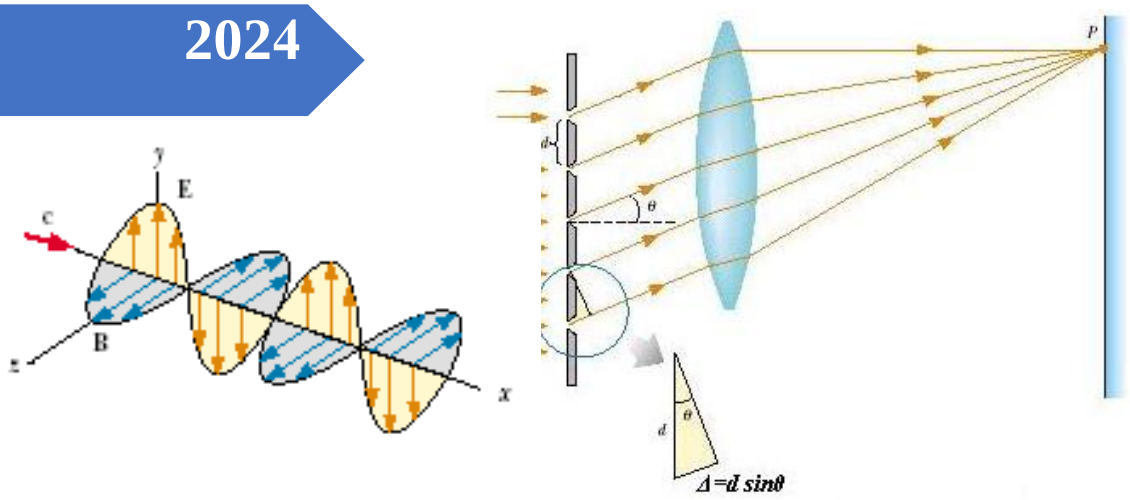
2024



البصريات الفيزيائية

للفرقة الثانية تعليم أساسي

إعداد

د/ علاء حسن سعيد

أستاذ مساعد الفيزياء الحيوية

كلية العلوم

جامعة جنوب الوادي

المحتوي

الفصل الأول (الضوء الطبيعي) 4

(1-1) مقـــــــدمة 4

(1-2) تعريف الضوء 9

(1-3) مصادر الضوء 11

(1-4) سرعة الضوء 13

(1-5) نظريات لتفسير طبيعة الضوء 19

(1-6) أسئلـــــــة وتمارين 21

نماذج التقييم 23

نموذج (1) 23

الفصل الثاني (الضوء كحركة موجية) 24

(2-1) مقدمة 24

(2-2) الحركة التوافقية البسيطة 29

(2-3) الحركة الموجية 37

(2-4) تراكب الموجات 42

(2-5) أسئلة وتمارين 52

نماذج التقييم 54

نموذج (2) 54

الفصل الثالث (ظاهرة التداخل في الضوء) 55

(3-1) تداخل موجات الضوء 55

(3-1-1) شروط حدوث التداخل 56

(3-2) تجربة الشق المزدوج لينج 58

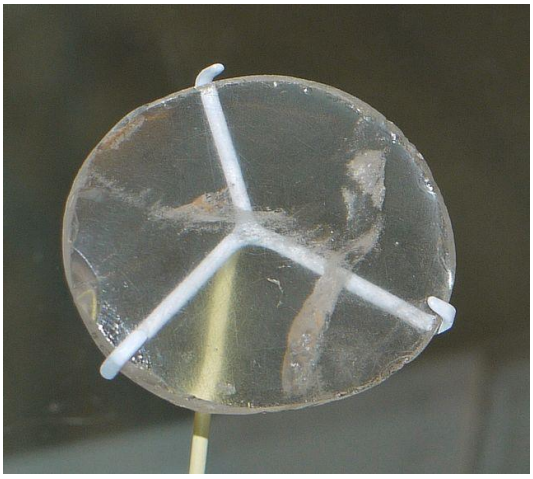
تغير الطور نتيجة للإنعكاس 65
تداخل الضوء في الأغشية الرقيقة 66
(3-3) حلقات نيوتن 71
(3-5) مقاييس التداخل 74
(3-6) أسئلة وتمارين 82
نماذج التقييم 85
نموذج (3) 85
الفصل الرابع (ظاهرة حيود الضوء) 86
(4-1) مقدمة..... 86
(4-2) ظاهرة الحيود 87
(4-3)حيود فرنهوفر من خلال فتحة مستطيلة ضيقة 88
(4-4) محزوز الحيود..... 90
(4-5) أسئلة وتمارين 95
نماذج التقييم 97
نموذج (4) 97
الفصل الخامس (ظاهرة إستقطاب الضوء) 98
(5-1) إستقطاب الضوء 98
(5-3) قانون مالوس 100
(5-4) طرق الحصول على الضوء المستقطب:..... 102
(4-5) أسئلة وتمارين 108

نماذج التقييم 110
نموذج (5) 110
ملحق 1 111
تعاريف في الضوء والبصريات - 111
ملحق 2 124
اسئلة متنوعه 124
المراجع 130

الفصل الأول (الضوء الطبيعي)

(1-1) مقـــــــدمة

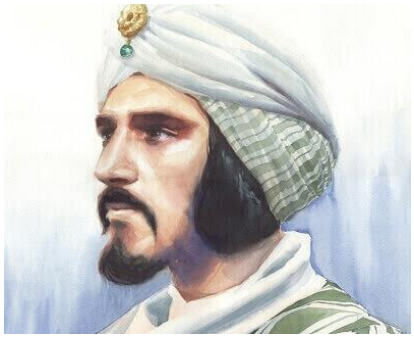
بدأت **البصريات** مع تطور العدسات من قبل قدماء المصريين وبلاد ما بين النهرين .وكانت أولى العدسات مصنوعه من الكريستال المصقول شكل (1)، وغالبا الكوارتز،كما تم في وقت مبكر من التاريخ (700 ق.م) عمل عدسات مثل عدسة النمرود في بلاد آشور قديماً, كما كان الرومان القدماء والإغريق يصنعون عدسات بدائيه عن طريق ملئ الزجاجات بالماء. تلت هذه التطورات, تطوير نظريات الضوء والرؤيه من الفلسفة اليونانية والهندية, ثم تطورت البصريات الهندسية عند اليونان والرومان.



شكل (1) عدسة النمرود

خلال العصور الوسطى, كانت الأفكار اليونانيه مأخوذه من العالم الإسلامي. وكان أول المسلمين هو يعقوب بن إسحاق الكندي، شكل (1-أ)، والذي كتب في موضوع الأفكار الأرسطية والبصريات الإقليدية، والعالم المسلم

الفارسي إبن سهل ، شكل (1-ب) ، كتب اطروحه حول المرايا والعدسات كما وضع إبن سهل أول قانون انكسار, وقد استخدم القانون لاستخلاص أشكال العدسات التي تركز الضوء من غير انحراف.



شكل (1-أ) يعقوب بن إسحاق الكندي ، شكل (1-ب) أبو سعد العلاء إبن سهل

وفي أوائل القرن الحادي عشر كتب ابن الهيثم ، شكل (2-أ)، كتب في البصريات كتاب المناظير والذي بحث في الانعكاس والانكسار, واقترح نظاماً جديداً لشرح الرؤية والضوء اعتماداً على الملاحظه والتجربة, ورفض نظرية الانبعاث, ووضع بدلاً من ذلك فكرة أن الضوء المنعكس في كل الاتجاهات في خطوط مستقيمة من جميع نقاط الجسم تظهر ويتم مشاهدتها ومن ثم تدخل العين، على الرغم من انه لم يتمكن من شرح آلية صحيحة لكيفية التقاط العين للأشعة. تم تجاهل إلى حد كبير عمل ابن الهيثم في العالم العربي ولكن تم ترجمتها بشكل مجهول إلى اللاتينية حوالي 1200م وتلخيص المزيد ووسعت من قبل الراهب البولندي Witelo ، شكل (2-ب).

شكل (2-أ) الحسن ابن الهيثم ، شكل (2-ب) الراهب البولندي Witelo

في منتصف القرن السابع عشر كتب الفيلسوف رينيه ديكارت ، شكل (3-أ) بعض النظريات البصريه, والتي أوضحت مجموعة متنوعة من الظواهر البصرية بما في ذلك الانعكاس والانكسار وهذا يختلف تماماً عن نظرية الانبعاث اليونانية القديمة. وفي (أواخر 1660 وأوائل 1670 وسع نيوتن ، شكل (3-ب)، أفكار ديكارت في نظرية جسيمية الضوء الشهيرة والتي تظهر أن الضوء الأبيض مزيج مركب من الألوان المختلفة والتي يمكن فصلها بالمنشور.

شكل (3-أ) رينيه ديكارت ، شكل (3-ب) إسحاق نيوتن

يصف علم البصربات أو المناظير سلوك الطيف المرئي، تحت الأحمر، فوق البنفسجي، بشكل مجمل معظم الأمواج الكهرمغناطيسية والظواهر المشابهة مثل الأشعة السينية، الأمواج الميكروية، الأمواج الراديوية وغيرها من أنواع الأمواج والإشعاع الكهرمغناطيسي .لذا يتم اعتبار البصريات أحيانا فرعا من الكهرمغناطيسية .تعتمد بعض الظواهر البصرية على ميكانيكا الكم لكن الغالبية العظمى من الظواهر البصرية يمكن شرحها وتفسيرها بناء على الوصف الكهرمغناطيسي للضوء الذي تحدده بدقة قوانين ماكسويل.

بشكل كبير تعتبر البصريات حقل دراسي مستقل عن بقية فروع واختصاصات الفيزياء بحيث يملك كيانا مستقلا وجمعيات علمية خاصة ومؤتمرات خاصة، تدعى النواحي العلمية البحتة من البصريات فيزياء بصرية اما النواحي التطبيقية فتدعى هندسة بصرية.

تاريخياً يعتبر العالم العربي ابن الهيثم 1039-965 م مؤسس علم بصريات بكتابه الفريد المناظر، وهو الذي قام بتوصيف آلية الابصار العين كجسم مستقبل للضوء فحسب، مخالفاً نظرية بطليموس الذي اقترح أن العين تصدر الضوء أيضاً.

أهم تطبيقات علم البصريات اليوم في المجال التكنولوجيا هي الألياف البصرية لنقل البيانات وأشعة الليزر.

البصريات هي العلم الذي يتعامل مع الضوء في كيفيه تولده وانتشاره اما الضوء فهو نوع من أنواع الطاقات المعروفة كالطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية والطاقة الكهربية ولكن الطاقة الضوئية تظهر في صورة خاصه

من صور الطاقة هي الصورة الاشعاعية والتي تؤثر في العين فتسبب الرؤية وتتحول هذه الطاقة الاشعاعية الضوئية إلى الأنواع المعروفة للطاقة تحقيقا لمبدأ بقاء الطاقة وكيفية رؤية العين ليس كما كان يفسر قديما بأن الأشعة تخرج من العين فتسقط على الجسم فترى العين ويعرف الضوء المرئي بأنه الاشعاع الذي يؤثر في العين فيسبب الرؤية وتعتمد درجة وضوح رؤية الجسم المرئي على الكم والنوع للطاقه المرتدة من الجسم والتي تستقبلها العين وكل نقطة على الجسم المرئي تعتبر مصدرا للاشعاع تستقبل منه العين كل الأشعة الصادرة منه على شكل مخروطى قاعدته هي العين وقمته هي النقطة التي على الجسم المضئ. ينتشر الضوء في جميع الاتجاهات بسرعة فائقة جدا لدرجة انه لا يوجد في تجاربنا اليومية ما يدعونا للظن بإن سرعة الضوء ليست نهائية وتقل سرعة الضوء في الأوساط المادية فمثلا سرعة الضوء في الماء أكبر من سرعته في الماس. و تختلف مصادر الضوء عن بعضها في مقدار الذبذبات الصادرة منها وبذلك تختلف في مقدار الطاقة الاضعاعية الصادرة عنها وبالتالى تأثيرها على الرؤيه أي انها تختلف في طول الموجة والتردد ويتضح من هذا علاقه الألوان المكونة للضوء كل واحد منها له طول موجى وتردد خاصين بها ويختلفان عن باقى الألوان. أوضح ماكسويل ان الضوء هو أحد الأجزاء المكونة للطيف الكهرومغناطيسى

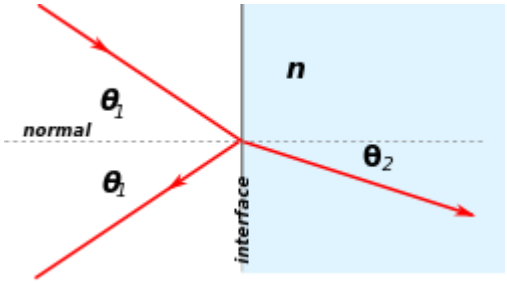
(1-2) تعريف الضوء

الضوء light نوع من الأمواج الكهرمغنطيسية تقع أطوال موجاته بين 0.4 ميكرون و 0.7 ميكرون، بل قد يكون الأصح أنه المجال الذي تستجيب له وتتحس به العين. ويستخدم اللفظ ذاته للدلالة على الأضواء ذات الأطوال الموجية المجاورة لهذين الحدين ـ وهي أضواء لاتتحسس بها العين ـ وهما الضوء فوق البنفسجي UV، والضوء تحت الأحمرIR . ولتمييز ضوء من آخر يستعمل إضافة إلى طول الموجة، التردد frequency مقدراً بالهرتز Hz، والعدد الموجي وواحداته مقلوب طول. ويرتبط طول موجة الضوء بلونه، ويقال عن ضوء بأنه وحيد اللون monochromatic إذا كان طول موجته واحداً.

وتنقسم البصريات الكلاسيكية إلى فرعين رئيسيين :البصريات الهندسية والبصريات الفيزيائية.

(1-2-1) البصريات الهندسية

البصريات الهندسية، أو أشعة البصريات، ويصف انتشار الضوء من حيث "الأشعة" التي تتجه في خطوط مستقيمة، ومسارات تخضع لقوانين الانعكاس والانكسار تم اكتشاف هذه القوانين تجريبيا بقدر ما يعود إلى 984 م, واستخدمت من ذلك الحين وحتى اليوم في تصميم أدوات ومكونات بصرية. ويمكن تلخيصها على النحو التالي: عندما يصطدم شعاع من الضوء بين مادتين شفافتين, ينقسم إلى انعكاس وشعاع منكسر، شكل (4).



شكل (4) انعكاس وانكسار أشعة الضوء

قانون الانعكاس يقول أن انعكاس الأشعة يكمن في زاوية السقوط, وأن زاوية الانعكاس تساوي زاوية السقوط.

قانون الانكسار يقول أن انكسار الأشعة يكمن في زاوية السقوط، وجيب زاوية الانكسار مقسوما على جيب الزاوية الإصابة هو ثابت.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = n$$

حيث n هو ثابت لأي مادتين ولون معين من الضوء. كما هو معروف في معامل الانكسار.

ويمكن اشتقاق قوانين الانعكاس والانكسار من مبدأ فيرما التي تنص على أن تتخذ مسار بين نقطتين من قبل شعاع الضوء هو المسار الذي يمكن اجتيازه في أقل وقت.

(1-2-2) البصريات الفيزيائية

يُشير مصطلح البصريات الطبيعية في الفيزياء أو علم البصريات الفيزيائي إلى فرع البصريات الذى يختص بدراسة التداخل والحيود والاستقطاب، وغيرها من ظواهر تقارب الأشعة غير الموجودة في البصريات الهندسية.

ولا يتضمن هذا الاستخدام بعض التأثيرات الأخرى مثل ضجيج الكم في الاتصالات البصرية، حيث تتم دراسته تحت فرع نظرية الكم.

أى أن مجال البصريات الفيزيائية 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 الحيـود 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 للضوء تفسيرها ولم يتم تفسيرها إلا بعد ظهور نظرية الكم التى بدأها بلانكPlanck عام 1900 و التى تعتبر أن الضوء عبارة عن كمات Quantum من الطاقة سميت فوتونات Photons طاقة كل فوتون منها تساوى مقدار ثابت يسمى ثابت بلانك مضروبا فى تردد الموجة الضوئية.

(1-3) مصادر الضوء

تنقسم المصادر الضوئية إلى:-

١- المصادر الضوئية **الطبيعية** للضوء هي الشمس والنجوم وتشع الشمس ضوء لأنها ساخنة نتيجة للتفاعلات الذرية التي تحدث بداخلها، وتبلغ درجة

حرارة سطحها حوالي ٦٠٠٠°م وتعتبر هي المصدر الطبيعي الرئيسي للحرارة .

٢- (أ) المصادر الضوئية **الصناعية** فتشع ضوءًا نتيجة لأن درجة حرارتها عالية ولكن هذه الطريقة لحدوث الضوء ليست ذو فائدة كبيرة. إذ أن الجزء الأكبر من الطاقة التي يحصل عليها الجسم الساخن تكون على شكل اشعاع غير مرئي (حرارة). والجزء الأكبر من الطاقة تظهر كإشعاع مرئي (ضوء). وكلما زادت درجة حرارة الجسم كلما زادت نسبة الطاقة المرئية (الضوء) إلى الطاقة الغير مرئية وهي الحرارة مثل اللهب.

(ب) مصادر ينبعث منها الضوء كنتيجة تحول الطاقة الكهربية إلى طاقة ضوئية كما يحدث في المصابيح الكهربائية وهي إحدى المصادر الصناعية التي تشع ضوءًا. ويتكون المصباح الكهربائي من أنبوبة زجاجية تحتوي على غاز خامل مثل الأرجون ويوجد بداخل الأنبوبة سلك مصنوع من معدن ذات درجة انصهار عالية جدًا مثل مادة التنجستين. ويلحم نهايتي السلك في الأنبوبة الزجاجية بحيث يكون هناك عازلًا بين نهايتي السلك، وفائدة الغاز الخامل هو التقليل من تبخر المعدن. فإذا وصلنا طرفي السلك الموجود في المصباح الكهربائي بمصدر كهربي فإن تيارًا كهربيًا يسري في السلك ويكتسب بذلك طاقة كهربائية تتحول إلى طاقتين وهما طاقة غير مرئية وهي الطاقة الحرارية وطاقه مرئية وهي الطاقة الضوئية. ويوجد مصادر أخرى للضوء مثل القوس الكهربي وغير ذلك.

(1-4) سرعة الضوء

عرفت سرعة الضوء بالفراغ بكونها تساوي بالضبط 299,792,458 م/ث (تقريباً 186,282 ميل/ث). نتجت السرعة الثابتة للضوء في نظام الوحدات الدولي (SI) من حقيقة أن المتر أصبح يعرف الآن على أنه سرعة الضوء. وجميع أشكال الاشعة الكهرومغناطيسي تتحرك بنفس السرعة في الفراغ.

حاول الكثير من الفيزيائيين عبر التاريخ لقياس سرعة الضوء ومن ضمنهم جاليليو في القرن 17. وأجريت إحدى التجارب الحديثة لقياس سرعة الضوء بواسطة الفيزيائي الدنماركي أوول رومر في عام 1676 م. أجريت في أوروبا تجربة أخرى أكثر دقة لقياس سرعة الضوء على يد فيزو في عام 1849 م.

(1-4-1) قياس سرعة الضوء بطريقة جاليليو:

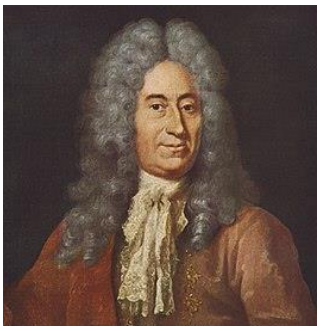
يتحرك الضوء بسرعة مهولة. فهو يقطع في الثانية الواحدة 300 الف كيلومتر.اي انه في اقل من ثانية ونصف يقطع المسافة بين الارض والقمر. و بسبب هذه السرعة الهائلة كان القدماء يظنون بأن سرعة الضوء لانهائية وبأن الضوء لا يحتاج الي اي زمن حتى يقطع مسافة ما.

شكل (5) محاولة جاليلو لقياس سرعة الضوء

وكان اول من حاول ان يقيس سرعة الضوء عن طريق التجربة هو الايطالي جاليليو. حيث اجري تجربة بمعاونة اثنين من المساعدين اوقفهما على هضبتين تبعدان كيلومتر عن بعضهما البعض. وكان كل مساعد منهما يحمل في يده مصباحا يغطيه بيده. وعند اعطاء اشارة البدء من جاليليو يقوم المساعد الاول برفع يده عن المصباح. وبمجرد ما ان يلمح المساعد الثاني نور المصباح الاول يقوم برفع يده هو الاخر حتي يرى المساعد الاول النور ، شكل (5). وبقياس الزمن المنصرم بين رفع المساعد الاول ليده حتى رؤيته للضوء وبمراعاة المسافة بين المساعدين يستطيع جاليليو حساب سرعة الضوء. وطبعا قبل ان يجري جاليليو هذه التجربة كان قد قاس سرعة حركة يدي المساعدين وسرعة رد فعلهما حيث ان المساعدين قد تدربوا كثيرا امام بعضهما البعض اولا. ووجد جاليليو ان الزمن المنقضي يساوي فقط زمن رد الفعل عند المساعدين. اي ان الزمن اللذي احتاجه الضوء حتى يقطع مسافة 2 كيلومتر يساوي صفر. ولكن جاليليو لم يكن متسرعا في اتخاذ

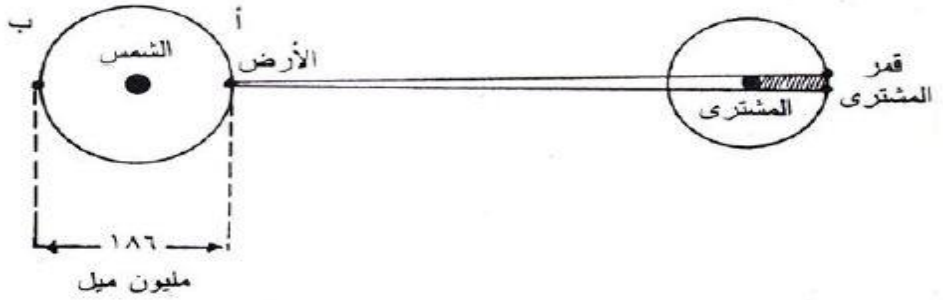
قراره. فهو اوصى بأعادة التجربة في مسافة اطول 2 كيلومتر ثم 3 كيلومتر ثم 9 كيلومتر فان ظل الزمن اللازم صفرا فهنا فقط يمكن الزعم بأن سرعة الضوء لانهائية.

(1-4-2) طريقة رومر



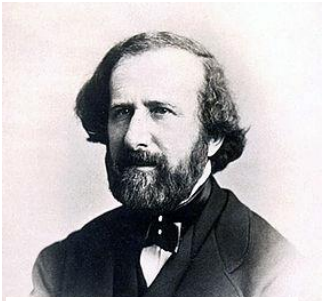
شكل (6) رومر

المحاولة الثانية لقياس سرعة الضوء كانت عن طريق العالم الدنماركي رومر، شكل (6)، عام 1670 ميلادي اللذي لفت نظره ان احد اقمار المشتري وهو القمر "ايو" يتأخر موعد خسوفه عن الموعد المحسوب له ب 22 دقيقة. ولاحظ ايضا ان التأخير يتلازم عندما تكون الارض موجودة في مدارها عند ابعد نقطة عن المشتري. وهنا فكر ان السبب ربما يكون في ان الضوء في هذه الحالة يحتاج الى قطع مسافة اطول فاذا كانت سرعة الضوء محدودة و ليست لا نهائية فان هذا يعني زمن اطول. وحيث ان قطر مدار الارض حول الشمس يساوي 300 مليون كيلومتر وحيث ان سرعة الضوء تساوي 300 الف كيلومتر في الثانية فهذا يعني ان الضوء يحتاج 1000 ثانية او 17 دقيقة لقطع هذه المسافة الاضافية. ولكن رومر ارتكب خطأ في القياس وقاس 22 دقيقة بدلا من 17 دقيقة. ولذلك حسب سرعة الضوء ب 200 الف كيلومتر في الثانية ، شكل (7).



