بصريات فيزيائية

أولى تربية إعدادي وثانوي قسم الفيزياء

اعداد

د/ خلف الله عمر قاسم

كلية العلوم – قسم الفيزياء

بصريات فيزيائية

المحتوى

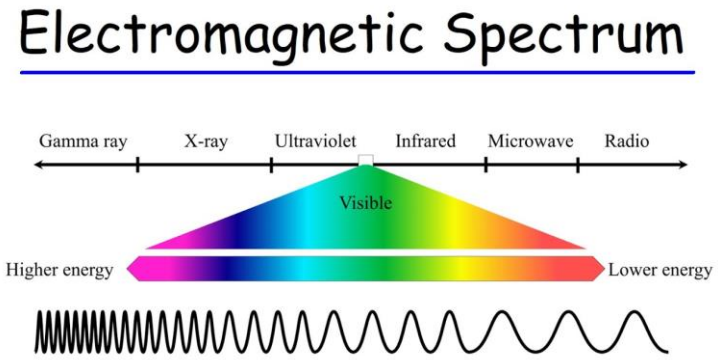
طبيعة الضوء	3
نشأة الأمواج الكهرومغناطيسية	4
الصفات العامة للضوء	5
قياس سرعة الضوء	6
النظرية الموجبة لهيجنز	9
التداخل	12
تداخل حركتين موجبتين:	12
تجربة ينج	13
تداخل الضوء بمنشور فرنل المزدوج	15
تغير زاوية الطور بالانعكاس	16
تداخل الضوء بالأغشية الرقيقة	17
حلقات نيوتن	19
حيود الضوء	22
حيود الضوء على حافة مستقيمة	23
محزوز الحيود المستوي	25
استقطاب الضوء	28
أنواع الضوء المستقطب	29
استقطاب الضوء بالانعكاس	32
الاستقطاب بالانكسار المزدوج	33
منشور نيكول ومقياس الاستقطاب	35
تمارين	37

الباب الاول

الضوء وطبيعته

ماهية الضوء:

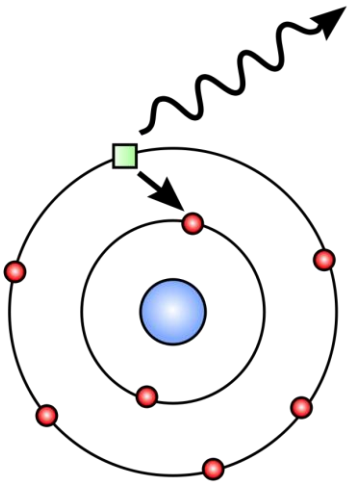
الضوء نوع من الطاقة كالطاقة الحرارية والكهربية. والأجسام المضيئة – كالشمس مثلاً– ترسل شعاعها لتتأثر به العين عن طريق مباشر أو عن طريق انعكاس تلك الأشعة على الأجسام. ويكون الضوء جزءاً من الطيف الكهرومغنطيسي، ويقع في منطقة بين الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء كما هو مبين بشكل رقم (1).



شكل رقم (1): الطيف الكهرومغنطيسي

نشأة الأمواج الكهرومغناطيسية

تنشأ الأمواج الكهرومغناطيسية عندما يثار إلكترون ذرة ما إلى مستويات طاقة أعلى ثم بعودته إلى مستواه الاصلي تنبعث الطاقة الزائدة على شكل كمات من الطاقة او فوتونات لتكون الطيف الكهرومغنطيسي كما بالشكل (2). وتتوقف طول موجة الفوتون المنبعث من الذرة على كمية الطاقة التي يحتويها الفوتون. وتقع امواج الضوء المنظور فيما بين اطوال الموجات 3000، 8000 أنجستروم حيث يحد هذه المنطقة من الطيف المنظور الإشعاع البنفسجي من ناحية الموجات القصيرة والإشعاع الاحمر من ناحية الموجات الطويلة.



شكل (2)

الصفات العامة للضوء

للضوء صفات عامة يمكن تلخيصها فيما يلي:

1- ينتقل الضوء بسرعة كبيرة تساوي 3×10^{8} متر / ث.

2- تتحرك فوتونات الضوء في خطوط مستقيمة وهي التي ستمثل بالأشعة.

3- لا يحتاج الضوء لوسط ناقل له إذ يمكن للفوتونات الإنتقال في الفراغ.

4- يمكن للضوء أن ينعكس على السطوح المصقولة كما يمكن له أن ينكسر عند إنتقاله من وسط إلى آخر.

5- للضوء طبيعة موجية ولذلك يمكن له أن يتداخل كما تظهر له ظاهرتا الحيود والاستقطاب وسيتم شرح ذلك فيما بعد.

6- لا يتأثر الضوء بالمجالات الكهربية أو المغنطيسية.

7- طاقة فوتون الضوء hf حيث f تردده، h ثابت بلانك ويرتبط التردد f بطول موجة الفوتون λ بسرعة الضوء بالعلاقة:

$$c = f\,\lambda$$

قياس سرعة الضوء:

لقد كان الاعتقاد قديماً أن سرعة الضوء لا نهائية نظرا لكبرها ولعدم امكان قياسها، إلى أن جاء رومر عام 1676 واجري اول محاولة ناجحة لقياس سرعة الضوء بطريقة فلكية استخدم فيها خسوف أحد اقمار كوكب المشتري. وبعد ذلك بما يقرب من مائتي عام، تمكن فيزو من قياس سرعة الضوء معملياً على الارض دون الاستعانة بظواهر فلكية.

يتركب جهاز العجلة الدوارة لفيزو (الشكل التالي) من مصدر قوي للضوء Source تتجمع أشعته بواسطة عدسة لامة L_1 حيث تسقط الأشعة المجمعة على مرآة نصف مفضضة تعكس الضوء ليتجمع عند نقطة توجد في بؤرة عدسة L_2. يخرج الضوء بعد ذلك حزمة متوازية لينتقل مسافة d (بضعة كيلو مترات) قبل أن يسقط على عدسة لامة أخرى L_3 تجمع الأشعة لتسقط عمودياً على مرآة مقعرة M فتنعكس الأشعة مقتفيه نفس المسار. وتتجمع مرة ثانية عند بؤرة العدسة L_2 وبعدها تسقط الأشعة على المرآة نصف المفضضة لتنفذ خلالها وتراها عين الراصد.

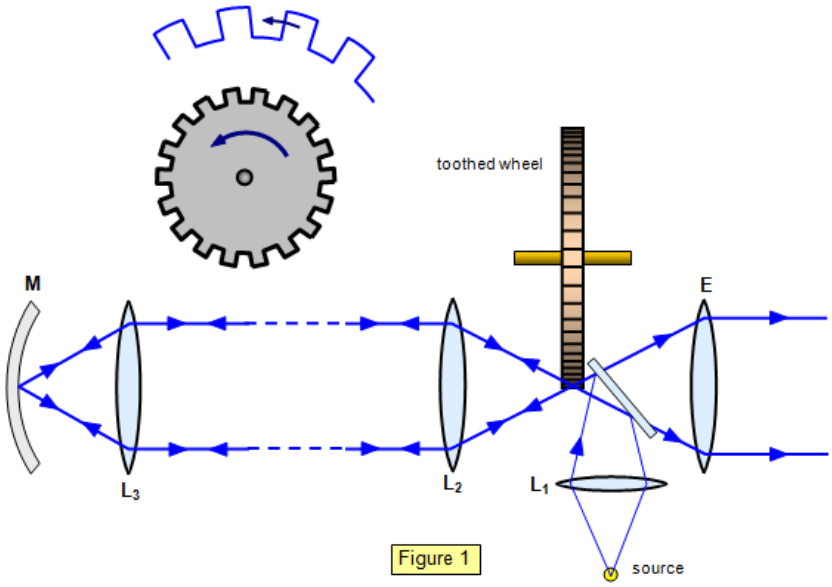


Figure 1

توضع عجلة مسننة في وضع رأسي عند بؤرة العدسة L_2 بحيث يمكن للأشعة الضوئية المرور بين أسنانها. كما يمكن إدارة العجلة حول محورها الأفقي. عند دوران العجلة تمر أسنانها واحدة تلو الأخرى على شعاع الضوء عند بؤرة العدسة L_2 وتوقف مروره لحظة وجود السن في طريق الأشعة ثم تعود الأشعة للمرور عندما لا يعترض سن طريقها. وعلى ذلك يرى الراصد صورة المصدر S بشكل متقطع وليس كضوء مستمر. وتستمر رؤية المصدر طالما مر الضوء من فتحة بين سنين في الذهاب ليجد ايضا فتحة بين سنين في الإياب بعد انعكاسه على المرآة M .

