياسات measurements وفي الترتيب alignment للاجهزة البصرية وانابيب الضخ وخطوط الكهرباء واجهزة القياس واستخدم في مجال التصنيع كالقطع واللحام والصهر والتبخير وفي تصنيع الدوائر الإلكترونية المتكاملة وفي الحفر على الزجاج وغيره.

تطبيقات طبية	Medical applications

دخل الليزر في التطبيقات الطبية وهي كثيرة ولذلك تقسم هذه التطبيقات اما حسب نوع المعالجة كأن تكون تطبيقات الليزر في الجراحة أو في مجال طب الاسنان أو طب العيون وتقسم ايضا حسب نوع الليزر المستخدم في الطب مثل ليزر ثاني اكسيد الكربون او ليزر النيتروجين او ليزر الاكسيمر وتقسم في بعض الاحيان حسب طبيعة المعالجة مثل تطبيقات الجراحة او لحام الاوعية الدموية او التشخيص.والتقسيم الاخير اكثر استخداماً ولفهم تطبيقات الليزر في الطب يجب دراسة العلاقة بين اشعة الليزر المختلفة والخلايا الحية. وهذه العلاقة تعتمد على خصائص الليزر من ناحية طوله الموجي وشدته وشكله عند سقوطه على الجسم المراد علاجه. يمكن تغيير الطول الموجي من خلال تغيير نوع الليزر والتحكم بشدة الاشعة يتم من خلال التحكم في زمن تسليط الليزر وقوة الضخ المستخدمة أما شكل حزمة اشعة الليزر فيتحكم بها من خلال عدسات التركيز المستخدمة. فإذا اعتبرنا ان طاقة اشعة الليزر في حدود 1 وات فإنه يمكن بتغيير الطول الموجي

التحكم في طبيعة العلاقة بين الليزر والخلايا الحية. الليزر الذي يعمل في منطقة الاشعة فوق البنفسجية البعيدة يقتل الخلايا الحية مثل RNA و DNA. الليزر الذي يعمل في منطقة الاشعة فوق البنفسجية القريبة يحدث تفاعل كيميائي مع مكونات الخلايا. الليزر الذي يعمل في منطقة الاشعة المرئية يحدث تأثير حراري على الخلايا لامتصاصها طاقة الليزر.

العلاج بالليزر له خصائص عديدة منها قلة الفقد في الدم نتيجة للقطع كما انه نبضات الليزر تكون قصيرة زمنيا مما يجعل المريض لا يشعر بألم كما ان استخدام الليزر يعطي للطبيب رؤية واضحة للمنطقة التي يعالجها لقلة الادوات الميكانيكية التي يستخدمها الطبيب كما ان العلاج لا يحتاج إلى احداث جرح يذكر في جسم المريض وبالتالي يمكن للمريض مغادرة المستشفى فور رزوال تأثير التخدير كما ان الليزر يمكن ان يتم التحكم به بواسطة الكمبيوتر مما يعني دقة فائقة في العملية.

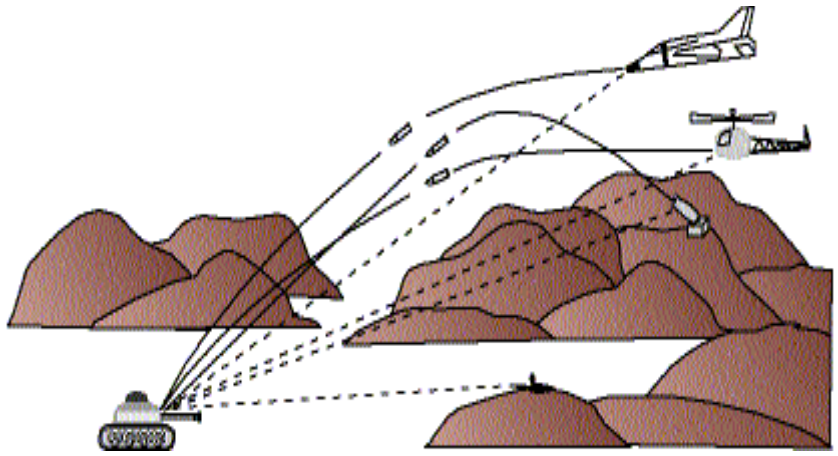
من المجالات الطبية التي يدخل فيها الليزر للعلاج هي:

Eye Treatment. General Surgery. Ear, Nose and Throat. Dentistry. Dermatology. Gastroenterology and colo-rectal. Plastic surgery. Gynecology. Urology. Oncology. Orthopedics. Neurosurgery. Veterinary. Cardiovascular.