شكل (7) محاولة رومر لقياس سرعة الضوء

(3 -4-1) طريقة العالم فيزو



شكل (8) فيزو

قام العالم فيزو بإجراء تجربة تاريخية عام 1849 لقياس سرعة الضوء باستخدام تركيب ذكي، يتألف من عجلة مسننة ومرآتين، إحداها عاكسة تماما للضوء والأخرى نصف عاكسة (تعكس جزءا من الضوء وتترك الجزء الآخر ينفذ).

الجهاز التجريبي المستعمل:

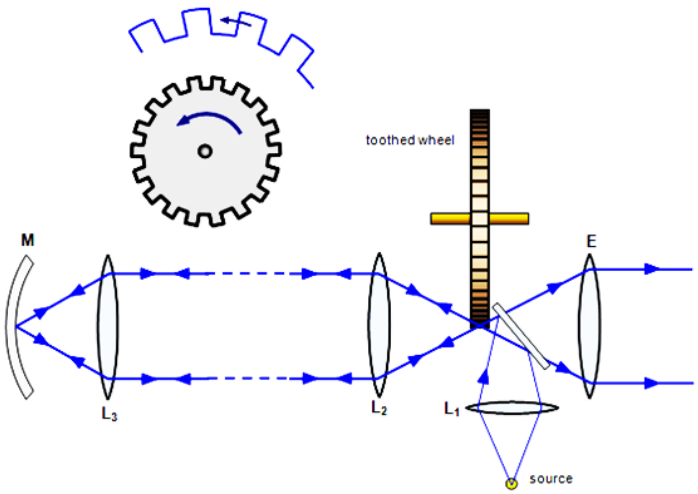
-يصدر منبع ضوئي s الضوء فينعكس على المرآة الأولى نصف العاكسة، فتقطع الحزمة الضوئية المنعكسة مسافة d بين نقطتين A ,B ، ذهابا وإيابا (يتم الانعكاس مرة ثانية على المرآة العاكسة عند A)، الحزمة المنعكسة تنفذ عبر المرآة نصف العاكسة لتصل إلى عين الملاحظ.

- توضع العجلة المسننة التي تتألف من 720 سنا و 720 تجويفا، بحيث يعبر الشعاع الضوئي تجويفها عند الذهاب و الإياب. انظر شكل (7) .

المسافة التي يقطعها الضوء هي بين مكانين A في مدينة "موتمارت" ، وB جبل "فاليريان" ب" سوران". المسافة بينهما تساوي d = 8633 m.

- تمكن فيزو من تحديد أكبر سرعة لدوران العجلة المسننة التي من أجلها يقطع الضوء مسافة الذهاب والإياب من خلال تجويفة واحدة أي من بين سنين مجاورين للعجلة ، وهكذا يرى الملاحظ الضوء بصفة مستمرة.والتي بمجرد تجاوزها يختفي الإشعاع الضوئي.

وجد هذه سرعة الحدية لدوران العجلة تساوي v = 12.6 دورة في الثانية. tours/seconde 12,6



شكل (9) عجلة فيزو لقياس سرعة الضوء

تحديد سرعة انتشار الضوء:

إذا كانت سرعة الضوء هي c ، فإن الضوء يقطع ذهابا و إيابا المسافة خلال المدة الزمنية t التي تدور فيها العجلة الزاوية موافقة لسن واحد.

هذه الزاوية تساوي: 0,25°=(720 ×2) /° 360 ، (لأن دورة واحدة توافق 360° (قطاعات زاوية) التي تحصر سنا أو تجويفا هو 720×2).

بما أن القرص ينجز12,6 دورة في الثانية. أي 360° × 12,6 توافق 1 ثانية.

فإن الزمن t الذي تدور فيه العجلة بزاوية موافقة لسن واحد أي ب: يساوي:

$t= 0,25/ (12,6\times 360)=5.51x10^{-5}$

الضوء يقطع المسافة D = 2d خلال نفس الزمن t، ومنه

$c = D/ t = 2d/t$ سرعة الضوء

$d= 2\times 8633m^2$

$t= 5,51 .10^{-5}$ s

فنحصل على :

$c= 3,13\times 10^8$ m/s

وهي قيمة قريبة جدا من القيمة المعروفة حاليا :

$c= 3\times10^8$ m/s

(1-5) نظريات لتفسير طبيعة الضوء

(1-5-1) النظرية الجسيمية لنيوتن

شكل (10) نيوتن

اعتقد نيوتن ، شكل (10)، أن الضوء عبارة عن جسيمات دقيقة متناهية في الصغر تنتشر في الفراغ بسرعات عالية و قد نجحت هذه النظرية في تفسير ظاهرة الانتشار و الانعكاس و لكنها فشلت في تفسير ظاهرة الانكسار حيث افترضت أن سرعة الضوء في الوسط الأكبر كثافة ضوئية كالماء اكبر منها في حالة الوسط الأقل كثافة ضوئية كالهواء.

(1-5-2) النظرية الموجية لهايجنز

شكل (11) هايجنز

افترضت نظرية هايجنز ، شكل(11)، أن الضوء عبارة عن موجات و أن كل نقطة على صدر الموجة تعتبر مصدر إطراب ثانوى. وأنه لابد من وجود وسط مادي لكي تنتشر من خلاله هذه الموجات و قد أعطى هيجنز مواصفات خاصة لهذا الوسط و سماه الأثير. هذا و قد استطاعت هذه النظرية في تفسير ظاهرة الانكسار حيث اعتبرت أن سرعة الضوء في الوسط الأكبر

كثافة ضوئية كالماء اقل منها في حالة الوسط الأقل كثافة ضوئية كالهواء. و لكنها فشلت في إيجاد هذا الأثير كما أنها فشلت في تفسير ظاهرة الاستقطاب.

(1-5-3) النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل

شكل (12) ماكسويل

اعتبرت نظرية ماكسويل ، شكل (12)، أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ. و من المعروف أن الموجة الكهرومغناطيسية تتكون من مجالين متعامدين أحدهما المجال الكهربي و الأخر هو المجال المغناطيسي و كلاهما متعامد على اتجاه انتشار الموجة، و من المعروف أيضا أن مثل هذه الموجات هي موجات مستعرضة. و من ثم استطاعت هذه النظرية من تفسير ظاهرة الاستقطاب و أهملت وجود الوسط (حيث أن هذه الموجات تنتشر في الفراغ). و لكن ظهرت حينئذ ظاهرة فيزيائية مهمة لم تستطع هذه النظرية من تفسيرها و هي الظاهرة الكهروضوئية.

(1-5-4) النظرية الكمية لبلانك

شكل (13) بلانك

قد تنجح أي نظرية من النظريات السابقة في تفسير الظواهر الضوئية المعتمدة على تفاعل الضوء مع الضوء (الحيود و التداخل والاستقطاب), لكن عند دراسة تفاعل الضوء مع المادة (انبعاث و امتصاص و الظاهرة الكهروضوئيه) فانه لا يمكن تفسير مثل هذه الظواهر إلا من خلال الطبيعة

الكمية للضوء.

افترضت النظرية الكمية لبلانك ، شكل (13)، أن الضوء عبارة عن سيل من الفوتونات (الكمات) و أن طاقة كل فوتون تعطى من العلاقة

$$E = h\upsilon$$

حيث أن h ثابت بلانك و ν هو التردد لموجة الضوء (له علاقة بالطول الموجى و سرعة الضوء). و قد استطاعت هذه النظرية من تفسير ظاهرة انبعاث الإلكترونات من أسطح بعض الفلذات عند سقوط الضوء عليها و التي تسمى الطاهرة الكهروضوئية.

(1-6) أسئلـــــــة وتمارين

1- اشرح طريقة لقياس سرعة الضوء؟

2- في تجربة "فيزو" إذا كانت العجلة المسننة بها 750 سن وتدور بسرعة 12.6 دورة في الثانية. أوجد سرعة الضوء علمًا بأن المسافة بين العاكس والتلسكوب 8633 متر؟

3- أوجد المسافة بين العاكس و التلسكوب في تجربة "فيزو" إذا علمت أن عدد السنون 600 سن في العجلة وتدور بسرعة 15 دورة في الثانية وأن سرعة الضوء 3×10^8 سم^2/ث ؟

4- إذا كان في العجلة الدوارة في طريقة "فيزو" 150 سن و المسافة بين سنون متساوية لعرض السن وكانت المسافة بين العجلة المسننة والمرآة ١٢ كم. فكم تكون سرعة دوران العجلة لكي نحصل على الظلام الأول علمًا بأن سرعة الضوء 3×10^8 سم^2/ث؟

5- إذا علم أن العجلة المسننة في تجربة فيزو لقياس سرعة الضوء تدور بسرعة 7 دورات في الثانية، وأنها تحتوي 720 سنا. فأوجد سرعة الضوء. علمًا بأن المسافة التي يقطعها الضوء ذهابًا وإيابًا 15000 مترا.

6- أوجد عدد الدورات في الثانية للعجلة المسننة في تجربة فيزو لكي يختفي الضوء أول مرة. علمًا بأن عدد الأسنان 720 والمسافة بين العجلة والعاكس 8633 مترا.

7- بإستخدام طريقة فيزو لإيجاد سرعة الضوء وجد أن الصورة تبدأ في الاختفاء عندما تكون السرعة الزاوية للعجلة 60 زاوية نصف قطرية في الثانية. فإذا كان عدد أسنان العجلة 800 والمسافة التي يقطعها الضوء 20 كيلو مترًا فاحسب سرعة الضوء.

نماذج التقييم

نموذج (1)

الكلية:

القسم:	
الشعبة:	
الإسم :	
التاريخ:	

التقييم عن الفصل الأول

1- فرق بين المصادر المختلفة للضوء؟

2- إشرح بالتفصيل إحدي طرق قياس سرعة الضوء؟

3- ناقش النظريات المختلفة لتفسير الضوء؟

يرجي إرفاق النموذج مع الإجابات

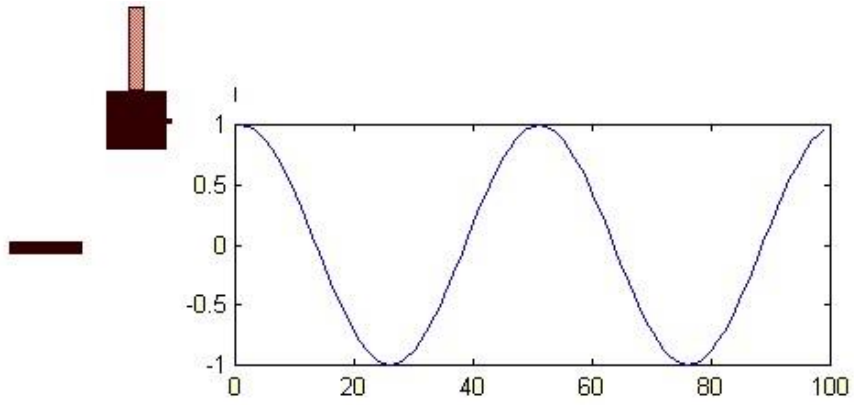
Alaa Hassan

الفصل الثاني (الضوء كحركة موجية)

(2-1) مقدمة

الموجة هي الاضطراب الذي ينتقل في اتجاه معين وبسرعة معينة بدون انتقال جزيئات الوسط الذي تسري فيه ويقوم بنقل الطاقة باتجاه مساره. فبدلاً من انتقال جزيئات الوسط تتحرك الجزيئات حركة اهتزازية دورية حول مواضع اتزانها (مواضع استقرارها) ، أي تتحرك حركة توافقية بسيطة

يمكن تمثيلها بيانيا بالمنحنى الجيبي، كما في شكل (16) ادناه.

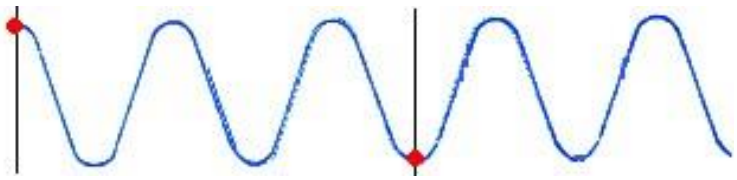


شكل (16) التمثيل البياني للحركة المجية كدالة جيبية

س /هل الموجة مادة؟

ج /لا تعتبر الموجة مادة، ولكنها تسري خلال المادة دون أن يصحب ذلك انتقال المادة ، وتحمل الموجة الطاقة من مكان إلى آخر،تنتقل الطاقة من مكان لآخر بواسطة تحريك نقاط الوسط المتموج رغم أن جزيئات الوسط

نفسه لا تنتقل من مكان إلى آخر في اتجاه انتشار الحركة الموجية ، شكل (17).



شكل (17) إنتشار الحركة الموجية

كيف تنتج الموجات؟

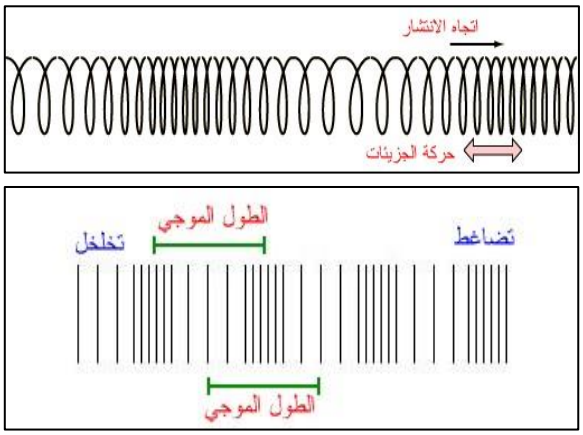
تنتج الموجات عن مصدر مهتز يحدث اضطراباً في الوسط المادي فتنتج عنه حركة موجية.

أنواع الموجات

هناك طريقتان لتصنيف الموجات، احداها تعتمد على كيفية انتشارها في الأوساط المختلفة، أما الأخرى فهي تعتمد على طبيعة الموجة نفسها. بالنسبة لطبيعة انتشار الموجة هناك ثلاث انواع رئيسية من الموجات وهي:

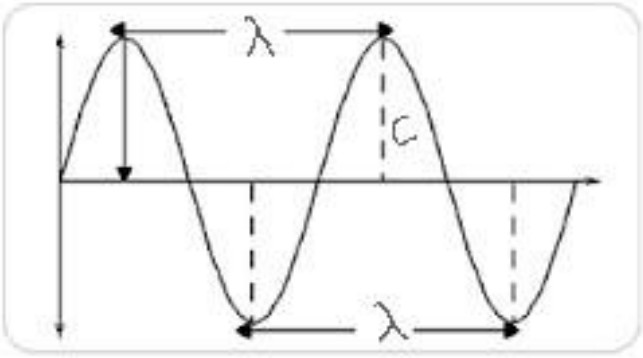
الموجات الطولية Longitudinal waves:

وهي الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها في اتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الموجة، وتتكون من سلسلة من التضاغطات والتخلخلات. ومن امثلة هذه الموجات الموجات الصوتية والموجات الناتجة من سحب زنبرك وتركه يهتز بحرية. الشكل ادناه يوضح نموذج للتضاغطات والتخلخلات المرافقة للموجات الطولية.



الموجات المستعرضة Transverse waves:

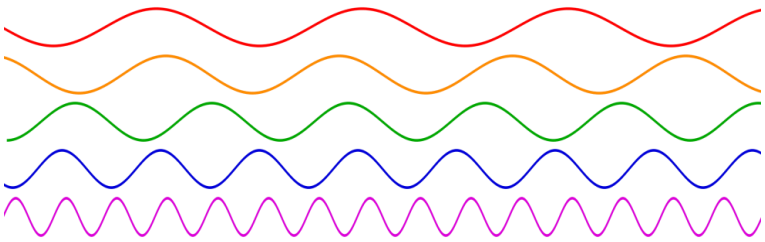
وهي الموجات التي تهتز جزيئات الوسط فيها حول مواضع اتزانها باتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة. وتتكون هذه الموجات من قمم وقعيعان كما في الشكل ادناه.



شكل (18) خصائص الموجة

في الشكل (18) اعلاه تمثل (λ) تقرأ (لامدا) الطول الموجي، وهو المسافة بين قمتين او قاعيين او موضعي اتزانين للموجة. اما C فيمثل سعة الموجة وهو اعلى ازاحة للموجة عن موضع اتزانها. اما الزمن اللازم لعمل ذبذبة

كاملة فيسمى الزمن الدوري للاهتزاز ويرمز له بالرمز τ عادةً. اما الاهتزاز الحاصل في دورة كاملة فيسمى بالتردد ويرمز له بالرمز f. ويعتبر التردد مقياس لتكرار الحدث الدوري. الشكل (19) يوضح حركات موجية بترددات مختلفة:



شكل (19) إختلاف تردد الحركة الموجية

والعلاقة بين التردد وسرعة الموجة والطول الموجي يمكن اشتقاقها من معادلة الحركة الخطية:

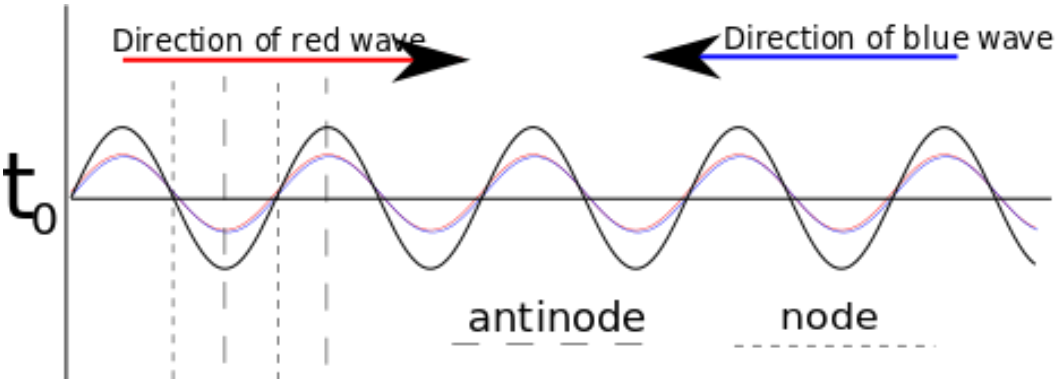
$$x = v.\ t$$

حيث x هي الازاحة والتي تتمثل بالطول الموجي بالنسبة للموجة (**لماذا؟**)، اما v فهي السرعة وt الزمن الذي يقطعه الجسم بحركته الموجية (اي زمن ذبذبة كاملة) لذلك t= τ بالنسبة للموجة. اذاً المعادلة اعلاه يمكن ان تكتب بـ $\lambda = v.\ \tau$ ومن تعريف التردد نحصل على $t = 1/f$

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

الموجات الموقوفة Standing (stationary) waves:

النوع الثالث من انواع الموجات حسب انتشارها هو الموجات الموقوفة. وهي الموجات التي تظل في مكان ثابت. ويمكن لهذه الظاهرة أن تحدث أما لأن الوسط يتحرك في الاتجاه المعاكس للموجة، أو تحدث في وسط ساكن نتيجة تداخل بين موجتين تتحركان في اتجاهين متضادين. كما في شكل (20)



شكل (20) الموجة الموقوفة

كما يمكن تصنيف الموجات حسب طبيعتها إلي:

موجات كهرومغناطيسية

عبارة عن اضطراب لمجالين متعامدين أحدهما كهربي والآخر مغناطيسي. لاتحتاج إلي وسط لانتقالها. مثل موجات الضوء وأشعة جاما والأشعة السينية. وكلها من النوع المستعرض.

2- موجات ميكانيكية

لابد من وجود وسط لانتقالها و تنقسم إلي نوعين

موجات طولية

- تتكون من تضاغط وتخلخل.
- جزيئات الوسط تهتز في نفس اتجاه انتشار الموجة.
- مثل موجات الصوت والزنبرك.

موجات مستعرضة

- تتكون من قمة وقاع.
- جزيئات الوسط تهتز عمودياً علي اتجاه انتشار الموجة.
- مثل موجات الماء والأوتار.

3- موجات مادية "موجات دي بروللي"

أي جسم مادي متحرك تصاحبه موجة طبقاً للخاصية الثنائية لدي بروللي.

(2-2) الحركة التوافقية البسيطة

الحركة التوافقية البسيطة هي حركة دورية تتحرك جيئةً وذهاباً مروراً بمستوي معين يسمي بمستوي الاتزان. ذو هي الحركة التي تكرر نفسها كل فترة زمنية, وتكون سعة اهتزاز الحركة ثابتة, تتناسب العجلة مع إزاحة الجسم من موضع الاتزان و يكون اتجاهها دائما إلى موضع الاتزان، و توصف هذه الحركة بمجموعة من المفاهيم منها:

- موضع الاتزان: هو الوضع الطبيعي للحركة وهي ساكنة.
- الإزاحة: هي بعد الجسم المهتز أثناء حركته عن موضع الاتزان.
- السعة: هو أقصي إزاحة للجسم المهتز عن موضع الاتزان.
- الذبذبة الكاملة: هي رحلة الذهاب والإياب للجسم المهتز من نقطةٍ ما ليعود لنفس النقطة في نفس اتجاه حركته الأولي.

- الزمن الدوري للحركة: هو الزمن اللازم لعمل ذبذبة كاملة.
- التردد: هو عدد الذبذبات التي يحدثها الجسم خلال ثانية واحدة.
- السرعة الزاوية: هو مقدار الإزاحة الزاوية خلال وحدة الزمن.

$$\omega = 2\pi\upsilon = \frac{2\pi}{T}$$

(2-2-1) معادلة الحركة التوافقية البسيطة

بفرض أن لدينا جسم يهتز عند عمل إزاحة بقوة F نجد أن الإزاحة تزداد بزيادة القوة ليكون

$F = -kx$ (1)

حيث أن K مقدار ثابت، ولكن من قانون نيوتن الثاني نجد أن

$F= ma$ (2)

بمساواه معادلة (1)، (2) نجد أن:

$-kx = ma$ (3)

نقسم طرفي المعادلة (3) على m ونرتبها فتصبح كالآتي

$a = -(k/m)x$ (4)

و حيث ان ابعاد k/m هو مربع مقلوب الزمن (T^{-2}) وحيث أن k/m هو مقدار ثابت ويمثل فيزيائيا مربع التردد الزاوي للمهتز (ω^2) ، وبذلك k/m = ω^2 وتصبح (4) بعد ترتيبها كالآتي

$$a = -\omega^2 x \qquad (5)$$

هذه المعادلة تصف العجلة للحراكة التوافقية البسيطة ومنها نجد أن شرط الحركة التوافقية البسيطة أن تكون الإزاحة متناسبة مع العجلة وتكون في عكس إتجاهها.

ازاحة الحركة التوافقية البسيطة

حيث أنه يمكن التعبير عن الحركة التوافقية البسيطة بدالة موجية دورية فإنه يمكن كتابتها علي الصورة

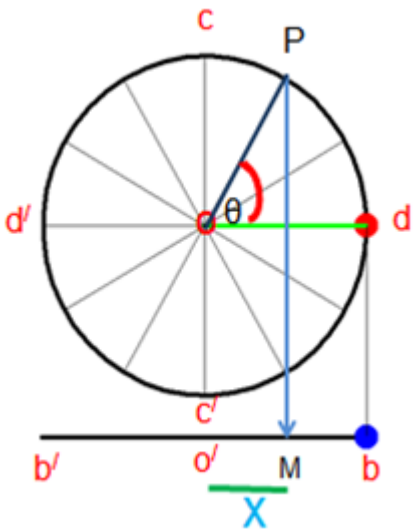
حيث أن A تمثل سعة الحركة $x = A\cos(\theta)$

لكن الإزاحة الزاويه $\omega = d\theta/dt$

$\omega t = \theta \pm \varphi$

تسمي الزاويه φ بزاوية الطور، وبذلك يمكن اكتابة الصورة العامة لمعادلة الإزاحة للحركة التواقية البسيطة علي الصورة

$x = A\cos(\omega t \pm \varphi)$



الشكل المقابل يمثل حركة النقطة P من موقع d حول محيط الدائرة فيكون مسقط النقطة P في تلك النقطة هو b، وبعد زمن t يتغيرمسقط P الي M.