إذا زيدت السرعة الزاوية ω للعجلة تدريجيا نصل إلى درجة تختفي عندها صورة المصدر تماما بالنسبة للراصد وذلك عندما يقطع الضوء مسافة الذهاب بالإضافة إلى مسافة الاياب – أي

ضعف المسافة d في زمن انتقال السن التالي للفتحة التي مر منها الضوء في الذهاب ليقطع الضوء ويمنع وصوله للعين في رحلة العودة.

وإذا زيدت السرعة لتصبح ضعف ذلك القدر نجد أن الضوء يعود ثانية للظهور بوضوح اذ تحل الفتحة التالية محل الفتحة الاولي في زمن قطع الضوء مسافة 2d .

ولإيجاد زمن قطع الضوء لهذه المسافة نفرض أن عدد الاسنان في العجلة الدوارة m سناً، وأن السرعة الزاوية للعجلة هي: $\omega = 2\pi n$، حيث n عدد دوراتها في الثانية. أي أن زمن الدورة الكاملة هو $\frac{1}{n} = t$ ثانية. يوجد عدد m من الأسنان ومثله من الفتحات أي أن عدد الأسنان والفتحات 2m. فإذا كان زمن الدورة t يكون زمن انتقال سن ليحل محل فتحة هو $\frac{t}{2m}$ ويقابل هذا الزمن الانتقال من حالة الرؤية الكاملة الوضوح للمصدر إلى حالة عدم رؤيته واختفائه تماما. أما إذا اعتبرنا حالة تناوب الرؤية الواضحة للمصدر يكون الزمن بين رؤيتين واضحتين هو ضعف الزمن السابق.

استخدم فيزو عجله ذات 720 سناً، ووجد أن أول اختفاء لصورة المصدر تحدث عندما تكون عدد دورات العجلة 12.6 دورة في الثانية. وكانت المسافة بين القرص الدوار والمرآة M هي 8633 مترا.

وعلى ذلك يكون زمن انتقال سن العجلة محل الفتحة التالية هو:

$$\frac{1}{(2 \times 720 \times 12.6)}$$

ويكون ذلك هو نفس زمن انتقال الضوء ضعف المسافة بين القرص الدوار والمرآة M

وعلى ذلك تكون سرعة الضوء c هي المسافة على الزمن أي أن:

$$c = \frac{2d}{\left(\frac{1}{2nm}\right)} = 4dnm$$

$$= 4 \times 8633 \times 12.6 \times 720$$

$$= 3.1 \times 10^8 m/s$$

وهى قيمة تفوق بقليل القيمة المعتمدة حاليا 299.792.458 مترا في الثانية.

وبعد تجربة فيزو أجريت العديد من التجارب الاكثر دقة لتعيين سرعة الضوء اهمها تجربة فوكو وتجربة ميكلسون.

النظرية الموجبة وطبيعة الضوء:

كان المعتقد قديما أن الضوء يتكون من سيل من الجسيمات الدقيقة تخرج من المصدر وتسير في خطوط مستقيمة كما أنها لها القدرة على النفاذ خلال الاجسام الشفافة

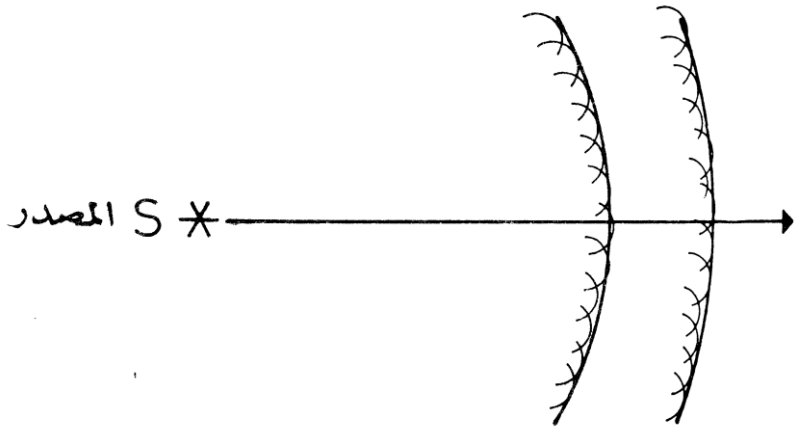
والانعكاس على السطوح المصقولة. وقد أمكن بواسطة النظرية الجسيمية التي وضعها نيوتن من تفسير بعض ظواهر الضوء المعروفة مثل انعكاس الضوء وتساوي زاوية السقوط بزاوية الانعكاس، كما فسرت ظاهرة الانكسار ولكنها عجزت عن تفسير ظاهرة التداخل التي يمكن مشاهدتها بسهولة لو أحضرنا قطعة من الورق الأسود وأحدثنا بها ثقبين متقاربين البعد بينهما صغير ثم وضعنا خلفهما مصدر ضوء وأمامهما على بعد يقرب من مترين حائل. فإننا نري هدبا مضيئة ومعتمة على التعاقب.

وقد فشلت أيضاً النظرية الجسيمية في تفسير حيود الضوء عن المسار في خطوط مستقيمة عندما تمر بأحرف مستقيمة لحاجز معتم وكذلك فشلت في تفسير ظاهرة استقطاب الضوء عند مروره في بعض المواد المتبلورة الشفافة.

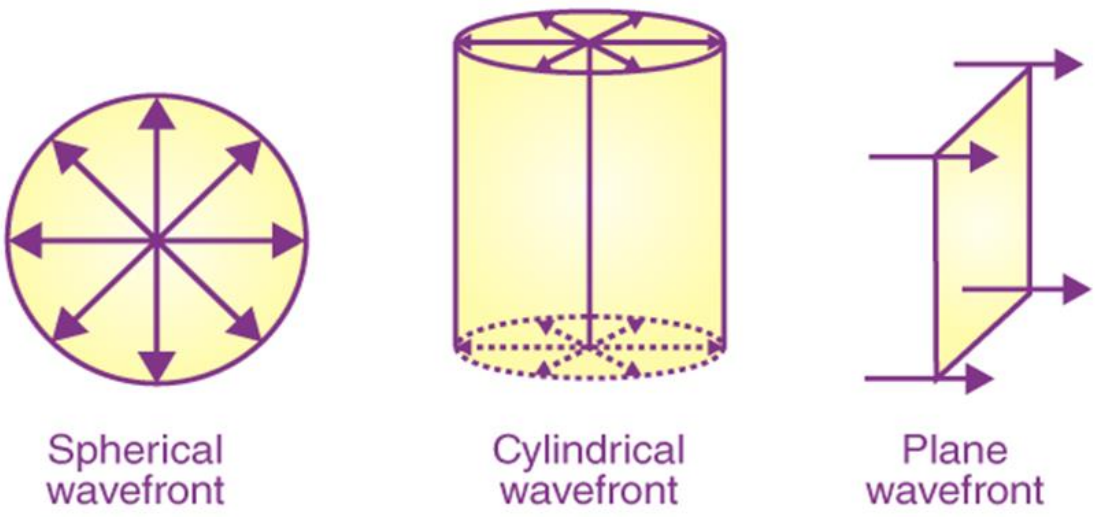
وضع هيجنز النظرية الموجبة للضوء وفيها فرض أن الضوء ينتشر من المصدر على شكل أمواج مركزها الجسم المضيء ويختلف لون الضوء تبعا لاختلاف طول هذه الأمواج وشبه انتشار الموجات الضوئية من المصدر بانتشار التموجات التي تنشأ في الماء عند سقوط جسم صغير فيه. إذ تنتشر على شكل دوائر متحدة المركز يمثل كل منها صدر الموجة عند لحظة معينة. وفرض هيجنز أن كل نقطة على صدر الموجة تعمل هي الأخرى كمصدر ثانوي يرسل

مويجات كرية في جميع الاتجاهات في الوسط ويكون السطح المغلف لجميع هذه المويجات هو صدر الموجة، ويسمي الخط العمودي على صدر الموجه بالشعاع ويعين اتجاه انتشار الضوء.

(الشكل التالى)



ويكون صدر الموجة كريا عندما يكون المصدر نقطيا، ويكون اسطوانيا عندما يكون المصدر خطيا كما يكون مستويا عند انبعاث الضوء من سطوح مستوية.



الباب الثاني

التداخل

تداخل حركتين موجبتين:

عندما أعلن هيجنز نظريته الموجبة في الضوء، اعتبر أن الضوء حركة موجية تنتشر بسرعة كبيرة منتظمة في الوسط. وتشبه انتشار الامواج من المصدر كانتشار التموجات على سطح ماء ساكن عند سقوط جسم فيه، حيث تنتشر هذه التموجات على شكل دوائر مركزها موقع سقوط الجسم.