تطبيقات عسكرية	Military applications

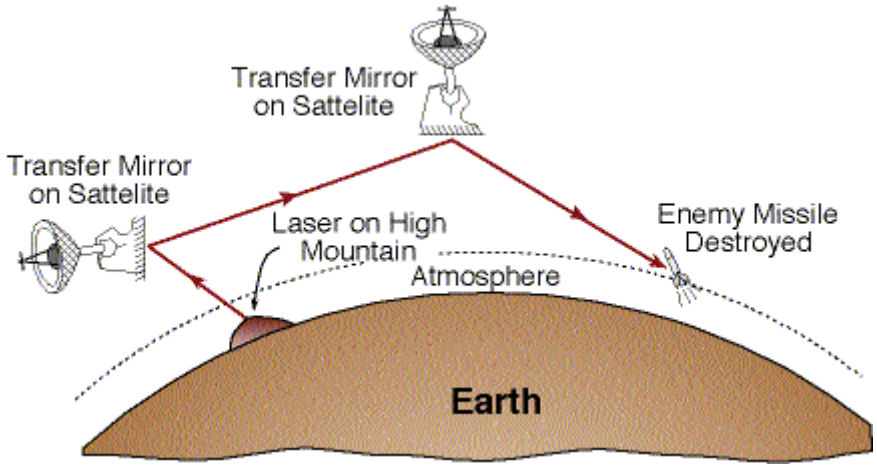
منذ اكتشاف الليزر والكثير من الابحاث المتعلقة في تطويره كانت لاستخدام في المجالات العسكرية وغالبا ما تكون هذه الابحاث غاية في السرية ولا تكشف إلا بعد سنوات. ومن هذه التطبيقات نذكر استخدام الليزر في التصويب واستخدامه في التفجير عن بعد أو توجيه القذائف وفي تعقب الهدف مهما كانت سرعته وقدرته على تغيير وجهته وفي اسلحة ما يسمى بحرب النجوم كما تدخل في ابطال مفعول اجهزة الخصم الالكترونية واصابته بالعمى.

في المثال التالي نوضح فكرة استخدام الليزر في توجيه القذائف حيث تقوم الطائرة بتوجيه نبضات من اشعة الليزر الغير مرئية على الهدف واجهزة استقبال مثبته على القذائف الموجهة تقوم بتتبع النبضات المنعكسة عن الهدف إلى ان تصيبه. وهذه التكنولوجيا دقيقة إلى درجة كبيرة مستفيدة من حزمة الليزر المستقيمة وسرعة انتشار الليزر وامكانية التحكم في النبضات التي تكون عبارة عن شيفرة من الصفر والواحد التي يفهمها الكمبيوتر الموجه للقذيفة.



مثال اخر نضربه على التطبيقات العسكرية لليزر في حرب النجوم وهذا الاسم الذي اطلقته الولايات المتحدة على نظام الدفاع ضد الصواريخ التي

قد تهاجمها من الفضاء بأن ترسل حزمة من نبضات الليزر اما من محطة ارضية على جبل مرتفع أو من اقمار صناعية في الفضاء ذات طاقة هائلة لتسافر بسرعة الضوء وتصيب تلك الصواريخ وهي في الفضاء مباشرة بعد اطلاقها.