في هذه الحالة يكون زاوية الطور φ تساوي صفر والازاحة x تساوي

عندما يبدأ الجسيم بالحركة من نقطة أخرى مثل P_o

$$\theta=\omega t+\varphi$$

$$x = A\cos(\omega t+\varphi)$$

وعندما يبدأ الجسيم الحركة من P_2 فان قيمة φ ستكون سالبة وبذلك تكون

$$\theta=\omega t-\varphi \quad \text{and} \quad x = A\cos(\omega t-\varphi)$$

$$\mathbf{x=A\cos(\omega t\pm\varphi)}$$

أما إذا كانت حركة مسقطه على المحور الراسي y-axis فتكون إزاحته y عن مركز الاتزان تتغير مع الزمن بالعلاقة

$$\mathbf{y = A\sin(\omega t\pm\varphi)}$$

سرعة وعجلة الجسيم المهتز توافقيا

حيث أن العجلة تعبر عن معدل تغير السرعة بالنسبة للزمن فإنه يمكن كتبتها علي الصورة

$$a= d^2x/dt^2 = dv/dt = dv/dx \times dx/dt$$

لكن السرعة = dx/dt

لذلك يمكن كتابة العجلة علي الصورة $v(dv/dx)$

بالتعويض من المعادلتين نجد أن:

$$v(dv/dx) = -\omega^2 x$$

$$\therefore vdv = -\omega^2 xdx$$

بعد إجراء التكامل ينتج ان

$$\int v dv = \int -\omega^2 x dx = -\omega^2 \int x dx$$

حيث ان C ثابت التكامل $v^2/2 = -\omega^2 x^2/2 + C$

لتحديد قيمة الثابت نستخدم الشروط الحدية

عند وضع الاتزان يكون $At\ x = \pm A,\ v = 0$

$$0 = -\omega^2 A^2/2 + C$$

$$C = \omega^2 A^2/2$$

بالتعويض عن قيمة C

$$v^2/2 = -\omega^2 x^2/2 + C$$

$$\therefore v^2/2 = -\omega^2 x^2/2 + \omega^2 A^2/2$$

$$\therefore\ v^2 = \omega^2\ (A^2 - x^2)$$

$$\mathbf{v = \pm \omega\ \sqrt{(A^2 - x^2)}}$$

المقارنة بين الازاحة والسرعة لجسم يتحرك حركة توافقية بسيطة

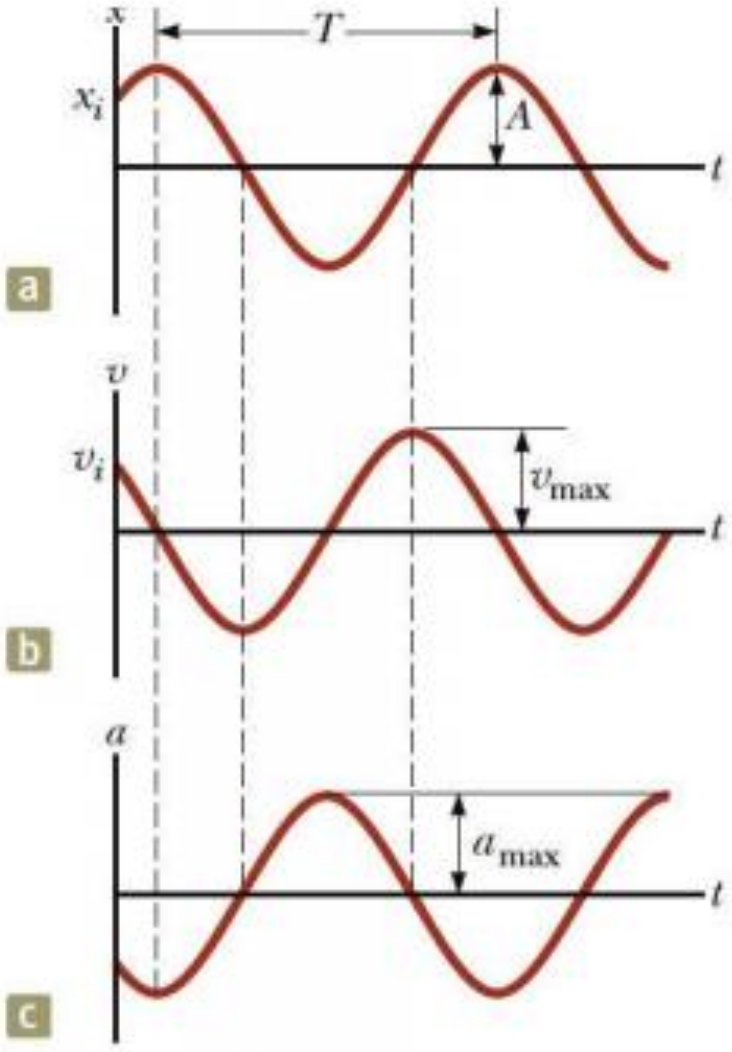
تم حساب كلاً من الإزاحة والسرعة والعجلة للحركة التوافقية البسيطة كالتالي:

$$\mathbf{x = A\cos(\omega t \pm \varphi)}$$

$$\mathbf{v = \pm \omega\ \sqrt{(A^2 - x^2)}}$$

$$\mathbf{a = \omega^2 x}$$

للمقارنة يجب ملاحظة موضعيين مميزين الأول موضع السكون والثاني موضع أقصي إزاحة كما بالشكل التالي:



عند موضع السكون نجد أن:

- الإزاحة أقل ما يمكن X= 0

- السرعة أكبر ما يمكن $V= -A\omega$
- العجلة أقل ما يمكن $a= 0$

عند موضع أقصى إزاحة نجد أن:

- الإزاحة أكبر ما يمكن $X= A$
- السرعة أكبر ما يمكن $V= 0$
- العجلة أكبر ما يمكن $a= -A\omega^2$

طاقة جسيم يتحرك حركة توافقية بسيطة

وبما أن الطاقة الكلية للجسيم المهتز تساوي مجموع الطاقتين الحركية K.E والكامنة P.E، أي أن

$E=K.E+P.E$ (1)

أولا:نبدأ بحساب الطاقة الحركية للجسيم المهتز

$$\therefore K.E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$K.E = \frac{1}{2}m\omega^2(A^2 - x^2) \quad (2)$$

ثانيا: نحسب الطاقة الكامنة (طاقة الوضع)

$P.E=W=F.dx$

F=-kx

P.E=-kxdx (3)

$$P.E = \int_0^x -kxdx = \frac{1}{2}kx^2$$

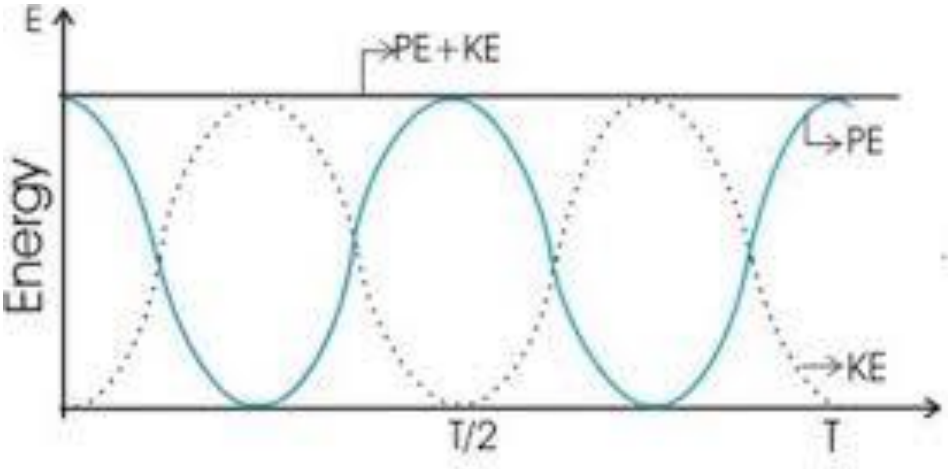
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \therefore k = m\omega^2$$

$$P.E = \frac{1}{2}m\omega^2x^2$$

إذن بالتعويض في المعادلة (1) نحصل على الطاقة الكلية للمهتز التوافقي البسيط.

$$E = \frac{1}{2}m\omega^2(A^2 - x^2) + \frac{1}{2}m\omega^2x^2 = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = \text{constant}$$

وبذلك نجد أن الطاقة الكلية تكون عند موضع الإتزان طاقة حركة كلياً. بينما عند موضع أقصي إزاحة تكون طاقة وضع كلياً. وعند اي نقطة بين الموضعين مجموع طاقتي الوضع والحركة كما بالشكل التالي.



طاقة الحركة وطاقة الوضع مع الزمن لمتذبذب توافقي بسيط

(2-3) الحركة الموجية

حيث ان الضوء ينتشر من مصدره على هيئة امواج نتيجة للتغيرات الدورية فى كل من المجال الكهربى والمجال المغنطيسى عند اى نقطة من نقط الوسط المحيط بالمصدر الضوئى لذا وجب علينا دراسة الحركة الموجية وكيفية تمثيلها بمعادلة.

فالحركة الموجية هى تلك الحركة التى تنتقل فيها الطاقة (سواء كانت ميكانيكية او مغناطيسية) دون ان يكون هناك انتقال لمادة الوسط الذى تسرى فيه. وقد تتباين أشكال الموجات تبعا لاختلاف مصادرها، والظروف التى تحيط بها. فشكل الموجه يتراوح بين ما هو بسيط، وما هو فى غاية التعقيد. وتتميز الموجات ايا كان شكلها بانها تعيد نفسها بعد فترة زمنية معينة من الزمن تعرف بالزمن الدورى والمسافة التى تقطعها اى نقطة من

الموجه خلال هذه الفترة تسمى بطول الموجه وترتبط هاتان الكميتان بسرعة الموجه بالعلاقة العامه التالية:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda v \qquad (2-5)$$

حيث υ هو تردد الموجه.

(2-3-1) معادلة الموجه

إذا تحركت موجه في اى وسط فان جميع الجسيمات الحاملة للموجه تتذبذب بنفس الحركة التوافقية البسيطة ويكون لها نفس السعة ونفس التردد ولكنها تختلف في الطور. حيث يمكن تمثيل اى موجه بسيطة بالمنحنى الموضح بالشكل (22) التالي:

و يعبر عن ذلك رياضيا كما يلي: بفرض أن Y هي الإزاحة لجسيم يقع عند نقطة الأصل

$$\therefore \quad Y = A\,sin(wt) \qquad (2-6)$$

أما الإزاحة لاى جسيم آخر على يمين أو يسار الجسيم ويبعد عنه مسافة قدرها x فهي:

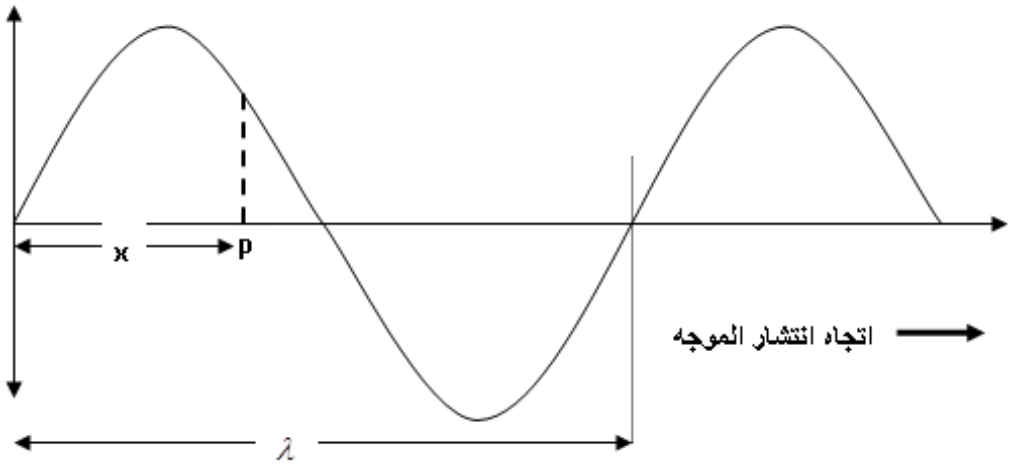
$$Y = A\,sin(wt \pm \phi) \qquad (2-7)$$

حيث φ هى فرق الطور فى ذبذبة الجسمين

$$\phi \ \alpha \ x$$

$$\therefore \quad \phi = kx \qquad (2-8)$$

حيث k ثابت.



شكل (22) الموجة كحركة توافقية بسيطة

فان اى جسيم يبعد نقطة الأصل بمسافة تساوى طول الموجه λ فانه يتبع نفس ذبذبة الجسم الموجود عند نقطة الأصل ويختلف عنه فى الطور بمقدار $\phi = 2\pi$ وبالتعويض فى المعادلة (2-8) فان:

$$\therefore \quad 2\pi = k\lambda$$

$$\therefore \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (2-9)$$

بالتعويض عن قيمة k من المعادلة (2-9) فى المعادلة (2-8) نحصل على قيمة ϕ وبالتعويض فى المعادلة (2-7) نحصل على :

$$\therefore \quad Y = A\sin\left(wt \pm \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$\therefore \quad Y = A\sin\omega\left(t \pm \frac{x}{c}\right) \qquad (2-10)$$

هذه المعادلة تصف اهتزاز جميع النقاط فى الانتشار الموجى على المحور x والمتساوية فى الازاحة Y. وهى تمثل اتجاهين لانتشار موجه سعة ذبذبتها A، على النحو التالى:

(I). فى الاتجاه الموجب للمحور x يكون:

$$Y = A\sin\omega\left(t - \frac{x}{c}\right) \qquad (2-11)$$

(II). فى الاتجاه السالب للمحور x يكون:

$$Y = A\sin\omega\left(t + \frac{x}{c}\right) \qquad (2-12)$$

(2-3-2) الطور وفرق الطور

عند انتشار موجه في وسط ما فان جسيمات ذلك الوسط تهتز بدرجات متفاوتة، وينشأ هذا التفاوت نتيجة لاختلاف الطور. ويقصد بكلمة طور كافة الكميات التى يمكن استبدالها بزاوية ما امام الدالة الجيبية فى معادلات انتشار الموجه. على سبيل المثال تمثل الكمية $(\omega t \pm kx)$ زاوية الطور فى معادلة انتشار الموجه (2-10) ويعبر عنها بالحرف θ ويمكن كتابتها على الصورة:

$$(\omega t \pm kx) = \theta$$

ويلاحظ ان θ = صفر، عندما تكون كل من x, t مساوية للصفر، وذلك عند بدء الحركة مثلا. ويفضل تمثيل معادلة انتشار الموجه فى بعد واحد على الصورة:

$$Y(x,\ t) = A\,sin(\theta + \phi)$$

حيث تمثل ϕ زاوية الطور الابتدائية، اى زاوية الطور التى تبدأ بها الموجه حركتها. والطور يتغير بتغير x بشكل مباشر، وعليه فانه يمكن التعبير عن ازاحتى نقطتين فى مسار انتشار الموجه بفرق الطور δ بين هاتين النقطتين:

$$\delta = k(x_2 - x_1)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda}\Delta \qquad (2-13)$$

حيث تمثل Δ فرق المسار الموجى بين الموضعين x_1 , x_2 .

ويتوقف فرق المسار على معامل انكسار الوسط الذى تسلكه الموجه، فاذا كان وسط الانتشار هواء فان كلا من المسار الضوئى والمسار الهندسى يتساويان، لان معامل انكسار الهواء يساوى الواحد الصحيح. اما فى غير ذلك فان: **المسار الضوئى = المسار الهندسى x معامل انكسار الوسط**

(2-4) تراكب الموجات

عندما تتقاطع مجموعتان من الموجات كل مع الأخرى، كالموجات المتكونة نتيجة لإسقاط حجربين في بركة ساكنة فى نفس اللحظة، سوف تشاهد ظواهر مثيرة ومعقدة في نفس الوقت. ففى منطقة التقاطع سوف توجد أماكن يكون فيها الاضطراب صفرا عمليا، وفى أماكن أخرى سيكون الاضطراب اكبر ما يمكن ان تسببه الموجتين وحدها. ويمكن استخدام قانون بسيط لتفسير هذه الظواهر، هذا القانون ينص على أن الإزاحة المحصلة لأيه نقطة هي مجرد مجموع الازاحات الناتجة من كل من الموجات المنفردة. هذا القانون يعرف بمبدأ التراكب. وتتضح صحة هذا المبدأ مباشرة عندما نلاحظ ان الموجات بعد عبورها لمنطقة التقاطع لا تظهر أنها قد تأثرت أطلاقا بمجموعات الموجات الأخرى. ذلك لان السعة والتردد وجميع الخصائص المميزة الأخرى تظل كما هى كما لو كانت الموجات الأخرى قد عبرت وسطا غير مضطرب. هذا لا يمكن أن يكون صحيحا إلا إذا كان مبدأ التراكب صحيحا.

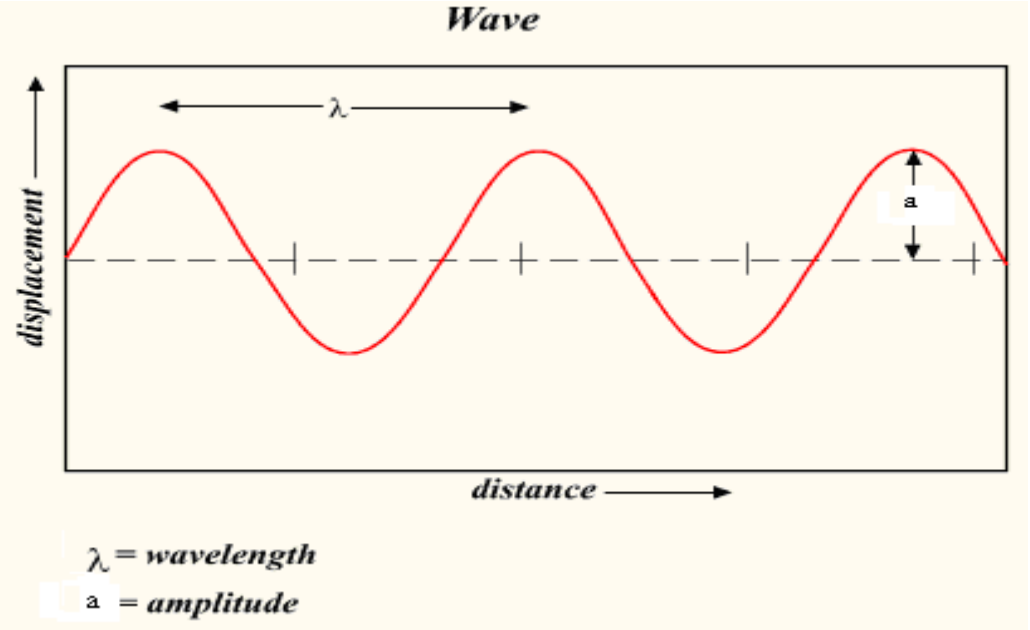
وبتعبير أخر اى أن الموجات تؤثر على الوسط بصورة مستقلة عن تأثير غيرها من الموجات الاخرى. وعليه فان محصلة إزاحة جزيئات الوسط تساوى الجمع المتجهى لازاحة كل موجه منفردة. ويصبح مبدأ الجمع المتجهى لازاحة جزيئات الوسط بفعل الموجات المختلفة هو ما يطلق عليه مبدأ التراكب. وينطبق على كافة الموجات المعروفه من موجات صوتية وموجات كهرومغناطيسية. ومعنى هذا انه عندما تصل عدة اضطرابات

(موجات) الى نقطة ما فى نفس اللحظة فى وسط ما، فان محصلة هذه الموجات هى الجمع الاتجاهى لها جميعا.

من المعروف أن الضوء ينتشر من مصدره علي هيئة أمواج نتيجة للتغيرات الدورية في كل من المجال الكهربي والمجال المغناطيسي عند اي نقطة من الوسط المحيط بالمصدر الضوئي. ويمكن تمثيل الموجة الضوئية بالمعادلة:

$$Y = a \sin \omega t$$

حيث Y هي الازاحة الحادثة للموجة، a هي سعة الموجة ، ω هي السرعة الزاوية للنقطة، t هو الزمن بالثانية من بداية الحركة.



والمعادلة السابقة يمكن اعادة صياغتها علي الشكل:

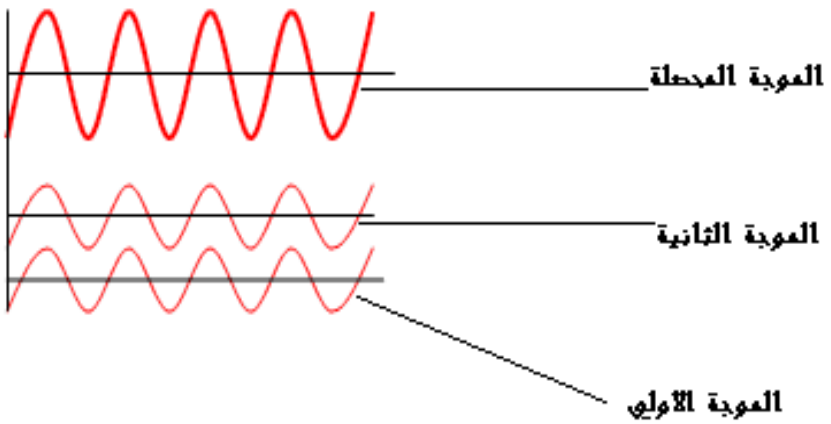
$$Y = a \sin 2\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

حيث τ هو الزمن الدوري، d هي المسافة التي تبعدها النقطة عن نقطة الاصل ، λ هو الطول الموجي. وتسمي الزاوية $2\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$ بزاوية الطور.

وعند دراسة تداخل الموجات لابد من مراعاة ان الموجات الداخلة في عملية التداخل قد تتفق او تختلف فيما بينها من حيث [التردد ، الطور ، السعة] وبناءا علي ذلك فإن الموجة الناتجة من عملية التداخل تختلف خصائصها الفيزيائية بناءا علي الاتفاق او الاختلاف - في الكميات الثلاث السابقة – بين الموجات المتداخلة كما سنري.

(2-4-1) تراكب موجتين دوريتين تتحركان على خط مسار واحد

أولا: محصلة حركتين موجيتين لهما نفس السعة والتردد والطور:-



في هذه الحالة إذا فرضنا ان الموجة الاولي يمكن تمثيلها بالمعادلة:

$$Y_1 = a_1 \sin 2\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

وان الموجة الثانية يمكن تمثيلها بالمعادلة:

$$Y_2 = a_1 \sin 2\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

فإن الموجة المحصلة يمكن الحصول عليها بجمع المعادلتين السابقتين :

$$Y = Y_1 + Y_2$$

أي أن:

$$Y = 2a_1 \sin 2\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

أي أن محصلة حركتين دوريتين لهما نفس السعة والتردد والطور هي حركة دورية لها نفس التردد والطور إلا أن سعتها تساوي المجموع الجبري للسعات المركبة.

ثانيا: محصلة حركتين موجيتين لهما نفس التردد والطور ومختلفتي السعة:-

إذا فرضنا ان الحركة الموجية للموجة الاولي هي:

$$Y_1 = a \sin 2\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

وان الحركة الموجية للموجة الثانية هي:

$$Y_2 = b\,sin\,2\,\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

وحيث ان المحصلة هي:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

فيمكننا الحصول علي:

$$Y = [a + b]\,sin\,2\,\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

اي ان المحصلة هي حركة موجية لها نفس التردد والطور، إلا أن لها سعة تساوي مجموع السعتين المركبتين.

ثالثا: محصلة حركتين موجيتين لهما نفس السعة والتردد ومختلفتي في الطور:

إذا فرضنا ان الحركة الموجية للموجة الاولي هي:

$$Y_1 = a\,sin\,2\,\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

وان الحركة الموجية للموجة الثانية هي:

$$Y_2 = a\,sin\,2\,\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d+\Delta}{\lambda})$$

حيث Δ هي فرق المسار بين الحركتين الموجيتين.