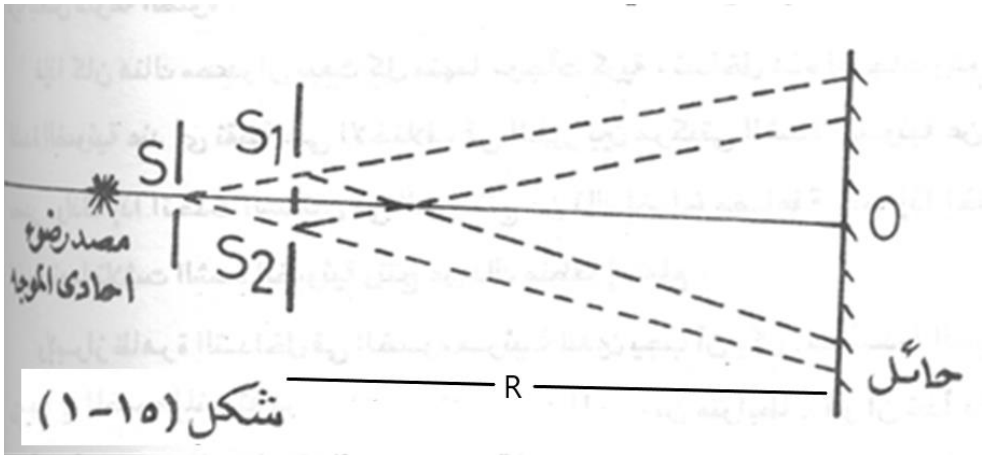
وقد عرف هيجنز صدر الموجة عند لحظة معينة، بأنها السطح الكروي الذي يحيط بالمصدر الضوئي، والذي يغلف جميع النقط التي لها نفس الطور من الحركة الموجبة. كما فرض ان كل نقطة من صدر الموجة يمكن اعتبارها مركزاً موجياً ثانوياً تنتشر منه مويجات كرية بنفس سرعة الضوء.

فإذا كان هناك مصدران يبعث كل منهما موجات كرية، تتداخل هذه الموجات وتتوقف الشدة الضوئية عند أي نقطة على الاختلاف في الطور بين مركبتي الشدة الضوئية عن كل مصدر. ولذلك إذا اتحدت الشدتان في الطور نتج عن ذلك إضاءة مضاعفة، أما إذا اختلف الطور بينهما تلاشت الشدة الضوئية ونتج عن ذلك منطقة إعتام.

ولإبراز ظاهرة التداخل في الضوء بطريقة مرئية للعين يجب أن يكون مصدرا الضوء مترابطين. ومعني ان تكون أمواج الضوء المنبعثة من المصدرين مترابطة، هو أن تبدأ دائما متحدة في الطور ولذلك يستحيل إظهار التداخل باستخدام مصدرين منفصلين للضوء، إذ أن من الصفات الاساسية للمتذبذب الذري الذي يبعث الفوتونات الضوئية أن يغير طوره باستمرار وبشكل عشوائي، ولذلك لكي نضمن أن نحصل على موجتين ضوئيتين مترابطتين صادرتين من نقطتين مختلفتين يجب ان نبدأ بمصدر ضوئي واحد، ثم نقسم شعاعه إلى جزئين يتخذ كل منهما مسارا خاصا ثم يلتقيان ثانية عند نقطة واحدة. وتتوقف الشدة الضوئية عندئذ على الفرق في طول المسار الذي اتبعه كل منهما. فإذا كان الفرق في المسار عددا صحيحا من طول الموجة كان التداخل بناءا أي تكون الشدة الضوئية مضاعفة، أما إذا كان الفرق في المسار عددا فرديا من انصاف طول الموجة، كان التداخل هداما أي تتلاشي الشدة الضوئية وتظهر منطقة إعتام عند هذه النقطة.

تجربة ينج:

أجرى توماس يونج تجربة لتداخل الضوء. تعتبر أول تحقيق عملي للنظرية الموجية التي وضعها هيجنز عن طبيعة الضوء. استخدم فيها شقا ضيقا مستطيلاً S في حاجز يوضع خلفه مصدر ضوئي احادي اللون مثل لهب الصوديوم. ويوضع أمام هذا الشق S شقان مستطيلان S_1&S_2 في وضع يوازي الشق الأول S شكل (15−1). نفرض أن المسافة بين الفتحتين S_2&S_1 هي d وأنهما يبعدان مسافة R عن الحائل الذي تسقط عليه الأشعة الصادرة عن الفتحتين.



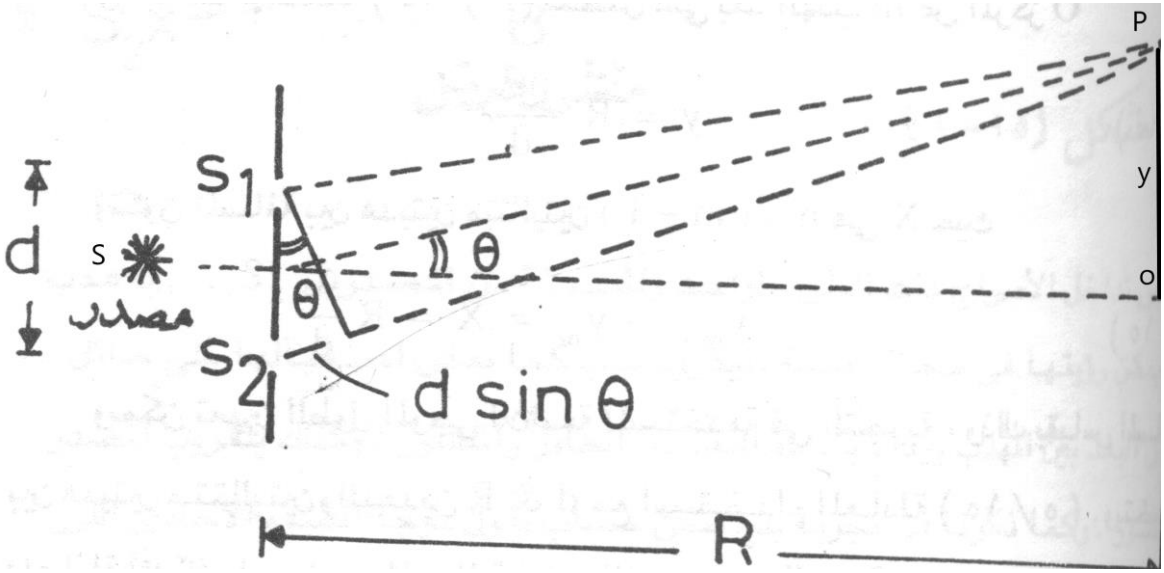
شكل (١٥-١)

تظهر على هذا الحائل خطوط مضيئة, وأخرى مظلمة توازي الفتحتين S_2, S_1 وقد سميت هذه الخطوط بهدب التداخل. وقد لاحظ يونج انه بقفل أي من الفتحتين، لمنع مرور الضوء منها تختفي في الحال الخطوط المظلمة وتظهر الإضاءة على الحائل منتظمة تماما. والنتيجة المستخلصة من ذلك ان إضافة الضوء على الضوء يمكن ان تحدث ظلمة وهذا مالا تستطيع أبدا تفسيره النظرية الجسيمية للضوء التي سبق ان وضعها نيوتن والتي تعتبر الضوء مكونا من جسيمات صغيرة تسير بسرعة كبيرة يمكن لها ان تنعكس على الأجسام وان تنكسر في الأوساط المختلفة.

وتفسير ظهور هدب التداخل – استنادا إلى النظرية الموجبة – هو وجود مواضع على الحائل تلتقي فيها قمة موجبة صادرة من S_1 مع أخرى صادرة من S_2 فتحدث إضاءة عظمى، بينما توجد مواضع أخرى تلتقي فيها قمة مع قاع فتحدث ظلمة نتيجة لذلك.

ترتبط المسافات بين هدب التداخل بطول موجة الضوء المستخدم ولتكن λ ولإيجاد هذه العلاقة نعتبر الرسم في شكل (15−2). ونفرض أن المسافة بين الفتحتين S_2, S_1 هي d وأن بعد

الحائل عنهما R وأن P هي نقطة على الحائل في اتجاه يصنع زاوية θ مع خط التماثل OS يوجد عند النقطة P أحد الهدب ويبعد مسافة y عن النقطة O.



تبدأ مويجات الضوء الصادرة عن الفتحتين S_2, S_1 مترابطة – أي – متحدة في الطور, ولكن عندما تنتشر وتصل إلى النقطة P لن تظل كذلك, بسبب وجود فرق في طول المسار وهو $(S_2P - S_1P)$. ومن هندسة شكل (15–2) يساوي هذا الفرق في المسار $d\ sin\theta$.