تطبيقات الحياة اليومية	Daily applications

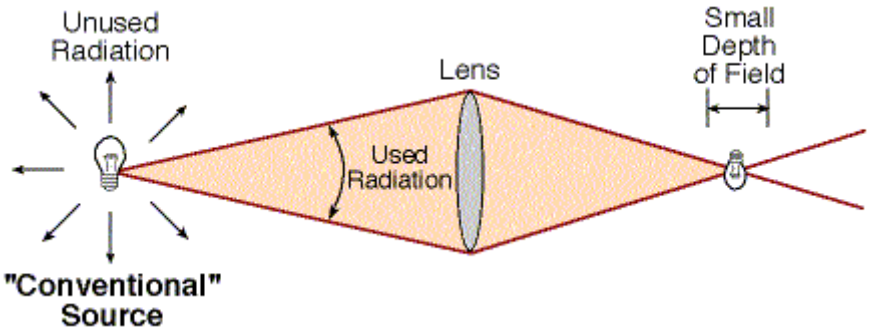
لليزر تطبيقات عديدة في مجال استخدامات الحياة اليومية وتقسم هذه التطبيقات على النحو التالي:

تطبيقات الليزر في البيت	الاقراص المضغوطة الوسائط المستخدمة لتخزين المعلومات
تطبيقات الليزر في العمل	طابعة الليزر وسائط تخزين المعلومات الكمبيوتر الضوئي

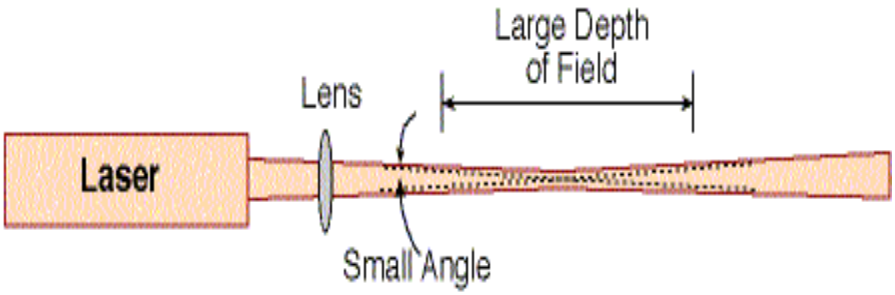
تطبيقات الليزر في التجارة	قارئ البار كود العلامة الهلوغرافية
تطبيقات الليزر في الاتصالات	الالياف الزجاجية المستخدمة في الاتصالات الاتصال الفضائي
تطبيقات الليزر في التسلية	عروض الليزر في المناسبات والاحتفالات والاعياد معارض التصوير ثلاثي الابعاد

وهنا يجب أن نوضح خاصية امتاز بها شعاع الليزر عن غيره من مصادر الضوء العادي وهي عمق مجال تركيز الليزر والشكل التالي يوضح هذا المصطلح.

في حالة تركيز اشعة الضوء العادي باستخدام عدسة فإن عمق تركيز الاشعة لا يتعدة الميليمتر فقط.



أما عمق تركيز اشعة الليزر فيصل إلى ما يقارب 50 سنتيمتر ان لم يكن اكثر وهذا يعطي مجال واسع للتطبيقات التي يجب فيها تحريك الليزر



Scientific research applications	تطبيقات الابحاث العلمية

قلما يوجد بحث علمي سواء في مجال الفيزياء أو الكيمياء أو الجيولوجيا أو الاحياء إلا ويستخدم الليزر كأداة رئيسية في هذه الابحاث ومن تطبيقاته في المجالات العلمية نذكر التالي:

- Spectroscopy

- Laser (inertial) fusion

- Very short pulses (10-15 femtosec)

- Laser cooling of atoms

- Study of the interaction of electromagnetic radiation with matter

Special applications	تطبيقات خاصة

هذه من التطبيقات المتقدمة ولا مجال للشرحا بالتفصيل في هذه المرحلة ونذكر من هذه التطبيقات ما يلي:

Energy transport in space

وهي محطات فضائية للاستخدام البشري ويعتمد على الليزر في تزويدها بالطاقة اللازمة عن طريق توجيه اشعة الليزر من الأرض للمحطة الفضائية.

Laser gyroscope

وهو جهاز يستخدم في للحفاظ على الاتجاه في الفضاء

Fiber laser

وهي تطبيقات تعتمد على توليد الليزر في الالياف الزجاجية بدون الحاجة إلى استخدام الطاقة الكهربية لعملية الضخ.

المراجع

http://www.hazemsakeek.com/Physics_Lectures/Laser/LaserLectures_13.htm

http://www.nasainarabic.net/education/articles/view/polarization.