وحيث ان المحصلة هي:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

فيمكننا الحصول علي:

$$\psi = 2a\ sin\ 2\pi([\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda}] + [\frac{t}{\tau} - \frac{d+\Delta}{\lambda}])$$

وبفرض ان: $A = [\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda}]$ و ان $B = [\frac{t}{\tau} - \frac{d+\Delta}{\lambda}]$

فيمكن كتابة المعادلة السابقة علي الصورة الاتية:

$$Y = 2a\ sin\ 2\pi(A + B)$$

ومن قوانين حساب المثلثات نجد ان:

$$Y = 2a\ sin\frac{2\pi}{2}(A + B)\ cos\frac{2\pi}{2}(A - B)$$

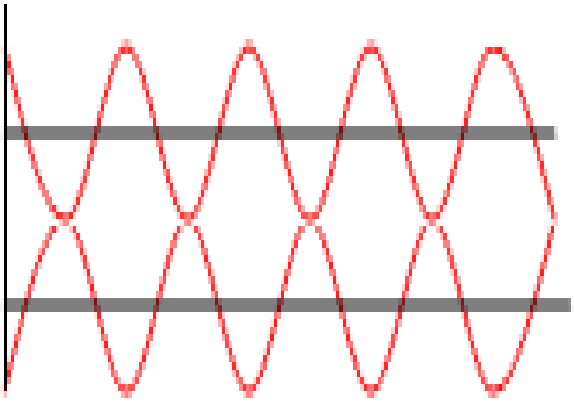
وبالتعويض عن قيمة A و B نجد ان محصلة الموجتين تأخذ الشكل الاتي:

$$Y = 2a\ cos\pi\ (\frac{\Delta}{\lambda})\ sin\ 2\pi[\frac{t}{\tau} - \frac{d - (\frac{\Delta}{2})}{\lambda}]$$

ويتضح من المعادلة الاخيرة نجد ان المحصلة هي حركة دورية لها نفس التردد ، إلا ان سعتها $2a\ cos\pi\ (\frac{\Delta}{\lambda})$ تتوقف علي فرق المسار Δ.

- فإذا كان فرق المسار Δ صغير جدا فإن السعة المحصلة تكون 2a .

- اما إذا كانت $\Delta = \lambda / 2$ فإن السعة المحصلة تؤول للصفر.



رابعا: محصلة حركتين موجيتين مختلفتي التردد ولهما نفس السعة والطور:

بفرض ان الحركة الموجية للموجة الاولي هي:

$$Y_1 = a \sin 2\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})$$

وان الحركة الموجية للموجة الثانية هي:

$$Y_2 = a \sin 2\pi(\frac{t}{\tau\backslash} - \frac{d}{\lambda\backslash})$$

وحيث ان المحصلة هي:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

إذا:

$$Y = 2a\ sin\,2\,\pi[(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda}) + (\frac{t}{\tau\backslash} - \frac{d}{\lambda\backslash})$$

وبتطبيق قوانين حساب المثلثات ، ثم الاخذ في الاعتبار انه في حالة τ و$\backslash\ \tau$ متقاربين وكذلك λ و $\backslash\lambda$ متقاربين بحيث:

- $\frac{1}{\tau} + \frac{1}{\tau\backslash} = \frac{2}{\tau}$ و $\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda\backslash} = \frac{2}{\lambda}$.
- $\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau\backslash} = \Delta(\frac{1}{\tau})$ و $\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda\backslash} = \Delta(\frac{1}{\lambda})$.

حيث Δ تعبر عن التغير وليس فرق المسار.

فإن الحركة الموجية للموجة المحصلة تكون علي الشكل:

$$Y = 2a\ sin\,2\,\pi[(\frac{t}{\tau} - \frac{d}{\lambda})\ cos\,2\,\pi(\frac{t}{2}\Delta(\frac{1}{\tau}) - \frac{d}{2}\Delta(\frac{1}{\lambda}))]$$

وحيث ان $\tau = \frac{\lambda}{v}$

فإن $\Delta\frac{1}{\tau} = \frac{v}{\lambda} - \frac{v+dv}{\lambda+d\lambda}$

وكذلك: $\Delta\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda+d\lambda}$

وبالتعويض عن ذلك في المعادلة الاخيرة نحصل علي:

$$Y = 2a\cos\frac{\pi d\lambda}{\lambda^2}[(\frac{vd\lambda - \lambda dv}{d\lambda})t - d]\sin 2\pi(\frac{vt}{\lambda} - \frac{d}{\lambda})$$

وواضح من المعادلة الاخيرة ان سعة الموجة المحصلة تتوقف علي الزمن والمسافة، ومعني هذا ان الحركة المحصلة ولو انها حركة دورية إلا انها ليست حركة دورية بسيطة ولا يمكن تمثيلها بدالة جيبية كما هو الحال في الحالات السابقة.

خامسا: محصلة حركتين موجيتين مختلفتي السعة والطور ولهما نفس التردد:

بفرض ان الحركة الموجية للموجة الاولي هي:

$$Y_1 = a\sin 2\pi(\frac{t}{\tau} - \frac{d_1}{\lambda})$$

وإذا فرضنا ان $\delta_1 = \frac{2\pi d_1}{\lambda}$ فإنه يمكن صياغة الحركة الموجية للموجة الاولي لتاخذ الشكل التالي:

$$Y_1 = a\sin(\frac{2\pi t}{\tau} - \delta_1)$$

وبالمثل فإن الحركة الموجية للموجة الثانية هي:

$$Y_2 = b\sin(\frac{2\pi t}{\tau} - \delta_2)$$

وحيث ان المحصلة هي:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

إذا:

$$Y = a[sin\frac{2\pi t}{\tau} cos\,\delta_1 - cos\frac{2\pi t}{\tau} sin\,\delta_1] + b(sin\frac{2\pi t}{\tau} cos\,\delta_2 - cos\frac{2\pi t}{\tau} sin\,\delta_2)$$

والتي منها يمكن الوصول إلي أن:

$$Y = Z\,cos\,\delta\,sin\frac{2\pi t}{\tau} - Z\,sin\,\delta\,cos\frac{2\pi t}{\tau})$$

حيث أن:

$$Z\,cos\,\delta = a\,cos\,\delta_1 + b\,cos\,\delta_2$$

و

$$Z\,sin\,\delta = a\,sin\,\delta_1 + b\,sin\,\delta_2$$

وبالتالي تكون الحركة الموجية للموجة المحصلة هي:

$$Y = Z\,sin(\frac{2\pi t}{\tau} - \delta)$$

اي ان محصلة الحركتين الموجيتين مختلفتي السعة والطور ولهما نفس التردد هي حركة موجية بسيطة لها نفس التردد إلا انها تختلف عن الموجتين المركبتين في السعة والطور.

(2-5) أسئلة وتمارين

1) في وسط مرن ناقل لحركة موجية تتحرك نقطة حسب المعادلة $Y = 8 \sin (2\pi ft)$ احسب ازاحة هذه النقطة بعد فترة زمنية تساوي 0.01 ثانية وبعد 0.07 ثانية على التوالي علما بأن الازاحة مقاسة بالسنتيمتر والتردد يساوي 20 هيرتز؟

2) موجه منتشرة تعطى بالعلاقة : $Y= 0.1 \sin 2\pi(0.01\ x - 100t)$ حيث كل من x، Y بالامتار، والزمن t بالثانية. احسب: سعة الموجه – الطول الموجى – الزمن الدوري – التردد ؟

3) ينتقل الضوء في الفراغ بسرعة قدرها 3×10^8 م/ث. أوجد الطول الموجى لضوء تردده 5×10^{14} هرتز؟

4) موجتان لهما نفس السعة والسرعة والتردد وفرق الطور بينهما $\frac{\pi}{4}$ ، تسيران فى اتجاه واحد فى وسط ما. اثبت ان المحصلة الناتجة من تراكبهما لها نفس السرعة والتردد.

5) موجتان تسيران على استقامة نفس الخط وتعطى ازاحتيهما بالمعادلتين التاليتين:

$$y_1 = 5\,sin\left(wt + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$y_2 = 7\,sin\left(wt + \frac{\pi}{3}\right)$$

اوجد: السعة المحصلة – زاوية الطور الابتدائية للمحصلة – معادلة الحركة المحصلة.

6) من المعروف أن الضوء المرئي خليط من سبعة الوان ما تردد الضوء الأصفر اذا كان طول موجته 0.6×10^{-6} مترا علما بان سرعة الضوء تساوى 3×10^{8} م/ث.

7) إذا تراكبت موجتان فهل تؤخر إحداهما انتشار الثانية؟

8) استنتج قيمة كلا من السعة وزاوية الطور لمحصلة تراكب موجتين لهما نفس الطور وغير متعاكستين موضح اجابتك بالرسم؟

نماذج التقييم

نموذج (2)

االكلية:

القسم:	
الشعبة:	
الإسم :	
التاريخ:	

التقييم عن الفصل الثاني

1- فرق بين أنواع الموجات المختلفة ؟

2- إستنتج معادلة الحركة التوافقية البسيطة ؟

3- أوجد محصلة حركتين موجيتين لهما نفس السعة والتردد ومختلفتي في الطور:؟

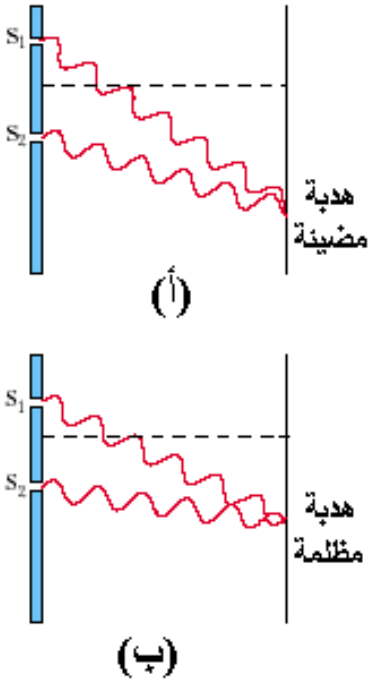
يرجي إرفاق النموذج مع الإجابات

Alaa Hassan

الفصل الثالث (ظاهرة التداخل في الضوء)

(3-1) تداخل موجات الضوء

تعد ظاهرة التداخل ظاهرة عامة، وليست قاصرة على الضوء وحده، بل هي مشتركة لجميع الحركات التذبذبية والموجيه. إلا أن هناك صعوبة في مشاهدة هذه الظاهرة في الضوء نظرا لصغر موجات الضوء، واستحالة إيجاد مصدرين ضوئيين بنفس التردد والطور، ومع ذلك فان الصعوبة الأولى أمكن التغلب عليها بعد استخدام الميكروسكوب لتكبير مقياس الظاهرة حتى يتسنى مشاهدتها. وأيضا أمكن التغلب على صعوبة إيجاد مصدرين لهما نفس الطور باستخدام مصدر واحد وصورته، أو صورتين لمصدر واحد وبهذا نضمن اتفاق التردد والطور.



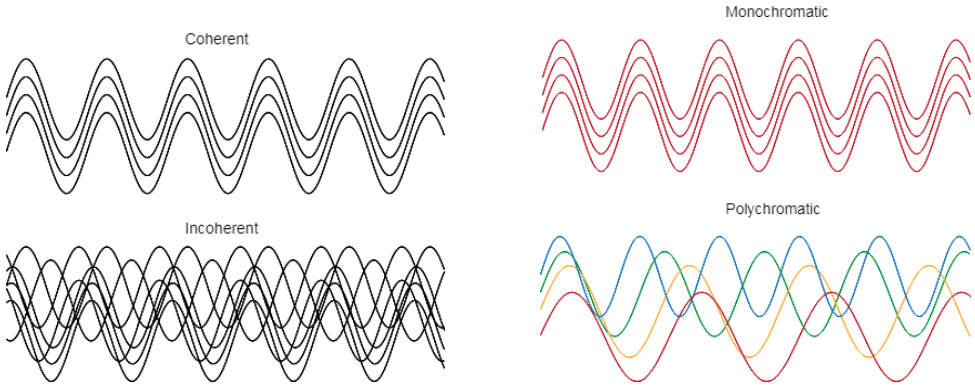
شكل (26) تكون الهدب المضيئة والمظلمة نتيجة لتداخل أشعة الضوء

ومن المعروف أن الضوء عبارة عن موجات لكل منها قمة وقاع. فعندما تمر موجتان ضوئيتان خلال نفس النقطة فإنهما تتداخلان في بعضهما لذلك فإنهما تجمعان أو تطرحان بعضهما من بعض. افترض أنه متى ما مرت قمة لموجة خلال النقطة فإنه تمر في الوقت نفسه قمة لموجة أخرى. وتجتمع القمتان مع بعضهما لتعطيا قمة كبرى. وتسمى هذه العملية التداخل البَنَّاء، وتعطي ضوءًا ساطعًا أكثر مما تعطيه أي موجة منفردة. وإذا افتراضنا بدلاً من ذلك أنه متى ما وجدت قمة لموجة تمر خلال النقطة كان هناك قاع لموجة أخرى تمر خلاله، فإن القاع سوف يقلل من ارتفاع القمة ويترك النقطة معتمة أو مظلمة. وتسمى هذه العملية بالتداخل الهدام.

(3-1-1) شروط حدوث التداخل

تحدث ظاهرة التداخل في الضوء نتيجة للتراكب بين شعاعين ضوئيين لهما

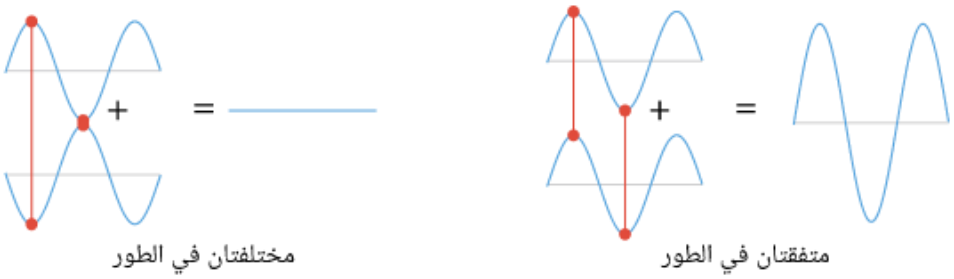
- ✓ **نفس الطول الموجي نفس التردد (ضوء أحادي اللون (monochromatic**
- ✓ متساويين في الشدة **ومتوافقين** "coherent" أي فرق الطور بينهما ثابت لا يتغير مع الزمن.



و تحدث ظاهرة التداخل في الضوء نتيجة للتراكب بين شعاعين ضوئيين لهما نفس الطول الموجي (وبالتالي نفس التردد) ومتساويين في الشدة ومتوافقين "coherent" (ومعني التوافق أن فرق الطور بينهما ثابت لا يتغير مع الزمن).

فإذا سقط هذان الشعاعان على نقطة واحدة وكان فرق الطور بينهما $2n\pi$ أي أن فرق المسير بينهما عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية $n\lambda$، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قمة، وقاع مع قاع فيقوي كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبه مضيئة كما بالشكل (26-أ).

أما إذا كان فرق الطور بينهما $(2n+1)\pi$ أي أن فرق المسير بينهما عدداً فردياً من أنصاف الأطوال الموجية $(2n+1)\lambda/2$، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قاع، وقاع مع قمة فيضعف كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبه مظلمة كما بالشكل (26-ب).



وهناك طرق عديدة للحصول على ظاهرة التداخل منها على سبيل المثال لا الحصر:

1- تقسيم صدر الموجة: مثل التداخل من فتحتين مستطيلتين ضيقتين "تجربة ينج".

2- تقسيم سعة الموجة: مثل التداخل بالانعكاس المتكرر كمقياس التداخل لفابري بيرو، والتداخل في الأغشية الرقيقة كمقياس التداخل لميكلسون وحلقات نيوتن.

(3-2) تجربة الشق المزدوج لينج

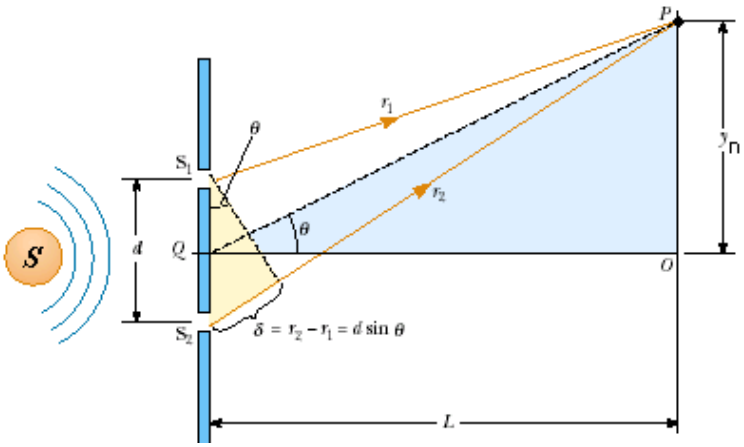
يوضح الشكل (27) رسماً تخطيطياً لتجربة الشق المزدوج لينج حيث S مصدر ضوئي أحادى اللون (وحيد الطول الموجي)، P نقطة على الحائل الذي يظهر عليه نمط التداخل للموجتين الصادرتين من الفتحتين S_1, S_2 وهما بمثابة مصدرين ضوئيين متوافقين المسافة بينهما d. واضح من هندسة الشكل أن فرق المسير بين الشعاعين δ يعطى من العلاقة:

$$\delta = d\sin\theta = d\frac{y_n}{L}$$

حيث L المسافة بين الحائل والفتحتين، y_n البعد بين النقطة P ومركز الهدبة المركزية O.

فإذا كان فرق المسير δ بينهما عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية $n\lambda$، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تكون النقطة P هدبه مضيئة. أي أن شرط تكون الهدب المضيئة في تجربة الشق المزدوج لينج هو:

$$d\sin\theta_{\text{bright}} = m\lambda \qquad m = 0, \pm1, \pm2, \ldots$$



شكل (27) تجربة الشق المزدوج لينج

أما إذا كان فرق المسير بينهما عدداً فردياً من أنصاف الأطوال الموجية $(2n+1)\lambda/2$، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تكون النقطة P هدبه مظلمة. ويكون شرط التداخل الهدام:

$$d\sin\theta_{\text{dark}} = \left(m + \tfrac{1}{2}\right)\lambda \qquad m = 0, \pm1, \pm2, \ldots$$

للحصول علي موضع الصورة الخطي نستخدم هندسة الشكل:

$$\tan\theta = \frac{y}{L}$$

وبذلك يكون الموضع الخطي للهدب المضيئة والمظلمة:

$$y_{\text{dark}} = L\tan\theta_{\text{dark}}$$

$$y_{\text{bright}} = L\tan\theta_{\text{bright}}$$

في حالة الزوايا الصغيرة يكون $\tan\theta \approx \sin\theta$

أي أن

$$y_{\text{bright}} = L\frac{m\lambda}{d} \quad (\text{small angles})$$

$$y_{\text{dark}} = L\frac{(m+\frac{1}{2})\lambda}{d} \quad (\text{small angles})$$

أمثله

أي مما يلي يتسبب في تحريك الهدب في نمط التداخل ذي الشقين بعيدًا عن بعضهما البعض؟

(أ) تقليل الطول الموجي للضوء λ

(ب) تقليل مسافة الشاشة L

(ج) تقليل تباعد الشقوق d

(د) غمر الجهاز بأكمله في الماء

2- في نمط التداخل ذي الشقين المعروض على الشاشة ، تكون الهدب متباعدة بشكل متساوٍ على الشاشة في

(أ) كل مكان

(ب) فقط للزوايا الكبيرة

(ج) فقط للزوايا الصغيرة؟

3- إذا ضاعفت المسافة بين الشقين في تجربة ينج ، فماذا يحدث لعرض الهدبة المركزية؟

(أ) العرض يتضاعف.

(ب) العرض لم يتغير.

(ج) العرض نصف.

4- يتم إجراء تجربة الشق المزدوج لينج بثلاثة ألوان مختلفة من الضوء: الأحمر والأخضر والأزرق. رتب الألوان بالمسافة بين الهدب المضيئة المتجاورة ، من الأصغر إلى الأكبر.

(أ) احمر اخضر ازرق

(ب) أخضر ، أزرق ، أحمر

(ج) الأزرق والأخضر والأحمر

مثال:

شاشة عرض مفصولة عن الشق المزدوج بمقدار 4.80 م. إذا كانت المسافة بين الشقين 0.030 0 مم وتم توجيه ضوء أحادي اللون نحو الشق المزدوج ليتشكل نمط تداخل على الشاشة. إذا كانت الهدبة المظلمة الأولى تبعد مسافة 4.50 سم من الهدبة المركزيه على الشاشة.

1- حدد الطول الموجي للضوء.

2- احسب المسافة بين هدبتين مضيئتين متتاليتين.

الحل:

$$\lambda = \frac{y_{\text{dark}}\, d}{(m + \frac{1}{2})L} = \frac{(4.50 \times 10^{-2}\ \text{m})(3.00 \times 10^{-5}\ \text{m})}{(0 + \frac{1}{2})(4.80\ \text{m})}$$

$$= 5.62 \times 10^{-7}\ \text{m} = 562\ \text{nm}$$

مثال:

إذا كانت المسافة بين الشقين 0.030 مم في تجربة الشق المزدوج . تم قياس الهدبة المضيئة من الرتبة الثانية (m = 2) على شاشة عرض بزاوية 2.15 درجة من الهدبة المركزية. حدد الطول الموجي للضوء.

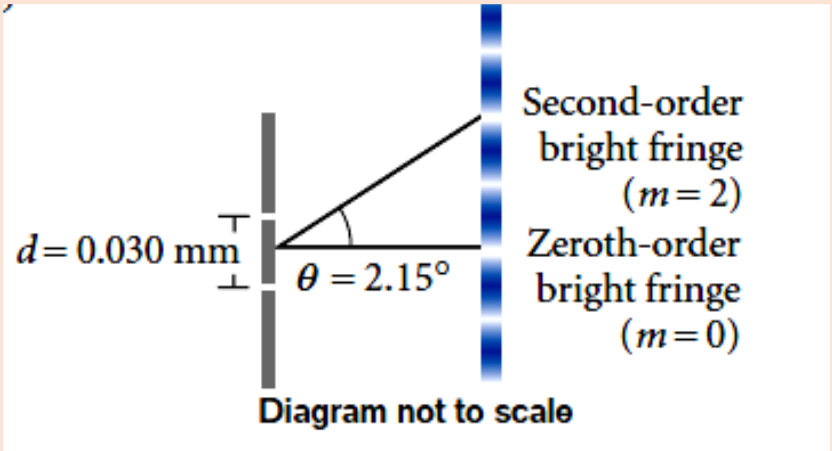
الحل:

$$\lambda = \frac{d \sin \theta}{m}$$

$$\lambda = \frac{(3.0 \times 10^{-5}\ \text{m})(\sin 2.15°)}{2}$$

$$\lambda = 5.6 \times 10^{-7}\ \text{m} = 5.6 \times 10^{2}\ \text{nm}$$

$$\boxed{\lambda = 5.6 \times 10^{2}\ \text{nm}}$$



مثال:

شاشة عرض مفصولة عن الشق المزدوج بمقدار 4.80 م. إذا كانت المسافة بين الشقين 0.030 0 مم وتم توجيه ضوء أحادي اللون نحو الشق المزدوج ليتشكل نمط تداخل على الشاشة. إذا كانت الهدبة المظلمة الأولى تبعد مسافة 4.50 سم من الهدبة المركزيه على الشاشة.

1- حدد الطول الموجي للضوء.

2- احسب المسافة بين هدبتين مضيئتين متتاليتين.

الحل:

$$y_{m+1} - y_m = L\frac{(m+1)\lambda}{d} - L\frac{m\lambda}{d}$$

$$= L\frac{\lambda}{d} = 4.80\ \text{m}\left(\frac{5.62 \times 10^{-7}\ \text{m}}{3.00 \times 10^{-5}\ \text{m}}\right)$$

$$= 9.00 \times 10^{-2}\ \text{m} = 9.00\ \text{cm}$$

مثال:

إذا كانت المسافة بين الشقين 0.0550 مم ، فأوجد الزاوية بين الهدبتين المضيئتين الأولي للضوء الأصفر ذو الطول موجي 605 نانومتر.