تحدث تقوية للضوء, ويظهر هدب مضيء إذا كان $d\sin\theta$ مساويا لعدد صحيح من طول موجة الضوء λ ، وليكن $m\lambda$ حيث m تأخذ القيم الصحيحة للأعداد أي أن $m = 0,1,2,3,\ldots$ أي أن شرط حدوث هدب مضيء هو

$$d\ sin\theta = m\lambda \qquad (1)$$

ويكون الهدب المضيء في المركز عند النقطة O هو الهدب المقابل لقيمة $m = 0$ في معادلة (1/15)

وعندما نعتبر الهدب رقم m بعيدا عن المركز O يكون بعده عن O هو:

$$y = R\,tan\,\theta \qquad (2)$$

ولكن نظرا لان الزاوية θ تكون دائما صغيرة جداً, لذلك يمكن اعتبار $tan\,\theta \cong sin\,\theta$ وبذلك تصبح معادلة (2/15)

$$y = R\,sin\,\theta \qquad (3)$$

وباستخدام معادلة (1/15) نحصل على بعد الهدب m عن المركز O

$$y = R\frac{m\lambda}{d} \quad (4)$$

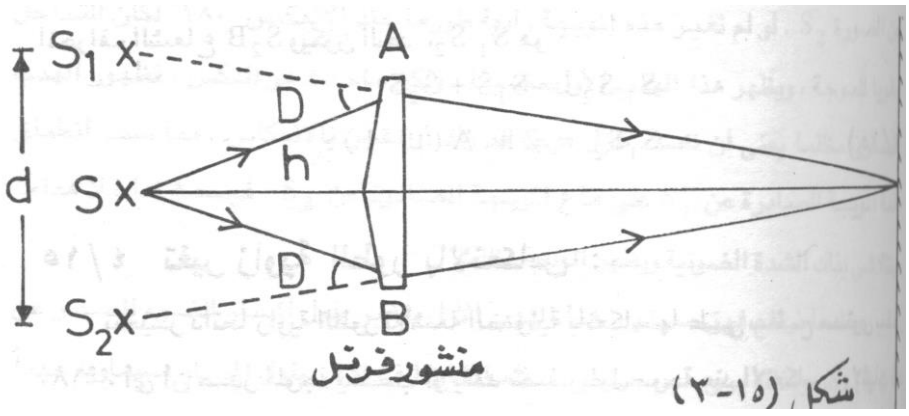
وتكون المسافة بين هدبتين متتاليتين $m, (m+1)$ هي X حيث

$$y_{m+1} - y_m = X = R\frac{\lambda}{d} \quad (5)$$

ويمكن تعيين الطول الموجي للأشعة المستخدمة في التجربة وذلك بقياس المسافة X بين هدبتين متتاليتين والبعدين $d\&R$ مع استخدام المعادلة (5/15) ويتضح من المعادلة أنه كلما صغرت المسافة d بين الفتحتين S_1, S_2 كلما كبرت المسافة X بين الأهداب وذلك مما ييسر رؤيتها. وتكون المسافة $d = 1$ عادة كما يستخدم في تجربة ينج عينية ميكروسكوب، توضع على امتداد محور الجهاز وهو الخط OS ويستغنى عندئذ عن الحائل.

تداخل الضوء بمنشور فرنل المزدوج:

لكي يثبت فرنل أن حيود الضوء على الفتحات في تجربة يونج ليس هو سبب تداخل الضوء وظهور الهدب استخدم للحصول على مصدرين ضوئيين مترابطين منشورا مزدوجا يعرف باسمه ويتكون من منشورين رقيقين متحدي القاعدة يوضع مصدر الضوء S أمامهما فتتكون له صورتان $S_1 \& S_2$ ناتجتان من انكسار الأشعة في المنشورين كما في شكل (15-3).



وينشأ عن تداخل الامواج ذات الطور الواحد والمنبعثة من المصدرين S_1, S_2 هدب تداخل يمكن رؤيتها في مجال عينية الميكروسكوب كما يمكن استقبالها على حائل. ويلاحظ ان البعد بين الهدب يزداد بزيادة البعد بين الحائل والمنشور وكذلك بتقريب المصدر S من المنشور. وكما ذكرنا في تجربة ينج يمكن حساب طول موجة الضوء الاحادي اللون المستخدم في معادلة (15-5) حيث تكون المسافة d في هذه الحالة هي البعد بين الصورتين التقديريتين $S_1 \& S_2$ للمصدر S.

ويمكن ايجاد هذه المسافة باستخدام عدسة لامة توضع بين المنشور والحائل وبتحريك العدسة حتي الحصول على صورة مكبرة واضحة للمصدرين S_1,S_2 ويقاس بعد الجسم وبعد الصورة عن العدسة وكذلك طول الصورة. وبذلك يمكن حساب التكبير للعدسة وهو بعد الصورة مقسوما على بعد الجسم. ثم بمعرفة التكبير وطول الصورة نوجد طول الجسم وهو البعد d بين S_1,S_2 ويساوي عندئذ طول الصورة مقسوما على التكبير.

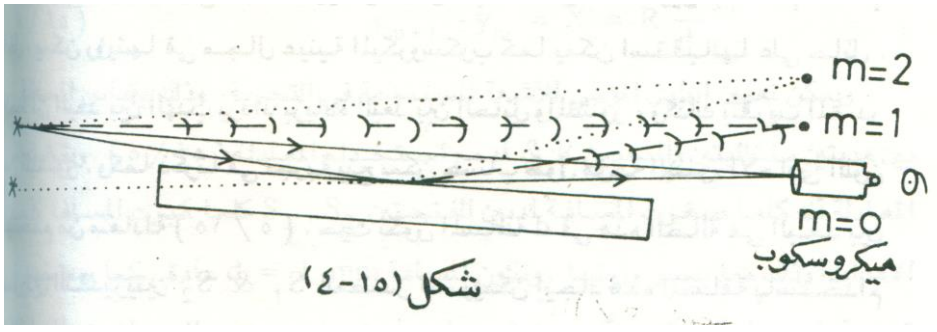
وهناك طريقة اخري لتعيين المسافة بين S_1,S_2 بمعرفة بعد المصدر عن المنشور h وزاوية رأس المنشور A ومعامل انكساره μ. الانحراف الحادث في الشعاع S_1A بمروره في المنشور هو D، حيث $D=A(\mu-1)$ من قانون المنشور الرقيق، وبإعتبار الزاوية صغيرة تكون $D=(S_1S/h)$ تقريبا. كذلك تكون $D=(S_2S/h)$ باعتبار انحراف الشعاع S_2B ويكون البعد S_1S_2 هو:

$$S_1S_2=S_1S+S_2S$$

$$\therefore S_1S_2=2h\cdot A(\mu-1) \qquad (6)$$

تغير زاوية الطور بالانعكاس:

تتغير دائما زاوية الطور للأشعة الضوئية بانعكاسها على سطح مستوي بمقدار 180^o أي أن صدر الموجة يكتسب أو يفقد نصف طول موجة عند الانعكاس. ولإثبات ذلك نستخدم مرآة لويد وهي عبارة عن سطح زجاجي مفضض من الخارج حتى يعكس الضوء مباشرة عند السقوط عليه دون انكساره في الخارج، كما في شكل (15-4).



شكل (١٥-٤)

S_1 مصدر ضوء احادي اللون يتكون له بالانعكاس على سطح المرآة صورة تقديرية S_2 يكون المصدر S_1 وصورته S_2 مصدرين مترابطين للضوء أي ان موجاتهما يكون لها نفس الطور.

يتكون نتيجة لتداخل ضوء المصدرين أهداب تداخل يمكن رؤيتها في عينية ميكروسكوب ويمكن اظهارها على حائل.

ترى أهداب التداخل في نصف مجال الرؤية فقط في الميكروسكوب كما يرى الهدب الأول (يسمى الهدب الصغرى $m = 0$) مظلماً.

تكون الهدب الصغرى من مويجتين مترابطتين تصلان عينية الميكروسكوب احداهما بطريق مباشر من المصدر S_1 والثانية بعد انعكاسها على السطح وظهورها وكأنها صادرة من الصورة S_2 لو لم تغير هذه المويجة زاوية طورها عند الانعكاس 180^o لكان التداخل مقويا للموجة ويظهر هذا الهدب الأول مضيئا ولكن ما حدث هو العكس فظهور الهدب الصغري مظلما يعني ان نصف طول موجة قد زاد او نقص بالانعكاس مما سبب انطباق قمة المويجة الصادرة عن S_1 على قاع المويجة الصادرة عن S_2 فيحدث تداخلا هداما وتتلاشي بذلك الشدة الضوئية ويظهر الهدب مظلما.