الحل:

$\lambda=605\ nm=6.05\times10^{-7}\ m$

$d=0.055\ mm=5.5\times10^{-5}\ m$

$\theta=\sin^{-1}(n\lambda/d)$ $\sin\theta=n\lambda/d$

$\theta_1=\sin^{-1}[(1)(6.05\times10^{-7}\ m/(5.5\times10^{-5}\ m)]$

$\theta_1=\sin^{-1}(0.011)$ $\boldsymbol{\theta_1=0.6303^\circ}$

$\theta_2=\sin^{-1}[(2)(6.05\times10^{-7}\ m)/(5.5\times10^{-5}\ m)]$

$\theta_2=\sin^{-1}(0.022)$ $\boldsymbol{\theta_2=1.2606^\circ}$

$\Delta\theta=\theta_2-\theta_1$ $\Delta\theta=1.2606^\circ-0.6303^\circ$

$\boldsymbol{\Delta\theta=0.63^\circ}$

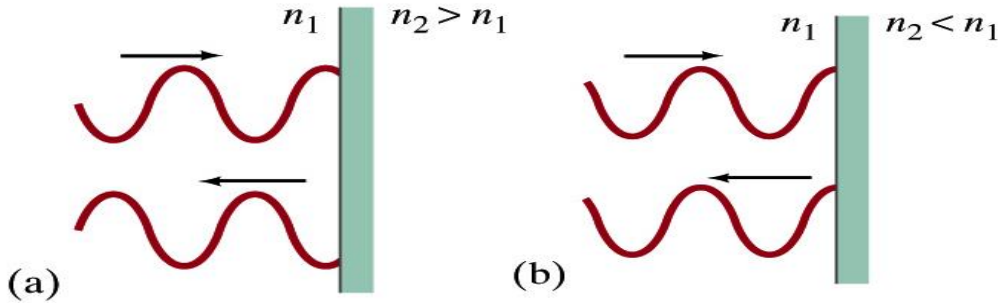
تغير الطور نتيجة للإنعكاس

1. الموجة الكهرومغناطيسية التي تنتقل من وسط معامل إنكساره n_1 باتجاه وسط معامل إنكساره n_2 تخضع لتغيير طور 180 درجة عند الانعكاس عندما $n_2 > n_1$
2. لا يوجد تغيير طور في الموجة المنعكسة إذا كانت $n_2 < n_1$

3. الطول الموجي للضوء λ_n في وسط مع مؤشر الانكسار n هو

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

حيث أن λ هو الطول الموجي للضوء في الفراغ.



تداخل الضوء في الأغشية الرقيقة

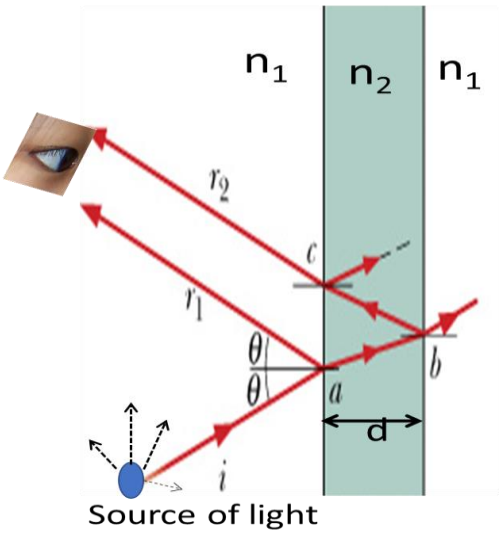
✓ بفرض أن لدينا غشاء رقيق كما هو موضح بالشكل (غشاء صابون أو غشاء رقيق من الهواء بين لوحين زجاجيين).

✓ تخرج الأشعة الضوئية من المصدر خلال الوسط n_1 جزء منها ينعكس عند النقطة a إلي نفس الوسط ليكن الشعاع r_1

✓ جزء من الأشعة ينكسر ليدخل خلال الغشاء الرقيق ليعبر المسافة ab خلال الوسط الثاني ذو معامل الإنكسار n_2 .

✓ عند النقطة b تحدث نفس الظاهرة جزء من الضوء ينعكس إل نفس الوسط متجها إلي النقطة c وجزء آخر ينكسر خارجاً عن الغشاء الرقيق.

✓عند النقطة c تتوالي نفس الظاهرة من الإنعكاس والإنكسار ليخرج الشعاع r_2 ويتداخل مع الشعاع r_1 عند عين الراصد.



يمكن يكون فرق المسار في الأغشية الرقيقة إعتماداً علي معاملات إنكسار الوسطين:

$$= 2d \overset{?}{+} \lambda_n/2 \overset{?}{+} \lambda_n/_2$$

ولكن من المعلومات السابقة نعلم أن :

- شرط التداخل البناء أن فرق المسار $=m\lambda$ ، حيث أن m تمثل عدد الرتب $m= 1,2,3,\ldots$

$$=2d+\lambda_n/2=m\lambda_n \ldots(maxima)$$

- وشرط التداخل الهدام أن فرق المسار = $(m+1/2)\lambda$ ، حيث أن m تمثل عدد الرتب m= 0,1,2,3,…

$$= 2d + \lambda_n/2 = (m+1/2)\,\lambda_n \ \ldots\ldots\ldots \text{(minima)}$$

✓لدراسة التداخل خلال الغشاء الرقيق نقوم بدراسة فرق المسار بين الشعاعين r_1, r_2 **<u>يجب ملاحظة التالي</u>**:

✓الشعاع r_1 عند إنعكاسة عند النقطة a يمكن أن يعاني تغير في الطور قدره π إذا كان $n_2 > n_1$.

✓الشعاع r_2 عند إنعكاسة عند النقطة b يمكن أن يعاني تغير في الطور قدره π إذا كان $n_2 > n_3$.

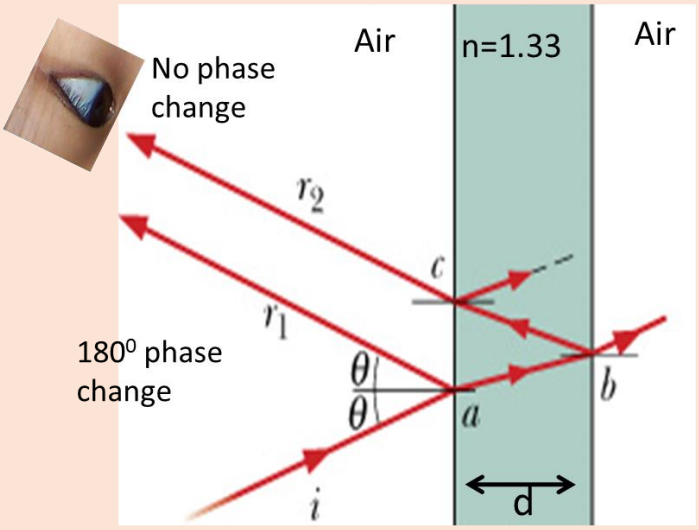
✓فرق المسار بين الشعاعين r_1, r_2 هو ضعف سمك الغشاء الرقيق 2d

✓بذلك يمكن أن يحدث تداخل هدام أو بناء إعتماداً علي قيمة فرق المسار هل هي عدد صحيح من الأطوال الموجية أم عدد غير صحيح من الأطوال الموجية.

<u>مثال:</u>

فيلم صابون (n= 1.33) في الهواء يبلغ سمكه 320 نانومتر. إذا كان مضاءً بضوء أبيض، فما اللون الذي سيظهر في الضوء المنعكس؟

<u>الحل:</u>



معني أن الضوء إنعكس أنه تم تداخل بناء لذلك نستخدم معادلة التداخل البناء

$$2d + \frac{\lambda_n}{2} = m\lambda_n (maxima)$$

$$\lambda = \frac{2nd}{(m - \frac{1}{2})} = \frac{851nm}{(m - \frac{1}{2})}$$

ولكن حيث أن m غير معلومة نقوم بالتعويض عنها بعدة قيم لكي نحدد الطول الموجي ثم نختار الضوء ذو طول موجي يقع في منطقة الضوء المرئي.

1702 nm (m=1),

567 nm(m=2),

340 nm (m=3)

أي أن الطول الموجي المقابل للرتبة الثانية m = 2 يقع في المنطقة المرئية (بين حوالي 400 نانومتر و 700 نانومتر) ؛ يظهر الضوء ذو الطول الموجي 567 نانومتر باللون الأصفر والأخضر.

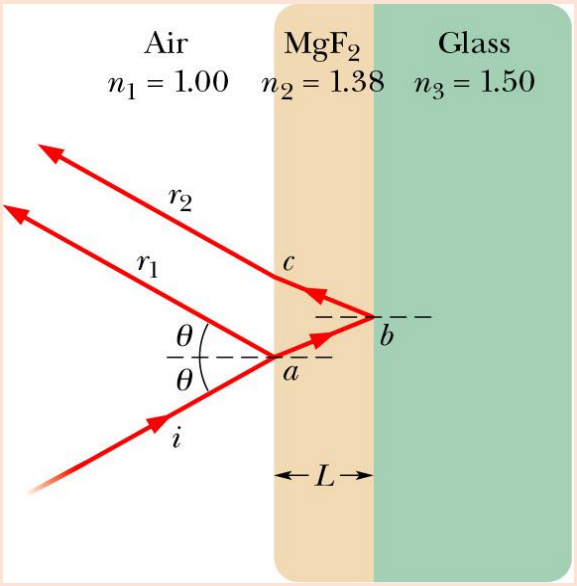
مثال:

غالبًا ما يتم طلاء العدسات بأغشية رقيقة من مواد شفافة مثل MgF_2 (n= 1.38) لتقليل الانعكاس من سطح الزجاج. ما هي سماكة الطلاء اللازمة لإنتاج حد أدنى من الانعكاس في مركز الطيف المرئي (λ = 550 نانومتر)؟

الحل:

الحد الأدني من **الإنعكاس تعني تداخل هدام،** لذلك نقوم بإستخدام معادلات التداخل الهدام مع مراعاة تغير الطور الناتج عن الإنعكاس في السطح الأمامي والخلفي كذلك يتم التعويض عن **m=1** حيث المطلوب الحد الأدني من الإنعكاس

$$2d+\lambda_n/2+\lambda_n/2=(m+1/2)\lambda_n\ldots(minima)$$

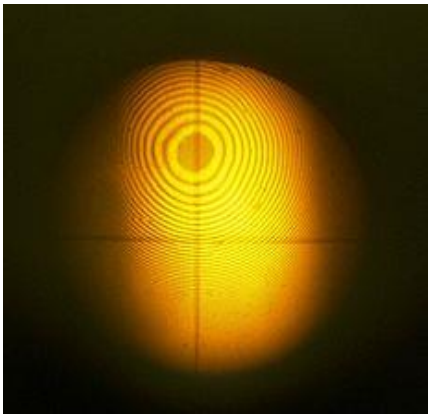


$$d = \frac{(m - \frac{1}{2})\lambda}{2n} = \frac{\lambda}{4n} = \frac{550nm}{4x1.38} = 100\ nm$$

(3-3) حلقات نيوتن

ظاهرة حلقات نيوتن، التي تحمل اسم اسحق نيوتن، هو شكل من اشكال **تداخل الضوء** يحدث بسبب ظاهرة **انعكاس الضوء بين سطحين—بين سطح مستوى وسطح كروي متجاوران**. عندما يُنظر إليها مع ضوء أحادي اللون تبدو كسلسلة من الحلقات أو الدوائر متحدة المركز، مضيئة ومظلمة بالتناوب بحيث يكون مركز الحلقات عند نقطة الاتصال بين السطحين. وعندما ينظر إليها مع الضوء الأبيض، فإنها تشكل حلقة مركزية من ألوان

قوس قزح بسبب اختلاف الأطوال الموجية للضوء الاتى تتداخل عند ابعاد مختلفة من سمك طبقة الهواء بين السطحين.



الحلقات المضيئة سببها التدخل البناء بين أشعة الضوء المنعكس من كل من السطحين، في حين أن الحلقات المظلمة سببها التدخل الهدام. يلاحظ ،ان الحلقات الخارجية متقاربة على نحو أوثق من تلك الداخلية وبالانتقال إلى الخارج من حلقة مظلمة إلى أخرى مضيئة.

على سبيل المثال، يزيد فرق المسار بطول موجي واحد λ في حين ان الزيادة في سمك طبقة الهواء $\lambda / 2$ وبذيادة ميل سطح العدسة بالاتجاه إلى الخارج، يصعب الفصل أو التمييز بين الحلقات حيث يصغر سمك الحلقات كالحلقات الخارجية.

عندما يسقط الشعاع (A) على السطح العلوي للعدسة فان جزءا من الشعاع ينعكس (شعاع 2) وجزءا منه ينكسر وينفذ للغشاء الهوائى ثم ينعكس على

السطح العاكس عند النقطة P ليخرج من العدسة (شعاع 1) ويحدث بين الشعاعين (2, 1) تداخل.

يكون فرق المسار بين الشعاعين يساوى d+ ½λ ويكون شرط التداخل كالتى:

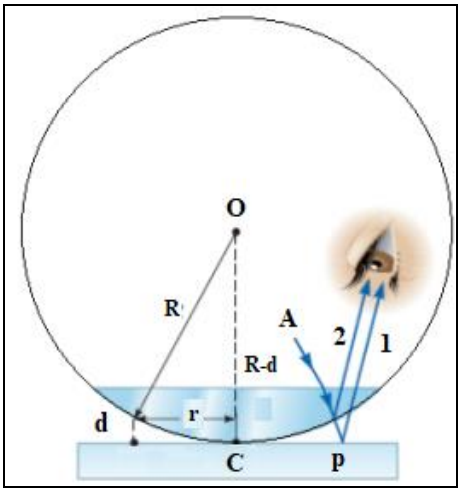
- فى حالة التداخل البناء (هدب مضيئة)

$$2d+½\ \lambda = n\lambda$$

- فى حالة التداخل الهدمى(هدب مظلمة)

$$2d + \frac{\lambda}{2} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \Rightarrow \quad 2d = n\lambda \qquad (1)$$

حيث n رتبة التداخل (.. ... ... n =1, 2, 3) , λ الطول الموجى للشعاع الساقط.



إذا كانت r نصف قطر الحلقة المتكونة فإن

$$r^2 = R^2 - (R-d)^2 = 2dR - d^2 \qquad (2)$$

حيث R نصف قطر تكور العدسة.

وبما ان سمك الغشاء d صغير جدا بالمقارنة بنصف قطر تكور العدسة اذن يمكن اهماله.

$$\therefore r^2 = 2dR \qquad (3)$$

وإذا كانت r نصف قطر حلقة مظلمة اى حدوث تداخل هدمى وبالتعويض بشرط التداخل الهدمى من المعادلة (1) فى المعادلة (3) ينتج ان:

$$r^2 = n\lambda R \qquad (4)$$

وبالتعويض عن قطر الحلقة (D) بدلا من نصف القطر ينتج ان:

$$D^2 = 4n\lambda R \qquad (5)$$

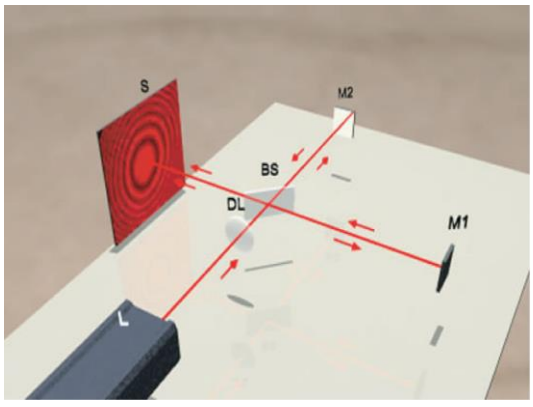
(3-5) مقاييس التداخل

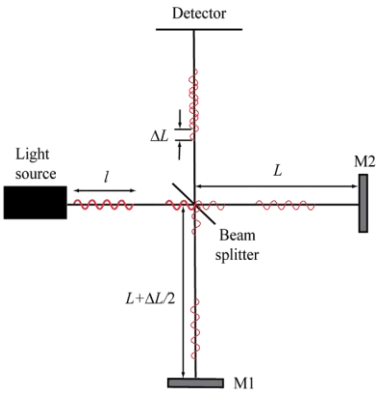
يقصد بمقاييس التداخل:هي تلك التقنيات التي تستخدم التداخل الحادث بين موجتين أو أكثر من موجات الضوء لتحديد خواص هذه الموجات (طولها الموجي ، معامل الانكسار،.....).

وهناك العديد من مقاييس التداخل مثل (مقياس تويمان - جرين ، مقياس ماخ – زيندر ، مقياس فابري – بيروت ، مقياس جامين ، مقياس ميكلسون، مرآة لويد ، مرآة فرنل المزدوجة ، منشور فرنل ، حلقات نيوتن). والتي سنتعرض في هذا المقرر لبعض منها بشيء من التفصيل.

(3-5-1) مقياس ميكلسون Michelson interferometer

يتكون مقياس ميكلسون من لوحين من الزجاج مثبتين راسيا بحيث يميل كل منهما بزاوية 45^{o} علي الذراعيين المتعامدين للجهاز، شكل (32). فإذا سقط ضوء من مصدر احادي اللون علي اللوح الاول فإنه ينفذ منكسرا إلي نقطة علي السطح الخلفي النصف مفضض لهذا اللوح بحيث ينقسم صدر الموجة الواحدة إلي قسمين ، أحدهما ينعكس ويخرج من اللوح ليسقط عموديا علي السطح العاكس M1 بحيث يرتد في نفس مساره إلي نفس النقطة نافذا من اللوح الاول في اتجاه الكاشف (التلسكوب) ، بينما الاخر ينفذ من اللوح الاول ليسقط علي اللوح M2 حيث ينعكس مرتدا في نفس مساره إلي نفس النقطة وينعكس في اتجاه الكاشف Detector.





شكل (32) مقياس ميكلسون

من هذا نري أن الضوء المنبعث من المصدر ينقسم إلي قسمين يخترق كل منهما سمكين متساويين من الزجاج، ويتوقف فرق المسار بينهما علي المسافة التي يقطعها كل منهما في الهواء. فإذا كان فرق المسار بين الموجتين المتداخلتين مساويا nλ (حيث n عدد صحيح موجب) حدث من تداخلهما إضاءة في مجال رؤية التلسكوب، بينما إذا كان فرق المسار مساويا $(n + \frac{1}{2})\lambda$ حدث من تداخلهما ظلمة.

فإذا ازيحت المرآة A في الاتجاه العمودي علي سطحها مسافة $\frac{1}{4}\lambda$ حدث تغير في مسار إحدي الموجتين المتداخلتين بمقدار $\frac{1}{2}\lambda$ ويعني هذا أن يحدث فرق إضافي في المسار مقداره $\frac{1}{2}\lambda$ نتيجة لهذه الإزاحة فتحل الهدبة المظلمة محل الهدبة المضيئة التي تليها.

اما إذا ازيحت المرآة A مسافة $\frac{1}{2}\lambda$ فإن التغير الكلي في مسار احد الموجتين يكون مساويا λ وتكون النتيجة ان يصبح فرق المسار الإضافي مساويا λ ، ومعني هذا ان تحل الهدبة المضيئة محل الهدبة المضيئة التي تليها ، اي تظهر الهدبة وكانها ازيحت بمقدار x حيث x هي المسافة بين هدبتين مظلمتين متتاليتين او هدبتين مضيئتين متتاليتين.

وعلي وجه العموم إذا ازيحت المرآة A بالتدريج فإنه يمكن إيجاد عدد الهدب التي تمر بنقطة التقاطع في عينية التلسكوب. فإذا فرضنا ان N هدبة مرت بنقطة ما في مجال رؤية التلسكوب نتيجة لإزاحة المرآة A مسافة d فإن:

$$N = \frac{2d}{\lambda}$$

حيث λ هي الطول الموجي للضوء المستخدم. وهكذا عن طريق مقياس ميكلسون يمكن إيجاد الطول الموجي للضوء المستخدم.

مثال:

ضوء اصفر (الطول الموجي = 589 نانومتر) سقط علي مقياس تداخل ميكلسون. كم عدد الأهداب الساطعة التي سيتم احتسابها عند تحريك المرآة لمسافة 1.0 سم؟

الحل:

$N\lambda = 2d$

$N = 2\ d/\lambda = 2(1.0000 \times 10^{-2}\ m)/(589 \times 10^{-9} m)$

= 33,956 هدبة

مثال:

إذا تم تحريك المرآة M2 في مقياس التداخل الخاص بـ Michelson عبر 0.233 مم ، فسيتم حساب 792 هدبة بمقياس ضوئي. ما هو الطول الموجي للضوء المستخدم؟

الحل:

$N\lambda = 2d$

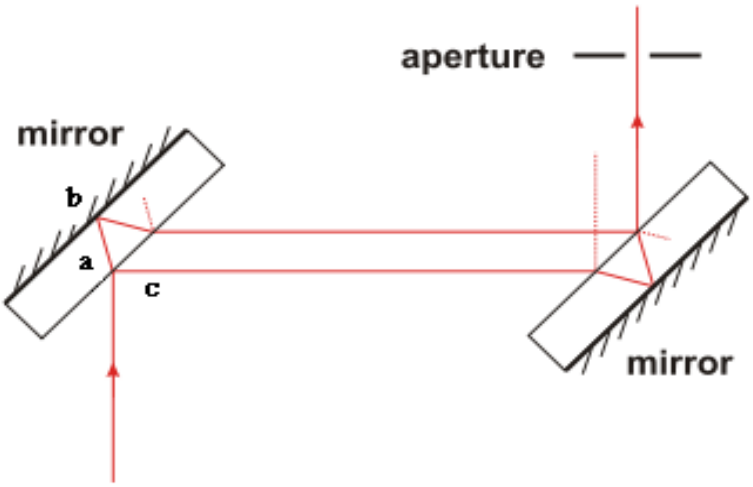
$\lambda = 2\ d/N = 2(0.233\ mm)/792 = 588\ nm$

$= 588\ nm$

(3-5-2) مقياس جامين Jamin interferometer

يستخدم مقياس جامين في إيجاد معامل انكسار الضوء في الغازات تحت ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة والرطوبة.

ويتكون مقياس جامين من لوحين متوازيين من الزجاج متساويي السمك ويحد كل منهما سطحان مستويان متوازيان. ويتصل بأحد اللوحان مسماران محويان يمكن بواسطتهما إدارته بالنسبة للوح الاخر، شكل (33).



شكل (33) مقياس جامين

فإذا سقط شعاع من مصدر ضوء احادي اللون علي اللوح الاول انقسم إلي قسمين ، احدهما ينعكس عند السطح الامامي للوح الاول ليسقط علي اللوح الثاني حيث ينكسر داخله لينعكس عند سطحه المفضض في اتجاه التلسكوب، بينما الاخر ينكسر داخل اللوح الاول لينعكس عند سطحه الخلفي نصف المفضض ليسقط علي السطح الامامي للوح الثاني فينعكس عند سطحه في اتجاه التلسكوب.

ومعني هذا ان الشعاع الساقط انقسم إلي شعاعين يتوقف فرق المسار بينهما علي المسافة التي يقطعها كل منهما.

فإذا كان اللوحان متوازيين تماما كان المسار واحد بالنسبة للشعاعين ، وفي هذه الحالة ينتج من تداخلهما إضاءة في مجال رؤية التلسكوب. وإذا ادير أحد اللوحين بالنسبة للآخر حدث فرق مسار بين الشعاعين تتوقف قيمته علي زاوية الدوران ويكون نتيجته ان تظهر هدب تداخل الشعاعين في مجال رؤية التلسكوب.

وإذا وضع في مسار كل من الشعاعين لوح سمكه X ومعامل انكسار مادته μ فإنه لا يحدث فرق بين مسارهما ، ويعني هذا انه لا تحدث إزاحة في هدب تداخلهما.

كذلك إذا وضع في مسار الشعاعين انبوبتان مسدود نهايتي كل منهما بلوح من الزجاج المستوي وفرغت الانبوبتان من الهواء فإن هدب التداخل تظهر ثابتة في مكانها من المجال ، اما إذا ملئت إحدي الانبوبتين بالهواء تدريجيا

وببطيء فإن هدب التداخل تبدو كانها تزاح عن مواضعها من المجال في اتجاه واحد يمكن معه ايجاد عدد الهدب المارة بنقطة التقاطع في عينية التلسكوب حتي يصبح الضغط في الانبوبة ضغطا جويا. فإذا كان طول الانبوبة L وكان عدد الهدب التي مرت بنقطة ثابتة من مجال الرؤية هو N فإن:

$$N\lambda = (\mu_0 - \mu)L$$

حيث μ ، μ_0 هما معاملا انكسار الهواء في الانبوبة قبل التفريغ وبعده. ولما كانت $\mu_0 = 1$ فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$N\lambda = (1 - \mu)L$$

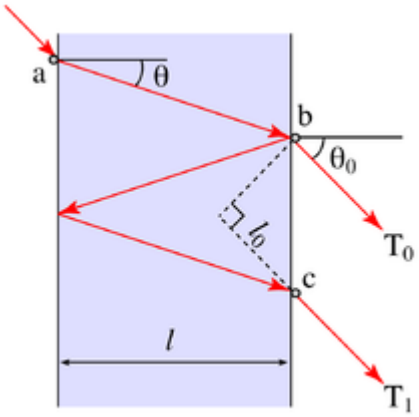
اي ان

$$\mu = 1 + \frac{N\lambda}{L}$$

ومنها يمكن تعيين الطول الموجي او معامل الانكسار وذلك بمعلومية احدهما.

(3-5-3) مقياس فابري - بيرو Fabry–Pérot interferometer

صمم هذا الجهاز العالمان فابري وبيرو سنة 1899 لدراسة مبدأ التداخل بين الحزم المتعددة. يتكون الجهاز من لوحتين سميكين من الزجاج كما هو مبين في الشكل التالى، الوجهان المهمان فـي المقياس هما الوجهان الداخليان العاكسان بنسبة (95%) ،واللذان تنعكس عنهما الموجات الساقطة انعكاسات متعددة. وتكون المرآتان متوازيتين بحيث يمكن التحكم في تغيير المسافة بينهما، 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.



شكل (34) مقياس فابري- بيرو

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 أنجستروم إذ يظهر طيفاهما منفصلين انفصالاً واضحاً، ويشبه مقياس فابري-بيرو المرنان الليزري من حيث التركيب والعمل.

يستخدم هذا المقياس عادة في البصريات لقياس الأطوال الموجية بصورة دقيقة ولدراسة التركيب الدقيق للخطوط الطيفية للضوء ،يتكون المقياس من مرآتين متساويتين متقابلتين تبلغ انعكاسية كل منهم(95%) وتكون المرآتان متوازيتين بحيث يمكن التحكم في تغيير المسافة بينهما.

(3-6) أسئلة وتمارين

1) شقان يبعدان 0.5 مم عن بعضهما البعض، أضيئا بضوء الكادميوم الأزرق ذي الطول الموحى 4800 انجستروم. حدد موقع الهدب ، إذا كانت المسافة بين هدبتين متتاليتين تساوى 1 مم.

2) في تجربة ينج تكونت هدب بسعة 0.6 سم، باستعمال ضوء طولي موجته 5000 انجستروم. وعند اختزال المسافة بين الشقين والحائل إلى النصف تكونت هدب بسعة 0.4 سم باستعمال ضوء آخر. احسب طول موجه الضوء المستعمل في الحالة الثانية ؟ وما المسافة التي تفصل بين نهايتين عظميتين متتاليتين على حائل استقبال الهدب.

3) في تجربة ينج إذا كان الطول الموجي للضوء المستخدم 589 nm والمسافة بين الشاشة والشقين 2m فإذا لوحظ أن الهدب المظلم العاشر يقع على مسافة 26 mm.7 عن الهدب المركزي المضيء . احسب المسافة بين الشقين ؟

4) ضوء طوله الموجي 460 nm سقط على شقين المسافة بينهما 3 mm.0 فإذا كانت المسافة بين الهدب المظلم الأول والثاني 4 mm جد المسافة بين الشاشة والشقين ؟

5) في تجربة ينج كانت المسافة بين شقي يونج 2.0 .سنتيمتر وكان بعد الشاشة عن الشقين .13 سنتيمتر وعند سقوط ضوء أبيض على الشقين تكون نمط للتداخل بحيث كانت المسافة بين كل هدبين معتمين متتاليين 032 .سنتيمتر ، احسب معدل الطول الموجي للضوء الأبيض ؟

6) في تجربة ينج إذا كانت الشاشة موضوعة على مسافة 2.1 m عن الشقين وكانت المسافة بين الشقين 03.0 mm فإذا قيس الهدب المضيء من المرتبة الثانية (m = 2) بحيث كانت المسافة بينه وبين الهدب المركزي المضيء 5.4 cm احسب:

1. الطول الموجي للضوء المستخدم ؟
2. المسافة بين ألهداب المضيئة ؟

7) عند إجراء تجربة حلقات نيوتن لإيجاد العلاقة بين مرتبة الحلقة المظلمة m ومربع قطر الحلقة D_m^2 سجلت نتائج أحد الطلبة حسب الجدول التالي: ادرس الجدول جيدا وأجب عن الأسئلة

- ارسم بيانيا العلاقة بين m و D_m^2
- ما نوع العلاقة بين m و D_m^2

- إذا كان نصف قطر تكور العدسة المستخدمة ما هو 20cm من الرسم البياني احسب الطول الموجي المستخدم؟

8) بما تفسر حدوث التداخل في الضوء يعطي هدب مضيء و هدب مظلم؟

9) في تجربة حلقات نيوتن استخدم ضوء احادي اللون وتم الحصول على القراءات التالية:

m	1	2	3	4	5	6
$D_m^2(\text{ mm})^2$	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4

نصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة 1000 سم، قطر حلقة ما 0.8 سم، قطر الحلقة الخامسة التالية للحلقة السابقة 1.2 سم. أوجد طول موجة الضوء المستخدم وأوجد رتبة الحلقة.

10) ما المقصود بمقاييس التداخل مع شرح تركيب وعمل مقياس ميكلسون؟

نماذج التقييم

نموذج (3)

االكلية:

القسم:	
الشعبة:	
الإسم :	
التاريخ:	

التقييم عن الفصل الثالث

1- أذكر الشروط الأساسية لحدوث التداخل؟

2- إشرح مع الرسم تجربة الشق المزدوج لينج ؟

3- ناقش تداخل الضوء في الأغشية الدقيقة؟

يرجي إرفاق النموذج مع الإجابات

Alaa Hassan

الفصل الرابع (ظاهرة حيود الضوء)

(4-1) مقدمة

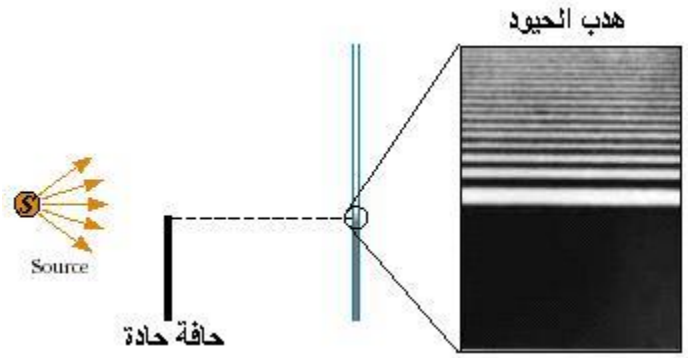
إنّ الضوء بصفة عامة يسير في خطوط مستقيمة، وهذا ما نلاحظه أثناء مرور الأشعة الضوئية في الفراغ أو بعد انعكاسها على المرايا. ولكن ذلك لا يكون صحيحاً عندما يصادف الضوء أمامه أي جسم له حواف حادّة أو فتحات صغيرة يمر الضوء من خلالها. فلو كان الضوء يسير حقاً بخطوط مستقيمة بشكل دقيق لوجب أن يكون شكل الظل لأي جسم مطابقاً تماماً للشكل الهندسي للجسم نفسه. والحقيقة أنّنا لو فحصنا شكل الظل عن قرب لوجدنا أنّ الزوايا الحادّة للجسم يكون عادة ظلها مستديراً قليلاً، مما يعني أنّ الضوء لم يحافظ على مساراته المستقيمة أثناء مروره بالقرب من هذه الحواف أو الزوايا أو الفتحات. وهذه الظاهرة تعرف في الفيزياء باسم الحيود أو الإنعراج (Diffraction)، وهي ظاهرة تعم جميع أنواع الأمواج.

وكذلك لنفس هذا السبب نحن لا نستطيع التمييز بين الأجسام الصغيرة المتقاربة عندما ننظر إليها من مكان بعيد نسبياً. فمثلاً تصعب قراءة الحروف الصغيرة من مسافة تزيد عن المتر حيث يمكن أن نرى الكلمة الواحدة كبقعة غير واضحة التفاصيل. فالسبب في ذلك هو حيود الضوء الصادر عن هذه الخطوط مما يجعلها تبدو كتلة واحدة بعد مسافة صغيرة، ولو كانت الأشعّة الضوئية تسير بخطوط مستقيمة متناهية بالدقّة لكانت رؤية الأشياء البعيدة مثل رؤيتها وهي قريبة.

إن السبب الذي تستند إليه ظاهرة الحيود هو الطبيعة الموجية للضوء، فالأمواج تختلف عن الجسيمات من حيث طبيعها وطريقة حركتها حيث إن حركة الأجسام تكون خاضعة لقوانين الحركة (قوانين نيوتن) وهي تسير عادة في خطوط مستقيمة إلا إذا أثرنا عليها بقوة ما تجبرها على الحركة باتجاه آخر، في حين أنّ الأمواج بطبيعهتا تتداخل مع بعضها البعض لأنّها عبارة عن تغيرات دورية تطرأ في الحقل الذي تتشكل فيه هذه الأمواج (كالحقل الكهرومغنطيسي مثلاً كما هو الحال بالنسبة للموجات الضوئية، أو كاضطراب الهواء أثناء حدوث الأمواج الصوتية وانتقالها فيه). فعندما تتداخل هذه الأمواج مع بعضها ينتج توزع جديد للطاقة يختلف بحسب المسافة بين الموجتين المتداخلتين وبالتالي بحسب عرض الفتحة التي يمرّ منها الضوء أو المسافة بين الفتحات المتقاربة، وذلك بشكل مشابه لما يحصل لأمواج البحر مثلاً.

(4-2) ظاهرة الحيود

خاصية الحيود هي أن يحيد الضوء عن خاصية سيره في خطوط مستقيمة عند مروره خلال حافة حادة. فعند مرور الضوء خلال حافة حادة كما بالشكل (35) نجد أن الضوء ينتشر في منطقة الظل الهندسي أي أن الضوء انحني ولم يلتزم بالانتشار في خطوط مستقيمة عند مروره بهذه الحافة الحادة.



شكل (35) حيود الضوء

<u>وينقسم حيود الأشعة الضوئية إلى نوعين:</u>

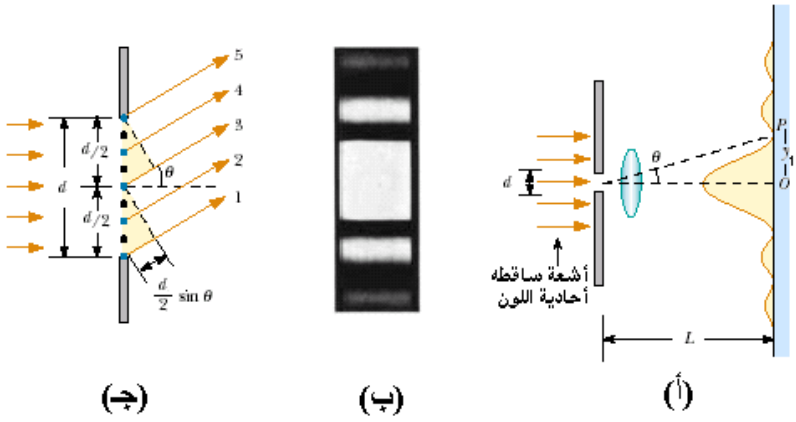
(4-2-1)حيود فرنهوفر

وفيه يكون المصدر الضوئي والحائل الذي يتكون علىه نموذج الحيود على مسافات بعيدة من الحافة الحادة المسببة لهذا الحيود فيكون كل من صدر الموجة الساقطة والحائدة مستوي.

(4-2-2) حيود فرنل

وفيه يكون المصدر الضوئي أو الحائل أو كلاهما على مسافة محدودة من الحافة الحادة المسببة للحيود. ويختلف نمط حيود فرنل عن نمط حيود فرنهوفر من حيث المعالجة الرياضية وشدة الاستضاءة وأتساع أشرطة الحيود.

(4-3)حيود فرنهوفر من خلال فتحة مستطيلة ضيقة



شكل (36) رسماً تخطيطياً لتجربة حيود فرنهوفر خلال شق ضيق

يوضح الشكل (36-أ) رسماً تخطيطياً لتجربة حيود فرنهوفر خلال شق ضيق فعند سقوط أشعة أحادية اللون (وحيدة الطول الموجي)، على فتحة مستطيلة ضيقة عرضها ***d*** فإنه يظهر على الحائل نمط حيود واضح في الشكل (36-ب). ولإيجاد علاقة رياضية لنمط الحيود المتكون عند النقطة ***P*** على الحائل نفرض أننا قسمنا صدر الموجة الساقط على الفتحة إلي قسمين كما بالشكل (36-جـ)، وحيث أن كل نقطة على صدر الموجة تعمل عمل مصدر ثانوي، فنجد من هندسة الشكل أن الشعاعين المتوافقين ***1،2*** المنبعثين من النصف السفلي للفتحة يكون فرق السير بينهما هو:

$$\delta = \frac{d}{2} sin\,\theta$$

وهو نفس فرق المسير بين الشعاعين ***2،4*** حيث المسافة بينهما أيضاً ***d/2***. فإذا كان فرق المسير بين الشعاعين ***1،2*** هو ***λ/2*** فإنه التراكب بينهما يكون

تراكب هدمي. وبالمثل فإن أي شعاعين المسافة بينهما ***d/2*** يكون التراكب بينهما هدمي، وحيث أننا قسمنا الفتحة إلي قسمين متساويين المسافة بينهما ***d/2*** فإن نتيجة التراكب بين أشعة كل نصف مع الآخر يكون تراكب هدمي. ويكون شرط التراكب الهدمي عند ***P*** هو:

$$\delta = \frac{d}{2} sin\,\theta = \frac{\lambda}{2}$$

وبالمثل لو قسمنا الفتحة إلي أربعة أجزاء متساوية يكون شرط التراكب الهدمي عند ***P*** هو

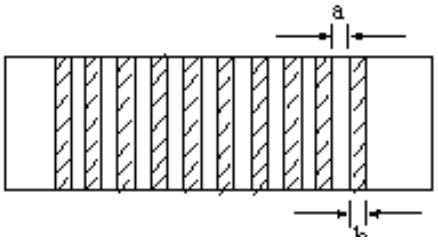
$$\delta = \frac{d}{4} sin\,\theta = \frac{\lambda}{2}$$

وبالتالي يكون الشرط العام تكون الهدب المظلمة في نمط حيود فرنهوفر من خلال فتحة مستطيلة ضيقة هو:

$$d\,sin\,\theta = n\lambda$$

(4-4) محزوز الحيود

محزوز الحيود عبارة عن حائل به فتحات عديدة فهو يتركب من شريحة زجاجية عليها خدوش قد تصل إلى 6000 خط في السنتيمتر الواحد وتكون على شكل خطوط متوازية تم عملها بواسطة سن مدبب من الألماس.



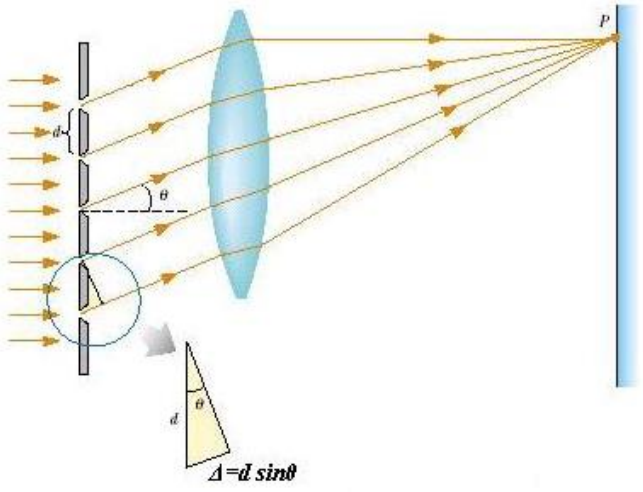
شكل (37) محزوز الحيود

عند سقوط الأشعة الضوئية على المحزوز فإن الأشعة الخارجة منه تبدي حيود فرنهوفر من خلال فتحات عديدة، حيث يمر الضوء من خلال الأجزاء غير المخدوشة أي بين خطوط المحزوز حيث تعمل عمل فتحات. فإذا كانت المسافة بين كل خط وآخر هي a وعرض الخدش هو b كما بالشكل (37) فان المقدار $d = (a + b)$ يسمى ثابت المحزوز.

ومن الملاحظ إذا كان عدد خطوط المحزوز في السنتيمتر هو N(line/cm) خط فإن:

$$d = 1/N$$

إذا سقطت حزمة متوازية من **ضوء أحادى اللون طوله الموجي** λ في اتجاه عمودي على مستوى محزوز الحيود من مجمع الضوء في المطياف – فإنه بتوجيه التلسكوب شكل (38) بحيث يكون على استقامة مجمع الضوء – فإننا نرى صورة للفتحة واضحة وقوية تمثل الهدبة المركزية التي تنتج عن التداخل البناء لجميع الأشعة النافذة من هذه الفتحات المتوازية بدون حيود ونرى أيضاً على جانبيهاً أهداباً مضيئةً تقل إضاءتها تدريجياً بالابتعاد عن الهدبة المركزية وهى ناتجة عن التداخل البناء للأشعة الحائدة بزوايا مختلفة.



شكل (38) تكون الهدب التداخل بمحزوز الحيود

ومن الشكل (38) نجد أن شرط حدوث هذا التداخل البناء هو أن يكون فرق المسار الضوئي Δ بين أي شعاعين متناظرين حائدين من أي فتحتين متتاليتين مساوياً لمضاعفات صحيحة للطول الموجي أي أن:

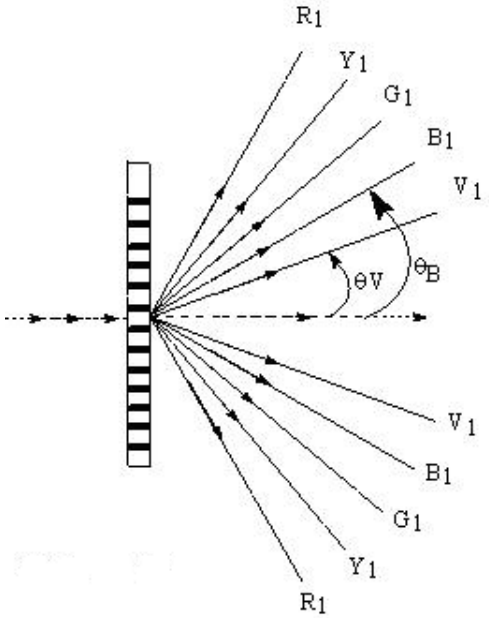
$$\Delta = dSin\theta = n\lambda \qquad (7)$$

ومن الواضح من المعادلة (7) أن زاوية الحيود $\boldsymbol{\theta}$ تعتمد على الطول الموجي $\boldsymbol{\lambda}$ للضوء الأحادي اللون المستعمل وعلى رتبة الحيود $\boldsymbol{n}$.

إذا استعملنا **مصدراً ضوئيا له طيف خطى (كمصباح الزئبق مثلا)** فإن الضوء الخارج من محزوز الحيود يتحلل إلى ألوان الطيف ويكون كل لون له زاوية حيود خاصة به ونشاهد خلال التلسكوب لكل رتبة حيود $\boldsymbol{n}$ جميع

الخطوط الملونة التي يتكون منها طيف هذا المصدر الضوئي كما بالشكل التالي .

وهكذا يمكن استخدام محزوز الحيود لإنتاج رتب مختلفة لطيف أي مصدر ضوئي وكذلك يمكن استخدام المعادلة (7) لحساب الطول الموجي لكل منها ، شكل (39).



شكل (39) الرتب النختلفة المتكونة بمحزوز الحيود

مثال:

يسقط الضوء أحادي اللون من ليزر الهيليوم-نيون (λ = 632.8 نانومتر) على محزوز حيود يحتوي على 6000 خط لكل سنتيمتر. أوجد الزوايا التي يلاحظ عندها أقصي إضاءة للرتبة الأولى والثانية.

الحل:

أولاً ، يجب أن نحسب وحدة المحزوز ، والذي يساوي معكوس عدد الخطوط لكل سنتيمتر:

$$d = \frac{1}{6\,000}\ \text{cm} = 1.667 \times 10^{-4}\ \text{cm} = 1\,667\ \text{nm}$$

للحصول على أقصي إضاءة للرتبة الأولى (m = 1) ، نحصل علي

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda}{d} = \frac{632.8\ \text{nm}}{1\,667\ \text{nm}} = 0.379\,6$$

$$\theta_1 = 22.31°$$

للحصول على أقصي إضاءة للرتبة الثانية (m = 2) ، نحصل علي

$$\sin\theta_2 = \frac{2\lambda}{d} = \frac{2(632.8\ \text{nm})}{1\,667\ \text{nm}} = 0.759\,2$$

$$\theta_2 = 49.39°$$

(4-5) أسئلة وتمارين

1. يسقط ضوء أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شق مفرد عرضه 095 . 0.mm اذا كان بعد الشق عن الشاشة يساوي 75 cm، فكم يكون عرض الهدبة المركزية المضيئة؟
2. سقط ضوء أصفر على شق مفرد عرضه 0.00295 mm فظهر منط على شاشة تبعد عنه مسافة 60 cm ،فاذا كان عرض الهدبة المركزية المضيئة 24 mm ،فما مقدار الطول الموجي للضوء؟
3. يستعمل جهاز المطياف محزوز حيود يحتوي علي 12000 خط لكل سم. أوجد الزوايا التي توجد فيها الهدب المضيئة ذات الرتبة الأوائل لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي 632 nm ،وللضوء الأزرق الذي طوله الموجي 421 nm.
4. يوجد 250 شقًّا لكل ملليمتر على طول محزوز حيود. يمرُّ عبر المحزوز ضوء طوله الموجي .550 nm كم هدبة مضيئة أساسية موجودة في نمط الحيود الناتج؟
5. ضوء أبيض، مكوَّن من جميع الأطوال الموجية بين 400 nm، 700 nm،يمرُّ عبر محزوز حيود ويسقط على شاشة. الزاوية θ_1 هي الزاوية من الخط الذي يقطع مركز المحزوز ومركز نمط الحيود إلى الخط الذي يقطع مركز المحزوز والهدبة المضيئة الأساسية الأولى للضوء الأحمر. الزاوية θ_2 هي الزاوية من الخط الذي يقطع مركز المحزوز ومركز نمط الحيود إلى الخط الذي يقطع مركز المحزوز والهدبة المضيئة

الأساسية الأولى للضوء البنفسجي. إذا كان قياس الزاوية θ_1 يساوي $4.5°$، فأوجد قياس الزاوية θ_2.