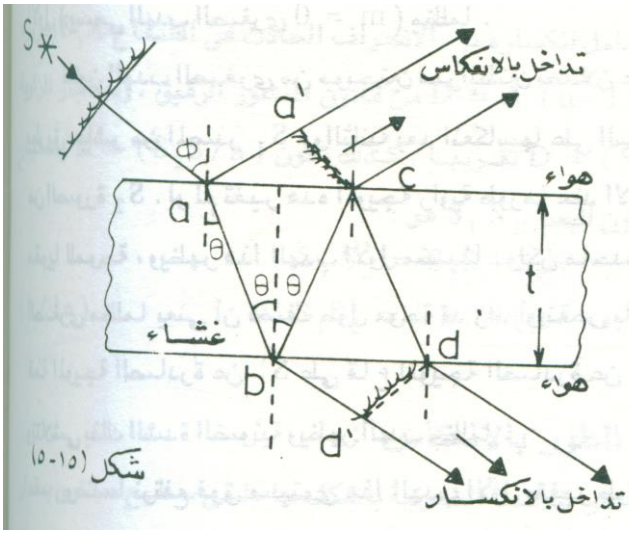
وعندما نرتفع فوق مستوي هذا الهدب الأول يتغير طول المسار للضوء الصادر عن $S_2 \& S_1$ وبذلك يرى هدب مضيئ كلما كان الفرق في طول المسار مساويا عددا صحيحا من أنصاف طول الموجة $\left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$.

ويجب ملاحظة انه إذا حدث انعكاس الضوء انعكاسا كليا كالذي يحدث عند سقوط الضوء من وسط كثيف (معامل انكساره كبير) على وسط خفيف (معامل انكساره أقل) لا يحدث تغير في زاوية طور الموجة.

تداخل الضوء بالأغشية الرقيقة:

اعتبر غشاء رقيقا كالمبين في شكل (15-5) معامل انكساره μ ونفرض S مصدرا ضوئيا أحادي اللون يرسل حزمة ضوئية في اتجاه Sa تسقط على الغشاء بزاوية سقوط ϕ. ينعكس بعض الضوء عند a بينما ينكسر جزء منه ولتكن زاوية الانكسار θ. يسقط الشعاع المنكسر على السطح الثاني للغشاء عند النقطة b فينعكس بعضا منه إلى c, وينكسر البعض الآخر ويخرج ثانية إلى الهواء وهكذا يحدث عند النقط $d \& C$. يتكون إذن شعاعان في كل جانب من الغشاء يوجد بينهما فرق في الطور –أي– في طول المسار. ولما كان الشعاعان صادرين عن نفس المصدر لذلك يكونان مترابطين ويمكن أن يحدث بينهما تداخل مرئي.

يحدث بينهما تداخل مرئى .



شكل (١٥-٥)

بالنسبة للتداخل الذي يحدث بالانعكاس يمكن حساب الفرق في طول مسار الشعاع المنعكس مباشرة عند a. والشعاع الذي مر داخل الغشاء وخرج ثانية عند c. صدر الموجة المنعكس هو $a'c$. فرق المسار لشعاع الضوء المار بالنقطة a' وبين الشعاع المار بالنقطة c يساوي $\left[\mu(ab+bc)-aa'\right]=\delta$ حيث قطع الضوء المسافتين bc,ab داخل الغشاء بينما كان المسار aa' في الهواء.

من هندسة الشكل وباعتبار أن t هو سمك الغشاء يكون:

$$aa' = ac\sin\phi = 2t\tan\theta\sin\phi$$

$$ac = 2t\tan\theta$$

$$ab = bc = t/\cos\theta$$

$$\delta = \frac{2nt}{\cos\theta} - 2t\tan\theta\sin\phi$$

لكن $\mu = \frac{\sin\phi}{\sin\theta}$ وبذلك يكون الفرق في طول المسار δ هو

$$\delta = \frac{2nt}{\cos\theta} - \frac{2\mu t\sin^2\theta}{\cos\theta}$$

$$\delta = 2\mu t\cos\theta \qquad (7)$$

ولكن – نظرا لانعكاس الضوء على السطح عند a– يحدث تغير في الطور بمقدار 180^{o} وهذا التغير يناظر فرقاً في المسار بمقدار نصف طول موجة أي $\frac{\lambda}{2}$. وعلى هذا يكون فرق المسار بين الشعاعين هو:

$$\delta = 2\mu t\cos\theta - \frac{\lambda}{2}$$

وشرط أن يكون التداخل بين الشعاعين بناء أي لكي تحدث إضاءة عظمى هو أن يكون طول المسار مساويا لعدد صحيح من طول الموجة أي يكون $\delta = m\lambda$ حيث m أعدادا صحيحة $\ldots, 2, 1, 0$

$$2\mu t \cos\theta - \frac{\lambda}{2} = m\lambda$$

أي أن شرط التداخل البناء هو:

$$2\mu t \cos\theta = \left(m + \frac{1}{2} \right)\lambda \qquad (8)$$

كما أن شرط التداخل الهدمي هو:

$$2\mu t \cos\theta = m\lambda \qquad (9)$$

عندما تسقط الأشعة عمودية على الغشاء تكون الزاوية $\theta = 0$ وتكون $\cos\theta = 1$ وتعدل بذلك معادلتي (8/15) , (9/15) في هذه الحالة.

أحيانا يظهر لون الغشاء اسود إذا كان سمكه اقل من طول الموجة الساقطة عليه أي يكون فرق طول المسار $2\mu t \cos\theta$ صغيراً ولا يبقي سوى فرق الطور بمقدار نصف طول موجة وهذا يعطي تداخلا هدميا يسبب ظهور لون الغشاء معتما.

وإذا سقط ضوء ابيض على الغشاء تنعكس عليه جميع الامواج فيما عدا تلك التي لها طول موجي λ يحقق المعادلة (9/15) أي التي يكون فرق المسار لها عددا صحيحا من طول الموجة. وعلى ذلك يري للغشاء لون منتظم يتوقف على سمك الغشاء t, وبالتالي على أية ألوان قد اختفت نتيجة للتداخل الهدمي.

يمكن أن يحدث تداخل بالانكسار إذا نفذ خلال الغشاء كل من الشعاعين ab, cd شكل (15−5) , ليكونا صدر الموجة dd^1 ويمكن اثبات أنه يحدث تداخل بناء إذا كان:

$$2\mu t \cos\theta = m\lambda \qquad (10)$$

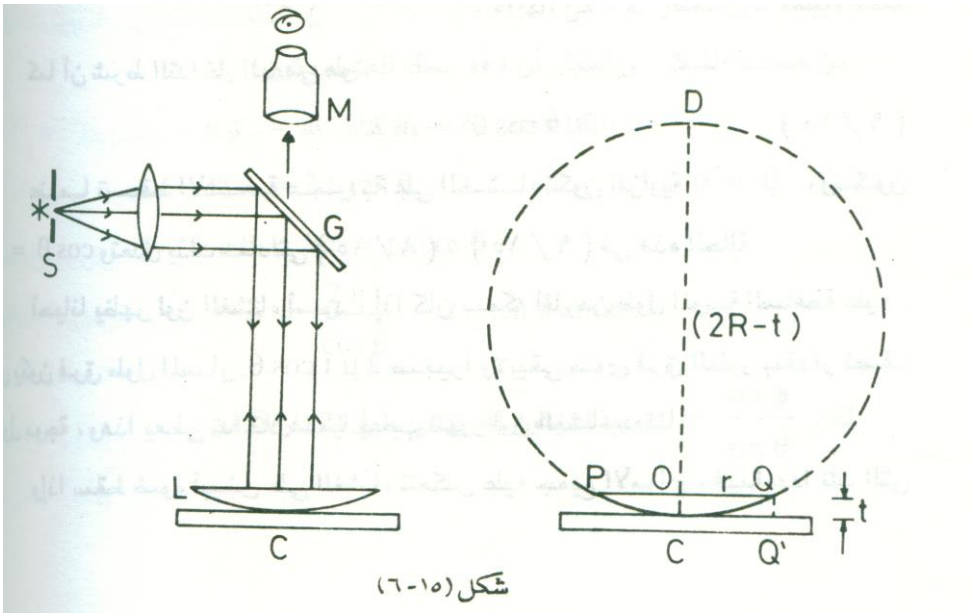
حيث $m = 0, 1, 2, 3, \ldots$

ويحدث تداخل هدمي إذا كان:

$$2\mu t \cos\theta = \left(m + \frac{1}{2} \right)\lambda \qquad (11)$$

حلقات نيوتن:

اكتشف نيوتن حلقات تداخل تعرف الآن باسمه تكونت عن مرور ضوء أحادي اللون خلال غشاء رقيق متغير السمك من الهواء نتج عن وضع عدسة محدبة مستوية نصف قطر تكور سطحها المحدب كبير جدا على سطح مستو من الزجاج كما في شكل (15–6).