6. محزز حيود فيه 4525 خط اضيء باشعة الشمس المباشرة ، ينتشر الطيف ذي الرتبة الأولي على شاشة بيضاء معلقة على حائط في الجهة المقابلة للمحزز

1. على اي زاوية يظهر الضوء الأزرق اذا كان طوله الموجي 422 nm ؟
2. على اي زاوية يظهر الضوء الأحمر اذا كان طوله الموجي655 nm ؟

نماذج التقييم

نموذج (4)

االكلية:

القسم:	
الشعبة:	
الإسم :	
التاريخ:	

التقييم عن الفصل الرابع

1- فرق بين أنواع الحيود؟

2- إشرح ظاهرة الحيود في الضوء؟

3- ناقش فكرة عمل محزوز الحيود؟

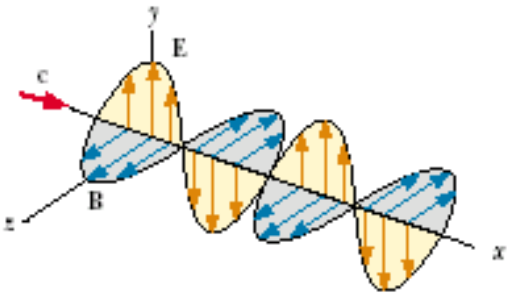
يرجي إرفاق النموذج مع الإجابات

Alaa Hassan

الفصل الخامس (ظاهرة إستقطاب الضوء)

(5-1) إستقطاب الضوء

الضوء الطبيعي:



شكل (40) شكل الموجة الكهرومغناطيسية

طبقاً للنظرية الموجية للضوء فإن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ستعرضة ولذبذبتها مركبتان متوافقتان أي لهما نفس الطور ومتعامدتان على اتجاه انتشار الموجة، أحدهما تمثل تغيراً دورياً في المجال الكهربي والأخرى تمثل تغيراً دورياً في المجال المغناطيسي كما في الشكل (40) .

ويحدث لهاتين الذبذبتين تغيراً مفاجئاً للاتجاه في الفراغ مع بقائهما عموديتين على اتجاه انتشار الموجة وهذا التغير يحدث بمعدل 10^8 مرة في الثانية مما يجعل متوسط شدة الذبذبة في أي اتجاه حول محور انتشار الموجة مقدار

الضوء المستقطب:

إذا كان متوسط الذبذبة حول محور انتشار الشعاع الضوئي غير متجانس فإن الضوء يكزن ضوء غير مستقطب، وبمعنى آخر يصبح الضوء مستقطباً إذا كان اتجاه الذبذبة يفضل اتجاه ما عن بقية الاتجاهات في الفراغ.

(5-2) أنواع الاستقطاب:

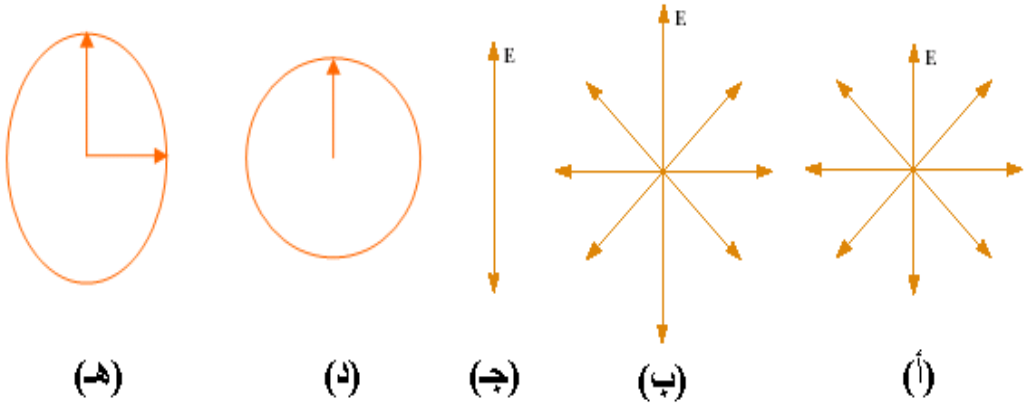
يوجد أربعة أنواع مختلفة للضوء المستقطب وهى :

1- الاستقطاب الجزئي: وفيه يكون متوسط شدة الذبذبة في اتجاه ما أكبر منه في بقية الاتجاهات شكل (41- ب).

2- الاستقطاب الخطى: أو الكلى أو الاستوائي وفيه يكون متوسط شدة الذبذبة في اتجاه ما أكبر ما يمكن وينعدم في بقية الاتجاهات شكل (41- جـ).

3- الاستقطاب الدائري: وفيه يكون متوسط شدة الذبذبة ثابت وفى اتجاه واحد ولكن هذا الاتجاه يعتمد على الزمن ويدور بسرعة زاوية فترسم نهايته مسارا دائريا وهنا يوجد تغير في الاتجاه فقط شكل (41- د).

4- الاستقطاب الاهليجي: وفيه يكون متوسط شدة الذبذبة غير ثابت ولكن في اتجاه واحد و هذا الاتجاه يعتمد على الزمن ويدور بسرعة زاوية فترسم نهايته مساراً اهليجياً ويقال في هذه الحالة أن الضوء مستقطب استقطاباً اهليجياً أي انه يوجد في هذه الحالة تغير في الشدة والاتجاه لمتوسط شدة الذبذبة شكل (41- هـ).



شكل (41) أنواع الإستقطاب

(5-3) قانون مالوس

مدى انخفاض شدة الضوء عندما تعبر من خلال مرشح استقطاب ثانٍ يسمى بـ قانون مالوس.

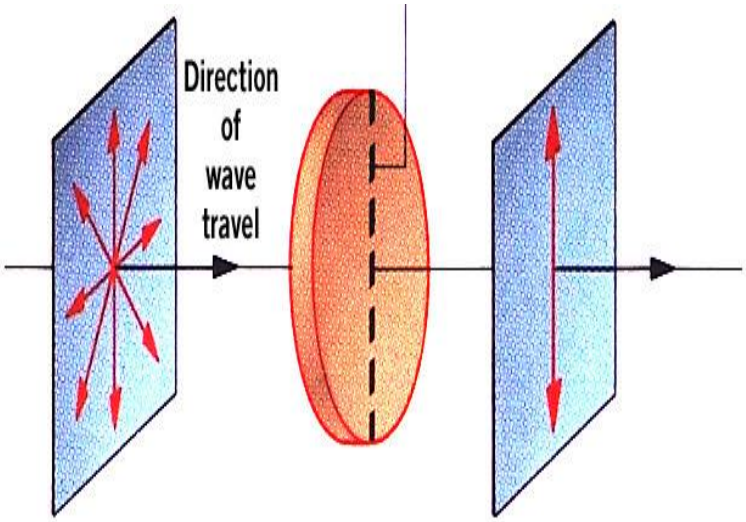
نص القانون مالوس:

إن شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الثاني يساوي شدة الضوء الخارج من مرشح الاستقطاب الأول مضروبا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشحين.

يعطى بالعلاقة:

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

يسمى مرشح الاستقطاب الذي يستخدم قانون مالوس بالمحلل



مثال:

يسقط ضوء غير مستقطب على ثلاثة مستقطبات. يحتوي المستقطب الأول على محور نقل عمودي ، والثاني به محور نقل تم تدويره بمقدار 30.0 درجة بالنسبة إلى الأول ، والثالث به محور نقل تم تدويره بمقدار 75.0 درجة بالنسبة إلى الأول. إذا كانت شدة الضوء الأولية للشعاع هي I_o ، فاحسب شدة الضوء بعد مرور الشعاع

1- المستقطب الثاني.

2- المستقطب الثالث.

الحل:

لحساب الشدة الخارجة من المستقطب الثاني نستخدم قانون مالوس مع إعتبار الشدة الداخلة $1/2\ I_o$

$$I_2 = I_0 \cos^2\theta = \frac{I_b}{2}\cos^2(30.0°) = \frac{I_b}{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 = \frac{3}{8}I_b$$

لحساب الشدة خلال المستقطب الثالث نستخدم قانون مالوس مرة اخري مع إعتبار الشدة الداخلة I_0 3/8 ، الزاوية بين المستقطب الثاني والثالث - 75° 30° = 45°

$$I_3 = I_2 \cos^2\theta = \frac{3}{8}I_b\cos^2(45.0°) = \frac{3}{8}I_b\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 = \frac{3}{16}I_b$$

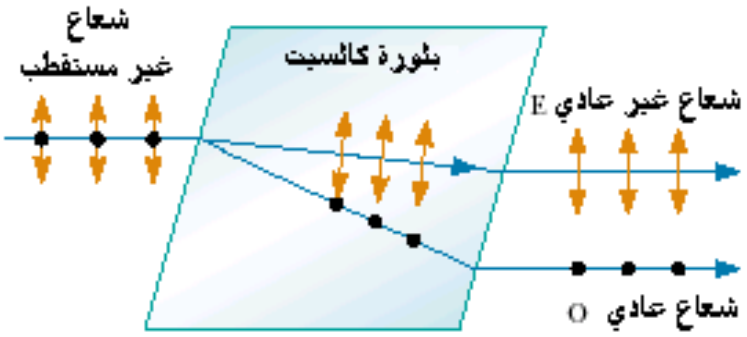
(5-4) طرق الحصول على الضوء المستقطب:

هناك عدة طرق للحصول على الضوء المستقطب وهى:

(5-4-1) الاستقطاب بالانكسار المزدوج (Double Refraction):

هذه الخاصية تم اكتشافها عام 1669 على يد "بارثولينوس" وهى خاصية تتواجد في بعض البلورات التي لها خاصية تباين الخواص في الاتجاهات المختلفة Anisotropy ويمتلك هذه الخاصية البلورات التي لا تنتمي إلى فصيلة الكعب ومن أمثلتها بلورات أيسلاند سبار (الكالسيت) والكوارتز.

فعند مرور الضوء في هذه البلورات يحدث الانكسار المزدوج وهو خروج الضوء على هيئة شعاعان أحدها يتبع قوانين الانكسار المعروفة ويسمى الشعاع العادي والآخر لا يتبع قوانين الانكسار المعروفة ويسمى الشعاع غير العادي وتختلف سرعة الشعاعين ويرمز للشعاع العادي بالرمز "***O***" وللشعاع غير العادي بالرمز "***e***" كما بالشكل (42).

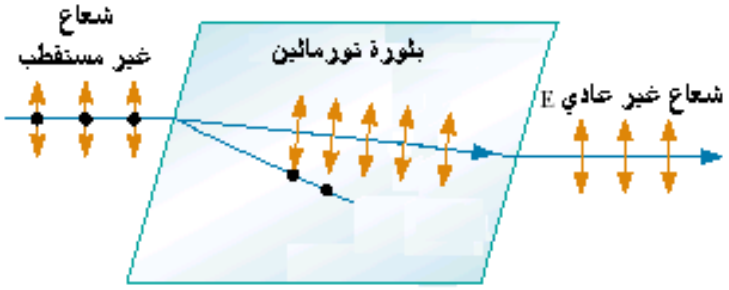


شكل (42) إستقطاب الضوء داخل بلورة الكالسيت

وقد وجد أن هناك اتجاه "محور بلوري" واحد في تلك البلورة إذا نفذ الضوء فيه لا يعانى انكسار مزدوج ويسمى هذا الاتجاه بالمحور البصري optical axis والمستوى الذي يضم الشعاع الساقط والمحور البصري يسمى بالمستوى الأساسي principle plane وقد وجد أيضا أن كل من الشعاع العادي وغير العادي يكون مستقطب استقطابا خطيا ومستوى الاستقطاب (المستوى الذي تهتز المركبة في اتجاهه) لكل منهما عمودي على الآخر ألا أن مستوى الاستقطاب للشعاع غير العادي هو المستوى الأساسي.

(5-4-2) الاستقطاب بالامتصاص الانتقائي Selective absorption (Dichroism)

هناك بعض البلورات يكون فيها معامل الامتصاص لأحد شعاعي الانكسار المزدوج كبير بالنسبة لمعامل امتصاص الشعاع الأخر ومثال على ذلك مادة التورمالين وبالتالي يمكن باستخدام سمك معين من هذه المادة امتصاص أحد الشعاعين تماما ونفاذ الشعاع الأخر، شكل (43).



شكل (43) إستقطاب الضوء بالإمتصاص الإنتقائي داخل بلورة التورمالين

ومن هذه المواد يصنع **المستقطب** وهو الأداة التي نحصل بواسطتها على ضوء مستقطب استقطاب خطى ويتم صناعة المستقطبات من مادة مثل التورمالين تمتاز بخاصية الانكسار المزدوج والامتصاص الانتقائي حيث يتم صنع المستقطب من بلورة ذات سمك كاف لامتصاص الشعاع العادي وبالتالي نحصل فقط على الشعاع غير العادي المستقطب استقطابا خطيا

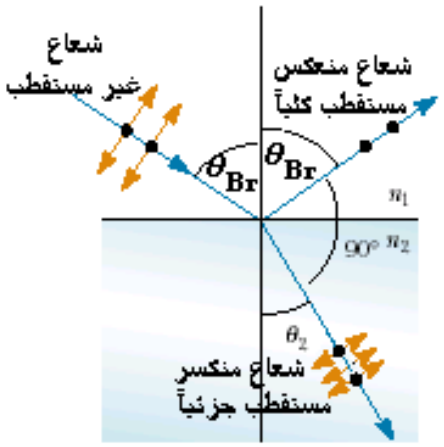
(5-4-3) الاستقطاب بالانعكاس

عند سقوط شعاع ضوئي غير مستقطب على سطح فاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية بزاوية سقوط θ فان هذا الشعاع ينقسم إلى قسمين قسم ينعكس وتنطبق علىه جميع قوانين الانعكاس , والآخر ينكسر وتنطبق علىه جميع قوانين الانكسار .

وقد وجد أن كل من الشعاعين المنعكس والمنكسر يكون مستقطب استقطاباً جزئياً وسوف نهتم في هذه التجربة بالشعاع المنعكس فقط.

يكون الشعاع المنعكس مستقطباً استقطاباً جزئياً حيث أن متوسط شدة الذبذبة في المستوى العمودي على مستوى السقوط يكون أكبر منها في حالة المستوى الموازى لمستوى السقوط كما بالشكل (44)

وعند زيادة زاوية السقوط تقل المركبة الموازية لمستوى السقوط في الشعاع المنعكس حتى نصل إلى زاوية سقوط معينة تسمى زاوية بروستر $\boldsymbol{\theta_{Br}}$ تنعدم عندها تماماً المركبة الموازية لمستوى السقوط, ويصبح الشعاع المنعكس مستقطب استقطاباً خطياً في اتجاه المستوى العمودي على مستوى السقوط وعند هذه الزاوية يكون الشعاعان المنكسر والمنعكس متعامدان كما في شكل (45)، ومنها يمكن حساب معامل الانكسار من العلاقة:



شكل (44) إستقطاب الضوء بالإنعكاس

$$n = tan \quad \theta_{Br}$$

أي أنه بمعرفة زاوية بروستر يمكن تعيين معامل الانكسار النسبي من الوسط الأول إلى الوسط الثاني أو معامل الانكسار المطلق إذا كان الوسط الأول هو الهواء وهذا هو قانون بروستر .

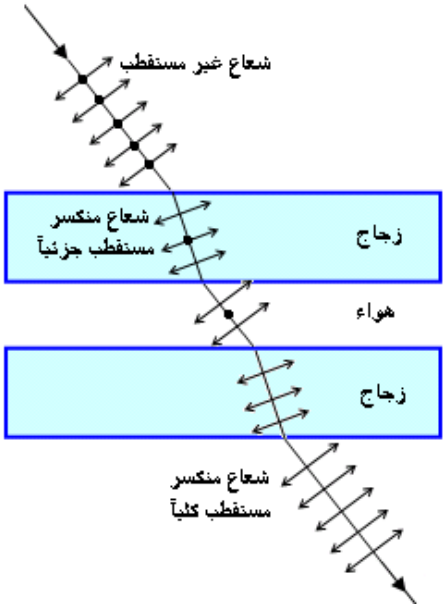
(5-3-4) الاستقطاب بالانكسار خلال الشرائح المتعددة

عملنا مما سبق انه عند سقوط ضوء غير مستقطب على شريحة زجاجية فإن كلا من الشعاع المنعكس والشعاع المنكسر يكون مستقطب استقطاب جزئي وعند زاوية بروستر يكون الشعاع المنعكس فقط هو الشعاع المستقطب خطياً واتجاه مستوى الاستقطاب هو الاتجاه العمودي على مستوى السقوط.

أما الشعاع المنكسر فيحتوى على مركبتين العظمى في الاتجاه الموازى لمستوى السقوط والصغرى في الاتجاه العمودي (لأنه جزء منها قد ذهب إلى الشعاع المنعكس) .

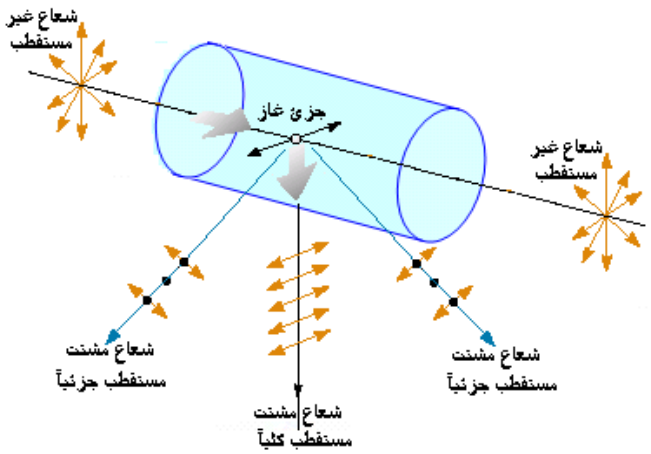
وقد وجد أنه خلال شريحة واحدة من الزجاج تقل المركبة العمودية من الشعاع المنكسر بنسبة 15% وباستخدام شريحة أخرى تقل بنسبة 15% من الـــ 85% المتبقية في المركبة العمودية وكهذا .

وباستخدام عدد مناسب من الشرائح يمكننا تقريباً الحصول على ضوء مستقطب استقطاب خطى باستخدام الانكسار .



(5-3-5) الاستقطاب بالتشتت

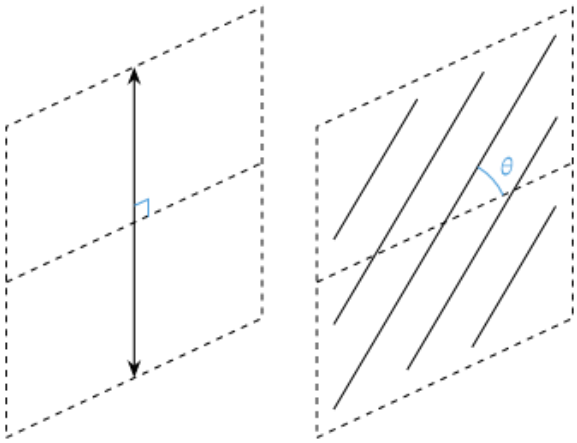
إذا مر شعاع ضوئي شدته I_o خلال أنبوبة مملوءة بالدخان كما بشكل (46)، فإن شدة الشعاع النافذ I تكون أقل من I_o وهذا النقص في شدة الاستضاءة لا يرجع فقط إلى خاصية الامتصاص ولكن أيضاً لأن جزء من الضوء تشتت إلى جوانب الأنبوبة بواسطة جسيمات الدخان ـ وهذا الضوء المشتت يكون مستقطباً جزئياً، أما الضوء المتشتت إلى جوانب الأنبوبة في الاتجاه العمودي على اتجاه الشعاع الساقط يكون مستقطبا استقطاباً استوائياً.



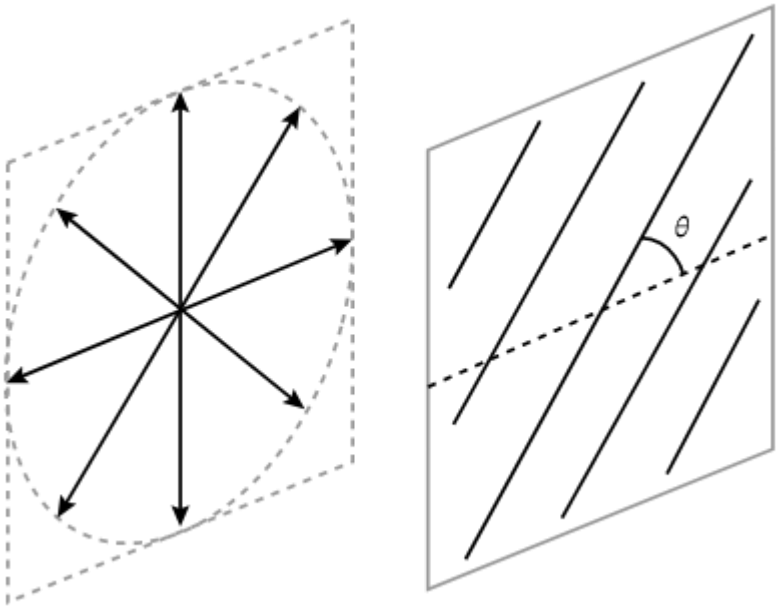
شكل (46) إستقطاب الضوء بالتشتت

(4-5) أسئلة وتمارين

1. ينعكس ضوء غير مُسْتقطَب ينتقل في هواء معامل انكساره 1 من طبقة من الزيت. قياس الزاوية بين العمودي على سطح الزيت والضوء المنعكس المستقطب كليًّا يساوي 52.4°. ما معامل انكسار الزيت؟
2. يمرُّ ضوء غير مُسْتقطَب عبر مُسْتقطِبين قياس الزاوية بين محوري استقطابهما 48°. شدة الضوء بعد مروره عبر المستقطبين 0.15 W/m^2. ما الشدة الابتدائية للضوء؟
3. يمر ضوء غير مُسْتقطَب عبر مُسْتقطبين. الشدة الابتدائية للضوء تساوي 1.8 W/m^2. شدة الضوء بعد مروره عبر المُسْتقطبين 0.85 W/m^2. ما الزاوية بين محوري الاستقطاب للمستقطبين؟
4. يمر ضوء مُستقطَب رأسيًّا شدته 1.25 W/m^2 عَبْر مُستقطِب محاور استقطابه تصنع الزاوية θ التي قياسها 35° أعلى الأفقي، كما هو موضَّح في الشكل. ما شدة الضوء المار من المُستقطِب؟



5. يمر ضوء غير مُستقطَب شدته $2.4\ W/m^2$ عَبْرَ مُستقطِب محور استقطابه يصنع الزاوية θ التي قياسها $55°$ أعلى الأفقي، كما هو موضَّح في الشكل. ما شدة الضوء النافذ من المُستقطِب؟



6. ضوء مستقطب رأسيًّا شدته $2.2\ W/m^2$ يمر خلال مستقطِبٍ محاورُ استقطابه تصنع الزاوية θ،التي قياسها $25°$ من الرأسي. ما شدة الضوء الخارج من المستقطِب؟

نماذج التقييم

نموذج (5)

االكلية:

القسم:	
الشعبة:	
الإسم :	
التاريخ:	

التقييم عن الفصل الخامس

1- فرق بين الأنواع المختلفة للإستقطاب؟

2- إشرح بالتفصيل إحدي طرق الحصول علي الضوء المستقطب؟

يرجي إرفاق النموذج مع الإجابات

Alaa Hassan

ملحق 1

تعاريف في الضوء والبصريات.

1- الشعاع الساقط عند الانعكاس:

هوالشعاع الذي يصل إلى السطح العاكس .

2- الشعاع المنعكس :

هو الشعاع الذي يرتد عن السطح العاكس.

3- زاوية السقوط عند الانعكاس

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس .

4- زاوية الانعكاس :

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس

5- القانون الأول لانعكاس الضوء

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

6- القانون الثاني لانعكاس الضوء

الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنعكس والعمود المقام على السطح من نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس .

7- انكسار الضوء :

هو انحراف الأشعة الضوئية عن مسارها المستقيم نتيجة انتقالها من وسط شفاف متجانس إلى وسط آخر شفاف متجانس يختلف عنه في الكثافة الضوئية

8- الشعاع الساقط) عند الانكسار

هو الشعاع الذي يصل إلى السطح الفاصل بين الوسطين الشفافين.

9- الشعاع المنكسر :

هو الشعاع الذي ينفذ إلى الوسط الثاني عند الانكسار

10- زاوية السقوط عند الانكسار

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل.

11 - زاوية الانكسار:

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل.