شكل (١٥-٦)

ينحصر بين العدسة والسطح المستوي غشاء هوائي رقيق يكون سمكه صفرا عند نقطة تلامس سطح العدسة المحدب بالسطح المستوي ويزداد سمك غشاء الهواء تدريجيا كلما بعدنا عن نقطة التلامس C.

ولإظهار حلقات التداخل يستخدم عادة لهب صوديوم كمصدر ضوئي S أحادي اللون يوضع خلف حائل به ثقب عند بؤرة عدسة فتخرج منها حزمة من الأشعة المتوازية تسقط على لوح زجاجي رقيق نصف مفضض G يعكس بعضا من الأشعة لتسقط على العدسة L رأسيا إلى اسفل فتمر خلال غشاء الهواء الذي تحصره بينها وبين لوح الزجاج المستوي الذي تنعكس عليه الأشعة لتري داخل عينية الميكروسكوب M على هيئة حلقات مضيئة متحدة المركز تحصر بينها حلقات مظلمة ويكون مركز هذه الحلقات هو نقطة تلامس العدسة L مع السطح المستوي عند C حيث يوجد تداخل هدمي ليظهر مركز هذه الدوائر مظلماً.

اعتبر الآن غشاء الهواء عند نقطة مثل Q أسفل سطح العدسة يرتد جزء من الأشعة الساقطة على السطح الداخلي للعدسة بينما يمر الجزء الاخر خلال غشاء الهواء حيث ينعكس

على السطح المستوي عند Q'. يصل جزءا الشعاع للميكروسكوب ولكن مع وجود فرق في طول المسار بينهما يساوي ضعف سمك الغشاء الهوائي t عند هذه النقطة أي يساوي $2t$, وعلي ذلك نتوقع حدوث تداخل بناء مع ظهور حلقات مضيئة عندما تكون $2t = m\lambda$, حيث m عدد صحيح، λ طول موجة الضوء المستخدم كما نتوقع حدوث تداخل هدمي وتظهر حلقات مظلمة كما كان $2t = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$. ولكن يجب الاخذ في الاعتبار تغير طول الموجة بالانعكاس بمقدار يعادل نصف طول موجة لذلك يكون شرط تكون حلقة مضيئة هو:

$$2t = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad (12)$$

كما يكون شرط تكون حلقة مظلمة هو:

$$2t = m\lambda$$

ولقياس طول موجة الضوء λ بواسطة حلقات نيوتن نوجد هندسيا العلاقة بين نصف قطر حلقة التداخل r – والتي تكونت عند نقطة مثل Q حيث سمك غشاء الهواء تحتها t – ونصف قطر تكور سطح العدسة R, من شكل (15–6).

$$r^2 = t\left(2R - t\right)$$

$$r^2 \cong 2Rt \qquad (13)$$

وقد أهملنا t^2 حيث أنها كمية صغيرة من الدرجة الثانية.

وباستخدام معادلتي (11/15) , (12/15) نحصل على نصف قطر الحلقة المضيئة r:

$$\frac{r^2}{R^2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad (14)$$

أما إذا كانت الحلقة مظلمة فان نصف قطرها يعطى بالمعادلة:

$$\frac{r^2}{R^2} = m\lambda$$

فإذا اعتبرنا r_m & r_{m+s} هما نصفي قطري الحلقتين m & $(m+S)$ يكون:

$$\left(r^2_{(m+s)} - r^2_m\right) = RS\lambda \qquad (15)$$

وباستخدام ميكروسكوب يمكننا قياس قطر حلقة رتبتها m, وكذلك قطر الحلقة $(m+S)$ التي تبعد عن الحلقة m عدد S حلقات.

كما يمكننا تعيين بدقة كبيرة نصف قطر انحناء السطح السفلي للعدسة R وذلك بأي طريقة ضوئية كأن يستخدم هنا ضوء طول موجته λ معلومة، وبذلك يمكن تعيين طول موجة أي ضوء احادي اللون بإجراء تجربة حلقات نيوتن مع استخدام المعادلة (14/15).

مثال 1/15:

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

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.

الحل:

$$r^2_{(m+s)} - r^2_m = RS\lambda$$

$$\left(\frac{1.2}{2}\right)^2 - \left(\frac{0.8}{2}\right)^2 = 1000 \times 5 \times \lambda$$

$$\lambda = 0.4 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$\lambda = 4000 \text{ A}^\circ$$

ولإيجاد رتبة الحلقة نستخدم المعادلة:

$$r^2 = Rm\lambda$$

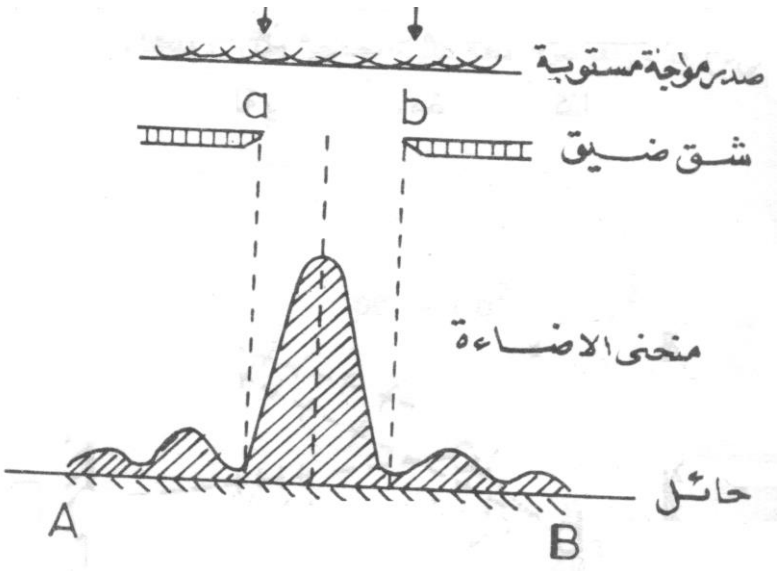
$$(0.8)^2 = 1000 \times m \times 0.4 \times 10^{-4}$$

$$m = 16$$

الباب الثالث

حيود الضوء:

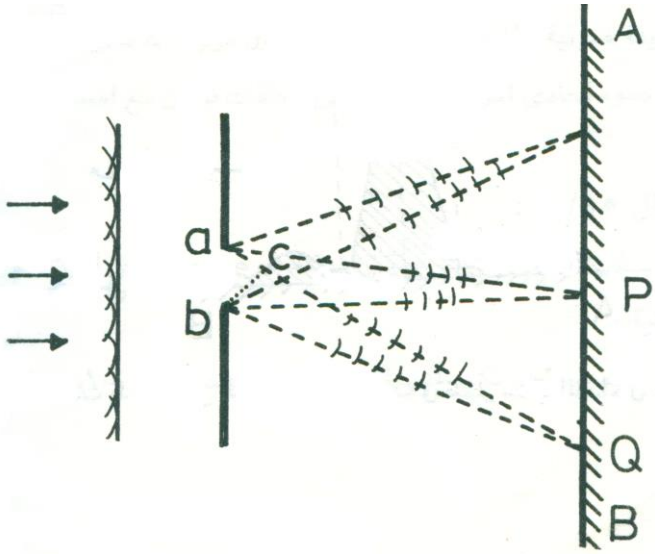
إذا سقطت موجة مستوية من ضوء أحادي اللون على شق ضيق في حاجز تتكون له صورة في الجهة الأخرى من الحافة وتظهر عند حدود الصورة هدب تداخل بسبب حيود الضوء كما في شكل (15-7).



كما سبق أن ذكرنا يحدث تداخل في الضوء بين أمواجه وتظهر هدب التداخل, إذا كانت الأمواج مترابطة – أي- يكون لها نفس التردد ونفس السعة, كما تكون صادرة من نفس المصدر ولكنها اختلفت في طول المسار فقط. عند تطبيق ذلك في حالة الحيود نفرض نقطتين b,a على صدر موجة ساقطة على شق ضيق في حاجز. وفقا لنظرية هيجنز يمكن اعتبار كل من b,a كمصدري ضوء ثانويين يرسلان مويجات خلف الحاجز. تكون هذه المويجات مترابطة حيث انها نابعة اصلا من صدر موجة واحد ويكون لها نفس الطور لذلك فالضوء الذي يصل منها إلى أي نقطة على الحائل AB يمكن له أن يتداخل وتظهر لذلك هدب عند حافة الصورة للشق ويزداد وضوح هذه الهدب كلما ضاقت فتحة الشق ab.