12 - الكثافة الضوئية للوسط:

هي قدرة الوسط على كسر الأشعة الضوئية عند نفاذها منه .

13- القانون الأول للانكسار:

لنسبة بين جيب زاوية السقوط في الوسط الأول وجيب زاوية الانكسار في الوسط الثاني نسبة ثابتة تعرف باسم معامل الانكسار من الوسط الأول إلى الوسط الثاني.

14 ـ القانون الثاني للانكسار:

الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل .

15ـ معامل الانكسار المطلق:

هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ و إلى سرعته في الوسط المادي .

16ـ معامل الانكسار النسبي:

هو معامل الانكسار من الوسط الأول إلى الوسط الثاني ، ويساوي النسبة بين معامل الانكسار المطلق للوسط الثاني ومعامل الانكسار المطلق للوسط الأول .

17ـ الزاوية الحرجة:

هي زاوية سقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار في الوسط الأقل كثافة ضوئية تساوي 90.

18ـ الانعكاس الكلي:

إذا أنتقل شعاع ضوئي من أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة وكانت زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإن الشعاع لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة بل يرتد في الوسط الأول نفسه .

19- زاوية الانحراف:

هي الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط والشعاع الخارج في المنشور الثلاثي.

20- الألياف الضوئية (البصرية):

هي عبارة عن أنبوبة رفيعة من مادة شفافة إذا دخل الضوء من أحد طرفيها فإنه يعاني انعكاسات كلية متتالية فيكل مرة حتى يخرج من طرفها الآخر ، وعند وضع آلاف من هذه الألياف معا تتكون منها حزمة مرنة يمكن استخدامها في نقل الضوء

21- العدسة:

جسم شفاف سطحاه المتقابلان كرويان ، أو أحدهما كروي و الآخر مستو.

22- العدسة المحدبة (اللامة) :

هي العدسة التي تكون سميكة عند الوسط ورقيقة عند الحافة .

23- العدسة المقعرة (المفرقة):

هي العدسة التي تكون رقيقة في الوسط وسميكة عند الحافة .

24- مركز تكور وجه العدسة:

هو مركز تكور الكرة التي يكون هذا الوجه جزئا منها .

25- المحور الأساسي للعدسة:

هو المستقيم المار بمركزي تكور وجهي العدسة .

26- المركز البصري للعدسة :

هو نقطة تقع في باطن العدسة وعلى محورها الأساسي ، إذا سقط شعاع ضوئي مار بها فإنه ينفذ على استقامته دون أن يعاني انحرافا

27 .- المحور الثانوي للعدسة:

هو أي مستقيم يمر بالمركز البصري للعدسة خلاف محورها الأساسي .

28- بؤرة العدسة:

إذا سقطت حزمة من الأشعة المتوازية والموازية للمحور الأساسي للعدسة فإنها تتجمع هي و امتداداتها بعد مرورها من العدسة في نقطة تعرف بالبؤرة الأساسية للعدسة .

29- المستوى البؤري لعدسة:

إذا سقطت على العدسة حزمة ضوئية متوازية ضيقة لا توازي المحور الأساسي وتوازي محورا ثانويا فإنها بع نفاذها من العدسة تتجمع في بؤرة ليست على المحور الأساسي وتعرف بالبؤرة الثانوية ، وقد وجد نظريا وعمليا أن جميع البؤرات الثانوية يجمعها مستوى واحد عمودي على المحور الأساسي ويمر بالبؤرة الأساسية يسمى (المستوى البؤري).

30 - البعد البؤري للعدسة:

هو المسافة بين البؤرة الأساسية والمركز البصري للعدسة .

31- القانون العام للعدسات:

هو الذي يحدد العلاقة بين بعد الجسم وبعد الصورة والبعد البؤري للعدسة.

32- التكبير الخطي:

هو النسبة بين طول الصورة المتكونة وطول الجسم ، (أو) هو النسبة بين بعد الصورة المتكونة عن القطعة الضوئية وبعد الجسم عنها.

33- قوة العدسة:

هي مقدرة العدسة على تجميع الأشعة المتوازية أو تفريقها

34- الميكروسكوب البسيط:

عبارة عن عدسة محدبة بعدها البؤري صغير ويوضع الجسم على بعد أقل من البعد البؤري . فتكون للجسم صورة تقديرية معتدلة مكبرة.

35- التلسكوب الفلكي:

يستخدم في رؤية الأجسام البعيدة جدا والأجرام السماوية ويتكون من قصبة أسطوانية طويلة ، ويوجد عند نهايتها عدستان محدبتان.

36- آلة التصوير:

تتركب من صندوق محكم ، عدسة محدبة وظيفتها تموين صورة حقيقية مقلوبة للجسم على الفيلم الحساس وحاجز به ثقب دائري يمكن التحكم في اتساعه.

37- العين البشرية:

تشبه كاميرا ممتازة ذات غالق وقزحية ونظام عدسات على أحد الجانبين وفيلم حساس يسمى الشبكية على الجانب الآخر.

38- المرايا المستوية :

هي التي تكون صورة تقديرية معتدلة معكوسة الوضع بالنسبة للجسم ، و طول الصورة يساوي طول الجسم وبعد الصورة عن المرآة يساوي بعد الجسم عنها

39 . - المرايا الكروية:

هي مرايا يكون سطحها العاكس جزء من سطح كروي وهي نوعان : محدبة (مفرقة) ، مقعرة (لامة).

40 - مركز تكور المرآة:

هو مركز تكور الكرة التي قطعت منها المرآة .

41- قطب المرآة:

هو النقطة التي تتوسط السطح العاكس للمرآة.

42- نصف قطر تكور المرآة:

هو المسافة بين مركز تكور المرآة وأي نقطة على سطحها.

43- المحور الأساسي للمرآة:

هو المستقيم المار بمركز تكور المرآة وقطبها .

44- المحور الثانوي للمرآة:

هو المستقيم المار بمركز تكور المرآة وأية نقطة على سطحها.

45- بؤرة المرآة:

عندما نسقط حزمة من الأشعة المتوازية والموازية للمحور الأساسي على سطح المرآة الكروية فإنها تنعكس بحيث تتجمع هي أو امتداداتها في نقطة تعرف بالبؤرة الأساسية .

46- البعد البؤري:

هو المسافة بين البؤرة الأساسية وقطب المرآة .

47- نصف قطر تكور المرآة:

ويساوي ضعف البعد البؤري لها.

48- جبهة الموجة:

السطح الذي يمر بكل النقاط التي يصلها الاهتزاز في لحظة واحدة .

49- هدب التداخل:

هي عبارة عن مناطق مضيئة تتخللها مناطق مظلمة أثناء التداخل .

50 ـ التداخل البناء:

هو الذي يتكون فيه هدب مضيئة نتيجة تقابل موجتين فرق المسير بينهما صفرا أو عددا صحيحا من الموجات فيحدث تقوية في الضوء

51- التداخل الهدام:

هو الذي يتكون فيه هدب مظلمة نتيجة تقابل موجتين فرق المسير بينهما نصف موجة أو عددا صحيحا ونصف من الموجات فيحدث انعدام في شدة الضوء .

52- التداخل في الضوء : هو ظاهرة موجية تنشأ عن تراكب موجات الضوء الصادرة من مصدرين مترابطين ، وينتج عنها مناطق مضيئة تتخللها مناطق أخرى مظلمة تسمى هدب التداخل .

53- حيود الضوء:

هو ظاهرة موجية تنشأ عن تغير مسار موجات الضوء نتيجة مرورها خلال فتحة مناسبة أو ملامستها لحافة صلبة مما يؤدي إلى تراكب الأمواج وتكون هدب مضيئة وأخرى مظلمة .

54- الحركة الموجية :

انتقال الحركة الاهتزازية عبر جزيئات الوسط المادى المرن

55- الموجات المسافرة :

هى الموجات التى تسير دون اعاقة.

56- الموجات المستعرضة :

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

57- الموجات الطولية :

هى الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط المادى فى نفس اتجاه انتشار الموجة

58- القمة :

أعلى نقطة يصل اليها الاضطراب الموجى

59- القاع :

أسفل نقطة يصل اليها الاضطراب الموجى

60- الطول الموجى :

المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتالين أو أى نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور.

61- التردد :

هو عدد الامواج التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى الثانية الواحدة.

62- سرعة الموجة :

هى المسافة التى تقطعها موجة واحدة فى وحدة الزمن.

63- الطور :

هو المقدار الذى يحدد موقع الجزىء المتذبذب واتجاه حركته فى لحظة معينة ويتحدد بمقدار الازاحة واتجاهها.

64- ظاهرة تراكب الموجات :

ظاهرة عبور الموجات لبعضها البعض دون أن يحدث تعديل فى السعة أو السرعة أو اتجاه الحركة.

65- مبدأ تراكب الموجات :

اذا وقعت نقطة تحت تأثير موجتين فى نفس الوقت فان ازاحتها تساوى المجموع الجبرى للازحتين.

66- مبدأ هيجنز :

ينتشر الاضطراب فى وسط ما على هيئة دوائر متحدة المركز. مركزها هو مركز الاضطراب وتسمى الدوائر جبهة الموجة ، كل نقطة على جبهة الموجة تعتبر مصدرا لموجات ثانوية وغلاف هذه الموجات يعطى موقعا جديدا لجبهة الموجة.

67- جبهة الموجة :

هى الخط أو السطح الذى يمر بكل النقاط التى يصلها الاهتزاز فى لحظة واحدة.

68- الشعاع :

هو خط يمثل اتجاه انتشار الموجة

69- البطن :

هو موضع فى الموجة الموقوفة يكون عنده سعة الاهتزازة أكبر مايمكن

70- العقدة :

هى موضع فى الموجة الموقوفة تكون عنده سعة الاهتزازة لجزيئات الوسط صفرا

71- طول الموجة الموقوفة :

ضعف المسافة بين عقدتين متتاليتين أو بطنين متتاليين

72- ظاهرة الرنين :

ظاهرة تقوية وتضخيم الصوت نتيجة انعكاس الموجات الصوتية على الطرف المغلق لعمود هوائى وتراكب الموجتان الساقطة والمنعكسة مكونة موجات موقوفة

73- هدب التداخل :

هى المناطق المضيئة والمظلمة التى تظهر على الحاجز المستقبل لموجات الضوء.

74- محزوز الحيود :

هو الاداة التى تحتوى على عدد كبير جدا من الشقوق المتوازية والمتماثلة فى العرض والتى تبعد عن بعضها مسافات متساوية.

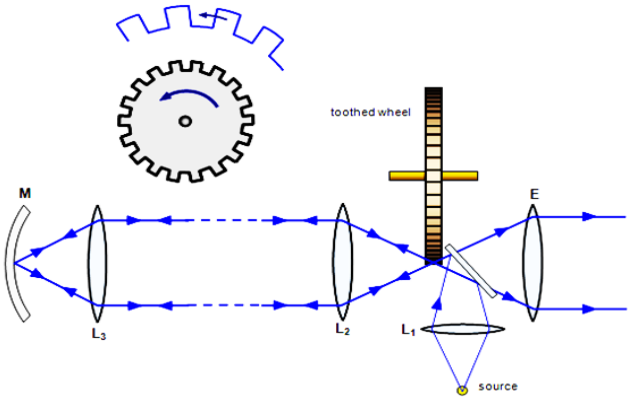
75- حلقات نيوتن : هى أحد أنواع هدب التداخل فى غشاء متغير السمك محصور بين عدسة محدبة مستوية ولوح زجاجى وتتكون من مجموعة من الحلقات المتحدة المركز والمتعاقبة فى الاظلام والضياء

ملحق 2

اسئلة متنوعه

أولاً : أختر الإجابة الصحيحة

أنظر إلي الجهز الموضح بالشكل ثم أجب عن الأسئلة (1-5):



1- تم إستخدام الجهاز السابق بواسطة العالم ..... لتعيين سرعة الضوء

(A) رومر	(B) جاليليو	(C) فيزو	(D) برادلي

2- الزاوية التي يقطع فيها الضوء المسافة ذهابا و إيابا بين العدستين خلال المدة الزمنية t التي تدور فيها العجلة بزاوية موافقة لسن واحد هي .....

(A) 0.25	(B) 0.23	(C) 0.35	(D) 0.32

3- الزمن t الذي تدور فيه العجلة بزاوية موافقة لسن واحد هو .....

(A) 7.25×10^{-5}	(B) 5.51×10^{-5}	(C) 3.22×10^{-5}	(D) 2.15×10^{-5}

4- إذا كانت المسافة بين العدستين 8633 m فإن سرعة الضوء تكون ..... م/ث

(A) 2.89×10^{8}	(B) 3.88×10^{8}	(C) 2.18×10^{8}	(D) 3.13×10^{8}

5- أوجد المسافة بين العاكس و التلسكوب في تجربة "فيزو" إذا علمت أن عدد السنون 600 سن في العجلة وتدور بسرعة 15 دورة في الثانية وأن سرعة الضوء 3×10^{8} م/ث؟

(A) 8633.33 م	(B) 76572.33 م	(C) 8333.33 م	(D) 9300.33 م

6- وضع حائل صغير على بعد 50 سم من منبع ضوئي بحيث كانت أشعة المنبع عمودية علي الحائل، ثم أبعد الحائل حتى صار بعده عن المنبع 100 سم وأدير حتى صارت زاوية سقوط الأشعة عليه 60 درجة. قارن بين شدتي استضاءة الحائل في الحالتين؟

(A) 15	(B) 18	(C) 10	(D) 8
7- سقط ضوء في الهواء بزاوية 45 درجة على سطح لوح من الزجاج معامل انكساره 1.52 . احسب زاوية انكسار الضوء نتيجة لانكساره عند السطح العلوي.			
(A) 27.72°	(B) 23.3°	(C) 30.15°	(D) 22.17°
8- احسب سرعة الضوء في ثاني كبريتيد الكربون إذا علم أن معامل انكساره *1.63* بفرض أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي 3×10^8 سم/ث.			
(A) 3×10^8	(B) 1.84×10^8	(C) 2.15×10^8	(D) 3.18×10^8
9- إذا سقط الضوء من داخل مياه البحر (n_1=1.33) إلى الهواء الخارجي (n_2=1) فإن الزاوية الحرجة تكون			
(A) 48.7^0	(B) 32.5^0	(C) 38.6^0	(D) 42.4^0
10-إذا وضع جسم على بعد 20 سم من قطب مرآة مقعرة قطرها 10 سم ، فإن بعد الصورة المتكونة عن قطب المرآة يكون ..... سم			
(A) 3.2	(B) 2.5	(C) 3	(D) 2.86
11-إذا علمت أن البعد البؤرى لمرآة كرية = 8 سم أوجد نصف قطر تكورها.			
(A) 4 سم	(B) 8 سم	(C) 18 سم	(D) 16 سم
12-يرتبط فرق الطور وفرق المسار بالعلاقة .....زززز			
(A) $\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\ x$	(B) $\phi = \frac{\lambda}{2x}$	(C) $\phi = \frac{\lambda}{2\pi}\ x$	(D) $\phi = \frac{2}{\lambda}\ x$
13-عند تراكب موجتين لهما نفس الطور وغير متعاكستين تكون المحصلة			
(A) $A= \pm(a_1-a_2)$	(B) $A= \pm(a_1+a_2)$	(C) $A= \pm(a_1\times a_2)$	(D) $A= \pm(a_1/a_2)$
14-أي مما يلي يتسبب في تحريك الهدب في نمط التداخل ذي الشقين بعيدًا عن بعضهما البعض؟			
(A) تقليل الطول الموجي للضوءλ	(B) تقليل تباعد الشقوق d		
(C) تقليل مسافة الشاشة L	(D) غمر الجهاز بأكمله في الماء		
15-شاشة عرض مفصولة عن الشق المزدوج بمقدار 4.80 م. إذا كانت المسافة بين الشقين 0.030 0 مم وتم توجيه ضوء أحادي اللون نحو الشق المزدوج ليتشكل نمط تداخل على الشاشة. إذا كانت الهدبة المظلمة الأولى تبعد مسافة 4.50 سم من الهدبة المركزيه على الشاشة. حدد الطول الموجي للضوء؟			
(A) 490 nm	(B) 580 nm	(C) 426 nm	(D) 562 nm
16-بإستخدام البيانات في السؤال السابق تكون المسافة بين هدبتين مضيئتين متتاليتين			
(A) 6 Cm	(B) 7 Cm	(C) 8 Cm	(D) 9 Cm
17-غالبًا ما يتم طلاء العدسات بأغشية رقيقة من مواد شفافة مثل MgF_2 (n= 1.38) لتقليل الانعكاس من سطح الزجاج. ما هي سماكة الطلاء اللازمة لإنتاج حد أدنى من			

الانعكاس في مركز الطيف المرئي (λ = 550 نانومتر)؟			
(A) 88	(B) 110	(C) 100	(D) 92
18-إذا تم تحريك المرآة M2 في مقياس التداخل الخاص بـ Michelson عبر 0.233 مم ، فسيتم حساب 792 هدبة بمقياس ضوئي. ما هو الطول الموجي للضوء المستخدم؟			
(A) 588 nm	(B) 498 nm	(C) 620 nm	(D) 513 nm
19-الظاهرة التي يحدث فيها تغيير في مسار الأشعة الضوئية خلال نفس الوسط هي			
(A) الإنعكاس	(B) الإنكسار	(C) الإستقطاب	(D) التداخل
20-الظاهرة التي يحدث فيها تغيير في مسار الأشعة الضوئية خلال وسطين مختلفين هي			
(A) الإنعكاس	(B) الإنكسار	(C) الإستقطاب	(D) التداخل
21-أي من الظواهر الفيزيائية التالية لا يحث في الموجات الميكانيكية			
(A) الإنعكاس	(B) الإنكسار	(C) الإستقطاب	(D) التداخل
22-في تجربة حيود فرنهوفر من خلال فتحة مستطيلة ضيقة إذا تم تقسيم صدر الموجة إلي 6 أجزاء فإن شرط التداخل الهدمي يكون			
(A) $d\sin\theta = \lambda$	(B) $d\sin\theta = 2\lambda$	(C) $d\sin\theta = 3\lambda$	(D) $d\sin\theta = 4\lambda$
23-محزوز حيود يحتوي علي 4000 خط لكل سم، إذا كانت الزاوية بين الهدبة المركزية والرتبة التالتة المضيئة هي 36° فإن الطول الموجي للضوء المستخدم يكون.....نانوميتر			
(A) 489.9	(B) 528	(C) 429	(D) 588
24-في مقياس ميكلسون لكي يتم التبديل بين الإضاءة والإظلام يجب إزاحة المرآه المتحركة بمقدار			
(A) λ	(B) λ/2	(C) λ/3	(D) λ/4
25-الضوء الناتج من بلورة الكالسيت مستقطب بطريقة الإستقطاب بـ			
(A) الإمتصاص الإنتقائي	(B) الإنكسار المزدوج	(C) الإنعكاس	(D) بالتشتت
26-الضوء الناتج من بلورة التورمالين مستقطب بطريقة الإستقطاب بـ			
(A) الإمتصاص الإنتقائي	(B) الإنكسار المزدوج	(C) الإنعكاس	(D) بالتشتت
27-نوع الإستقطاب الذي يكون فيه متوسط شدة الذبذبة ثابت وفى اتجاه واحد معتمد على الزمن ويدور بسرعة زاوية			
(A) الإستقطاب الجزئي	(B) الإستقطاب الخطى	(C) الإستقطاب الدائري	(D) الإستقطاب الاهليجي
28-في تجربة حلقات نيوتن إذا تم إستخدام ضوء طوله الموجي 589 nm وكان قطر			

العدسة المستخدمة 5 m ونصف قطر الحلقة 10 cm. إحسب عدد الحلقات المتكونة			
53 (D)	45 (C)	34 (B)	24 (A)
29-عند إنتقال ضوء طوله الموجي 589 nm من الهواء إلي الماء (n =1.33) فإن الطول الموجي الجديد يكون			
443 nm (D)	320 nm (C)	413 nm (B)	537 nm (A)

ثانياً- ضع علامة (v) أمام العبارة الصحيحة وعلامة (×) أمام العبارة الخاطئة مع تصويب الخطأ.

1- اذا سقط شعاع ضوئي عموديا على السطح العاكس فإنه يرتد على نفسه بزاوية انعكاس تساوي صفر.

2- تعتمد الأمواج الميكانيكية في إنتشارها علي التفاعل بين جزيئات الوسط الناقل.

3- تقاس شدة الإستضاءة بوحدة اللومن.

4- تكون سرعة إنتشار الضوء في السوائل أكبر من المواد الصلبة.

5- إذا سقط الضوء من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة فإنه سينكسر مقتربا من العمود المقام.

6- يكون مصاحب لإنتقال الضوء من السوائل إلي الغازات زيادة في الطول الموجي.

7- عندما ينتقل الضوء من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة تكون زاوية الانكسار دائما أكبر من زاوية السقوط.

8- عند إنتقال الضوء بين وسطين فإن أكبر زاوية انكسار ممكنة في الوسط الأقل كثافة هي 90 درجة.

9- إذا زادت زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع سوف ينعكس كليا في داخل الوسط نفسه الذي سقط منه.

10- الصور المتكونه بالمرآه المستوية دائماً تقديرية.

11- معامل التكبير في المرآه المستويه دائماً أل من الواحد الصحيح.

12- عند وضع الجسم علي بعد أقل من البعد البؤري لمرآه محدبه فإن الصورة المتكونه تكون أبعد من ضعف البعد البؤري.

13- الأشعة الخارجة من العدسه المقعرة تكون أشعه متجمعة.

14- عند زاوية بروستر يكون الشعاع المنعكس مستقطب خطياً.

15- في حالة الإستقطاب بالإنعكاس كلاً من الشعاعين المنعكس والمنكسر يكون مستقطب استقطاباً كلياً.

16- الحيود دائماً مصحوب بتداخل في موجات الضوء.

17- الموجة الناتجة من حيود فرنل تكون موجة مستوية.

18- في تجربة ينج للشق المزدوج يمكن ملاحظة كلاً من نمط التدخل والحيود.

19- يتميز نمط التداخل بوجود هدبة مركزية عريضة وشدة عالية يتلوها عدة هدب أقل في الإتساع وشدتها تقل تدريجياً.

20- يحدث تداخل لبناء بين شعاعين ضوئيين إذا كان فرق الطور بينهما 9π.

21- تحدث ظاهرة الحيود في الضوء نتيجة مرور الشعاع الضوئي بوسطين مختلفين.

22- عند إنتقال الضوء من الهواء إلي الماء ينكسر الشعاع الضوئي بفرق في الطور قدره π.

23- يزداد الطول الموجي للضوء عند الإنتقال من الماء إلي الهواء.

24- يزداد قطر حلقات نيوتن بزيادة الطول الموجي للضوء المستخدم.

25- الموجات الموقوفة تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها في اتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الموجة.

المراجع

1. البصريات تاليف د. احمد فؤاد باشا و د. شريف احمد خيرى دار الفكر العربى للطبع والنشر طبعة سنة 2005م
2. اساسيات البصريات ترجمة أ.د.عبد الفتاح احمد الشاذلى و د. سعيد بسيونى الجزيرى مراجعة أ.د. محمد عبد المقصود النادى، الدار الدولية للنشر والتوزيع طبعة سنة 1998م
3. اساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة تاليف د. رأفت كامل واصف، دار النشر للجامعات مصر طبعة سنة 1997م.
4. كتاب الضوء تاليف د. امنية عبد الرحيم .
5. مذكرة البصريات الفيزيائية للفرقة الثانية علوم بقنا اعداد د. خالد بن الوليد عبد الفتاح سنة 2009م.
6. مذكرة البصريات الفيزيائية للبيولوجيا والجيولوجيا علوم قنا اعداد د. خلف الله عمر قاسم سنة 2010.
7. أساسيات الفيزياء لفريدريك ج.بوش , جامعة دايتون ,الطبعة العربية الاولى للدار الدولية للاستثمارات الثقافية , ترجمة د سعيد الجزيرى , د محمد امين سليمان , د احمد فؤاد باشا.