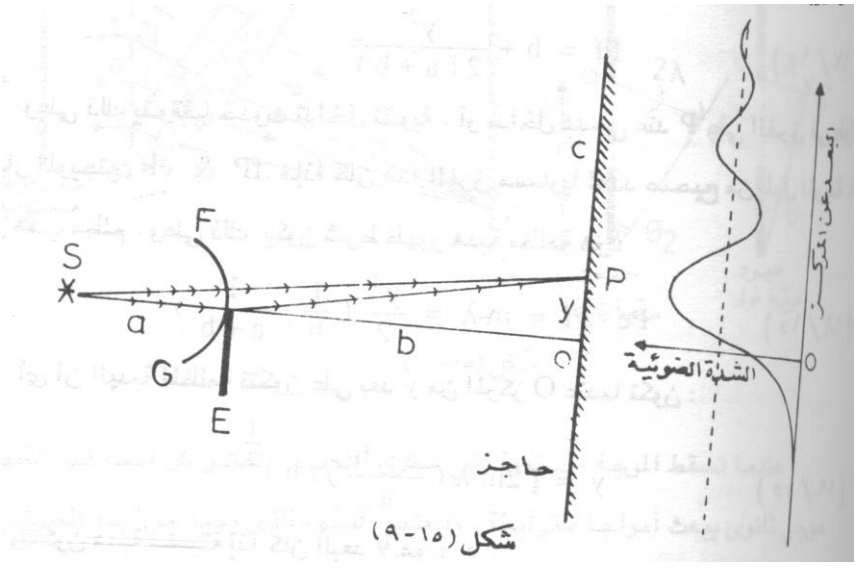
إذا اعتبرنا نقطة مثل P على الحاجز تكون على بعدين متساويين من حافتي الشق, b,a تصل المويجات من كل من الحافتين مترابطة وتكون قد قطعت نفس طول المسار. لذلك ينتج عن التداخل تقوية للضوء. أما إذا ابتعدنا عن النقطة P إلى Q مثلا فإننا نجد أن المويجة التي تصل

من الحافة a تقطع مسارا أطول من تلك التي تصل من المسافة b، ويكون فرق طول المسار هو $(aQ-bQ)$ أي المسافة ac شكل (15−8). عندما يكون فرق طول المسار مساويا لنصف طول موجة $\frac{1}{2}\lambda$ من الضوء الساقط يحدث تداخل هدمي بين المويجات وينشأ عن ذلك هدب مظلم وإذا بعدنا أكثر عن النقطة P حتى يصير فرق طول المسار موجة كاملة يظهر هدب مضيء وهكذا.



حيود الضوء على حافة مستقيمة:

اعتبر حافة مستقيمة E يسقط عليها ضوء احادي اللون من مصدر ضوء S على هيئة شق يبعد عن الحافة بمسافة قدرها a ويوازيها ويوجد خلف الحافة حاجز c يستقبل الضوء ويبعد عن الحافة مسافة b كما في شكل (9/15).



شكل (١٥-٩)

لدراسة توزيع الشدة الضوئية على الحاجز c نعتبر موجة اسطوانية FG صادرة عن المصدر الخطي (الشق المضيء) S, ونفرض نقطة على الحاجز مثل P تبعد مسافة y عن المركز.

من هندسة الشكل

$$pe = \left(b^2 + y^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= b\left(1 + \frac{y^2}{b^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$pe \cong b\left(1 + \frac{y^2}{2b^2}\right) \qquad (16)$$

وبالمثل

$$PS = \left[(a+b)^2 + y^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$PS \cong (a+b) + \frac{y^2}{2(a+b)}$$

$$Pf = PS - a$$

ولكن

$$Pf = b + \frac{y^2}{2(a+b)} \qquad (17)$$

وعلى ذلك يتوقف حدوث تداخل تقوية او تداخل هدمي عند P على الفرق في طول مسار المويجتين $eP \,\&\, fP$. فإذا كان الفرق مساويا لعدد صحيح من طول الموجة λ ظهر هدب مظلم. وعلي ذلك يكون شرط ظهور هدبة مظلمة هو:

$$Pe - Pf = m\lambda = \frac{y^2}{2}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a+b}\right) \qquad (18)$$

أي أن الهدبة المظلمة تتكون على بعد y من المركز O عندما تكون:

$$y = \left[2m\lambda\left(\frac{a+b}{a}\right)\cdot b\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (19)$$

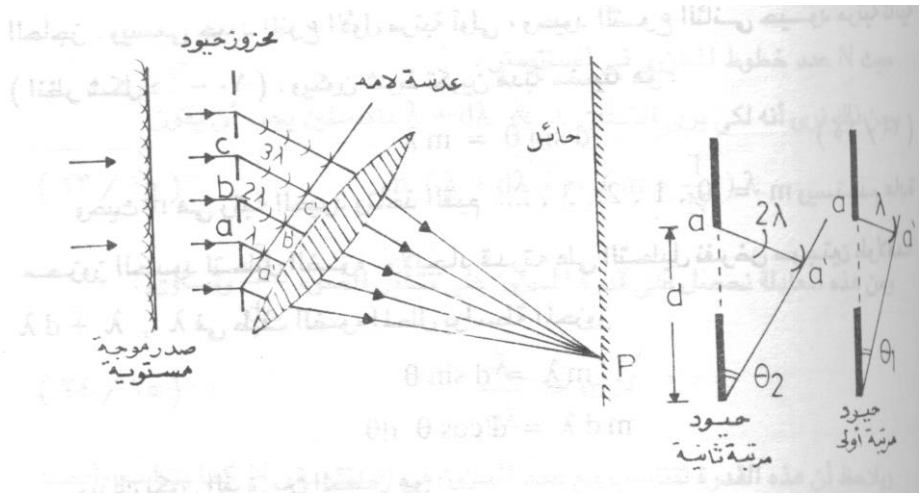
وتتكون هدبة مضيئة إذا كان البعد y هو:

$$y = \left[(2m-1)\lambda \cdot \frac{b}{a}(a+b) \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (20)$$

محزوز الحيود المستوي:

يتكون محزوز الحيود من شريحة مستوية من الزجاج, حز على أحد سطحيها خطوط مستقيمة ومتوازية بواسطة سن رقيق يمكن أن يخدش الزجاج ويبلغ عادة عدد هذه الحزوز بضعة آلاف خط في السنتيمتر. ويعمل محزوز الحيود على سطح به مجموعة من الفتحات الضيقة المتوازية المنفذة للضوء والتي تحدث على حوافها ظاهرة الحيود.

لدراسة الحيود على المحزوز اعتبر مصدرا للضوء أحادي اللون يبعث موجة مستوية تسقط على المحزوز في اتجاه عمودي عليه ونفرض ان الفرجة بين حزين متتالين هي d. شكل (15-10).



عندما تسقط الموجة المستوية على محزوز الحدود تعتبر كل فتحة فيه كأنها مصدر موجي ثانوي يبعث امواجا مترابطة ولنعتبر الضوء الذي يحيد من هذه المصادر الثانوية في الاتجاه الذي يصنع زاوية θ مع الاتجاه الاصلي للأشعة. تجمع العدسة L الأشعة عند نقطة P على حاجز ويحدث تداخل بين المويجات الصادرة عن النقط المختلفة من محزوز الحيود مثل $a,b,c,...$ ويتوقف نوع التداخل على اطوال المسارات aa', bb', cc'.

إذا كانت الزاوية θ تجعل طول المسار $aa' = \lambda,\ bb' = 2\lambda,\ cc' = 3\lambda$ وهكذا نجد أن الضوء يصل للنقطة P جميعه في نفس الطور, وبذلك يحدث تداخل تقوية للضوء ويظهر على

الحاجز هدبة مضيئة. أما إذا تغيرت الزاوية θ بقدر يسير بحيث لا تصل جميع الموجات للنقطة P في نفس الطور يحدث تداخل هدمي ويظهر على الحاجز هدبة مظلمة.

وإذا استمر تغيير الزاوية θ حتى نصل إلى وضع يكون فيه $aa' = 2\lambda,\ bb' = 4\lambda$ وهكذا يحدث مرة أخرى تداخل تقوية ويظهر هدبة مضيئة على الحاجز ويسمي حيود النوع الأول مرتبة اولي وحيود النوع الثاني مرتبة ثانية (انظر شكل15−10). ويكون شرط تكوين هدبة مضيئة هو:

$$d \sin\theta = m\lambda \qquad (21)$$

وحيث m هي رتبة الحيود وتأخذ القيم $m = 0,1,2,3,...$ ويستخدم عادة محزوز الحيود لتحليل الضوء. ولإيجاد قدرته على التحليل نفرض موجتين طولاهما $\lambda, \lambda + d\lambda$ في طيف الضوء المحلل بواسطة المحزوز

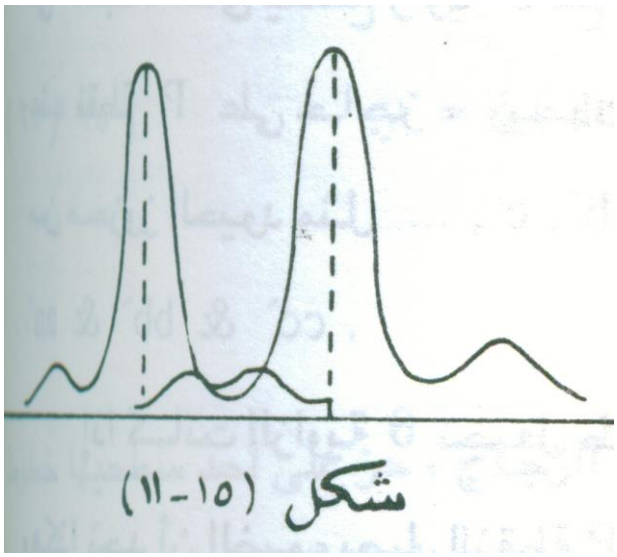
$$m\lambda = d \sin\theta$$
$$m d\lambda = d \cos\theta d\theta$$

وبذلك يكون الفرق بين الخطين هو:

$$d\theta = \frac{m}{d \cos\theta} d\lambda \qquad (22)$$

يسمي المقدار $(\frac{d\theta}{d\lambda})$ شدة تشتيت المحزوز للضوء.

يرى الخطان في الطيف منفصلين إذا انطبقت النهاية العظمى للأول على النهاية الصغري للثاني بالنسبة لنفس الرتبة كما في شكل (15−11). أي عندما تكون المسافة الزاوية بين الخطين اكبر من منطقة الاضاءة الحادثة بفعل النهاية العظمى لأي خطين.



شكل (١٥-١١)

إذا فرضنا أن الحيود في اتجاه θ يعطي نهاية عظمى للطول الموجي $\lambda + d\lambda$, فمن معادلة (21/15) يكون:

$$d \sin\theta = m(\lambda + d\lambda)$$

ولكي يكون اتجاه الحيود θ هو نفس نهاية صغرى بالنسبة للطول الموجي λ يكون:

$$d \sin\theta = \left(m + \frac{1}{N} \right)\lambda$$

حيث N عدد خطوط المحزوز في السنتيمتر.

ومن ذلك نرى أنه لكي يرى الخطان $\lambda + d\lambda \,\&\, \lambda$ منفصلين يجب أن يكون:

$$m(\lambda + d\lambda) = \left(m + \frac{1}{N} \right)\lambda \qquad (23)$$

ومن هذه المعادلة نحصل على قدرة المحزوز على تحليل الضوء $\frac{\lambda}{d\lambda}$ وتساوي:

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = mN \qquad (24)$$

ويلاحظ أن هذه القدرة تتناسب مع عدد الحزوز في السنتيمتر N كما تتناسب أيضا مع مرتبة طيف الحيود m.

مثال 2/15:

طول موجة خطي الصوديوم 5890 D-lines أنجستروم عندما استخدم محزوز حيود قدرته على التحليل الطيفي 1000، أمكن رؤية الخطين منفصلين. أوجد الفرق في طول الموجة لهما.

الحل:

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = mN = 1000$$

$$d\lambda = \frac{5890}{1000} \times 10^{-8}$$

$$= 5.89 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

مثال 3/15:

يسقط ضوء أحادي اللون $(\lambda = 5893A^\circ)$ عمودياً على محزوز حيود فظهر طيف حيود المرتبة الأولى على جانبي العمودي وبينهما زاوية $27{,}42'°$ أوجد عدد الخطوط في السنتيمتر للمحزوز.

الحل:

$$\theta = \frac{1}{2}(27°42') \;\; \& \;\; m = 1$$

$$d \sin\theta = \lambda$$

$$d = \frac{\lambda}{\sin\theta} = \frac{5893 \times 10^{-8}}{\sin 13°51'}$$

$$N = \frac{1}{d} = \frac{\sin 13°51'}{5893 \times 10^{-8}}$$

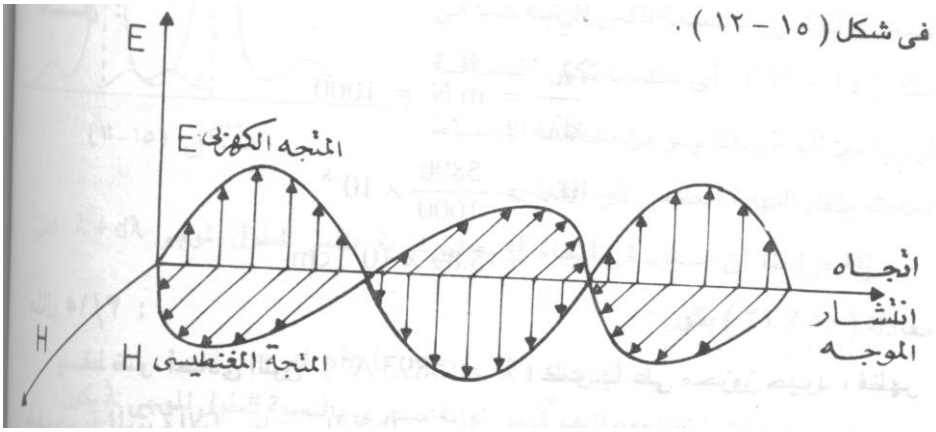
$$N = 4060 \;/\; \text{cm}$$

أي أن عدد الخطوط 4060 حزا في السنتيمتر.

الباب الرابع

استقطاب الضوء:

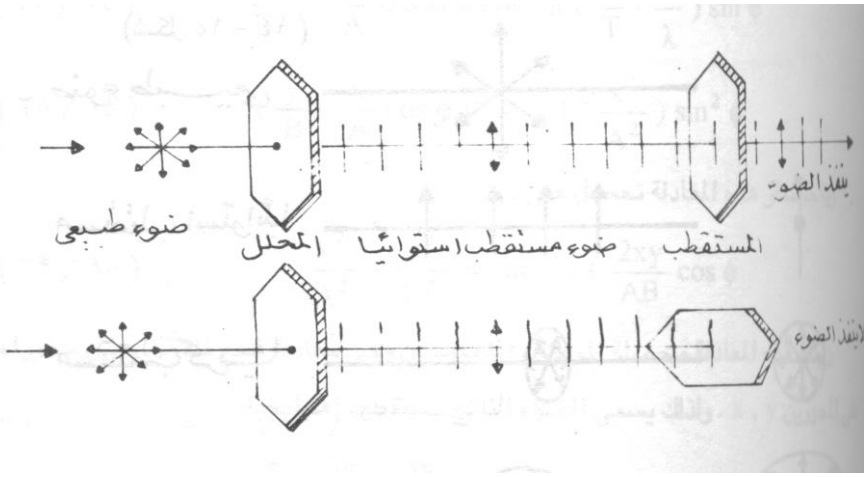
الاستقطاب ظاهرة ضوئية بحتة لا تحدث في الصوت او الموجات الميكانيكية ذات الاهتزاز الطولي. ومن المعروف ان الضوء ينتشر نتيجة لحركة موجية مستعرضة نتيجة لتغيرات دورية لمجالين أحدهما كهربي E والثاني مغنطيسي H يعمل كل منهما في اتجاه عمودي على الاخر، والاثنان يعملان في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة كما هو مبين في شكل (15-12).



يتغير كل من المتجهين الكهربي والمغنطيسي جيبيا مع الزمن كما انهما يكونان دائما في طور واحد أي أنه عندما يكون للمتجه الكهربي قيمة عظمى يكون أيضا للمتجه المغنطيسي قيمة عظمى وهكذا.

يمكن لبعض البلورات مثل التورمالين أن تمتص جميع الاهتزازات ماعدا تلك التي تحدث في مستوي واحد معين. ويسمي الضوء المار في البلورة بضوء مستقطب استوائيا إذ أن الذبذبات تحدث في مستوي واحد يسمي مستوي الاستقطاب. ويتحدد ذلك المستوي باتجاه انتشار الموجة والمحور الضوئي للبلورة وهو خط مواز لمحورها.

ومن الواضح انه إذا وضعنا بلورة تورمالين ثانية في اتجاه انتشار ضوء مستقطب استوائيا يمر الضوء فقط في حالة إذا كان المحور الضوئي للبلورة الأولى –التي تسمي بالمحلل– عموديا على المحور الضوئي للبلورة الثانية وتسمي المستقطب. أما إذا كان محورا المحلل والمستقطب متعامدين فلا ينفذ ضوء من المستقطب على الإطلاق. شكل (15–13).



أنواع الضوء المستقطب:

يوجد ثلاثة أنواع من الضوء المستقطب:

1– ضوء مستقطب استوائيا.

2– ضوء مستقطب كريا.

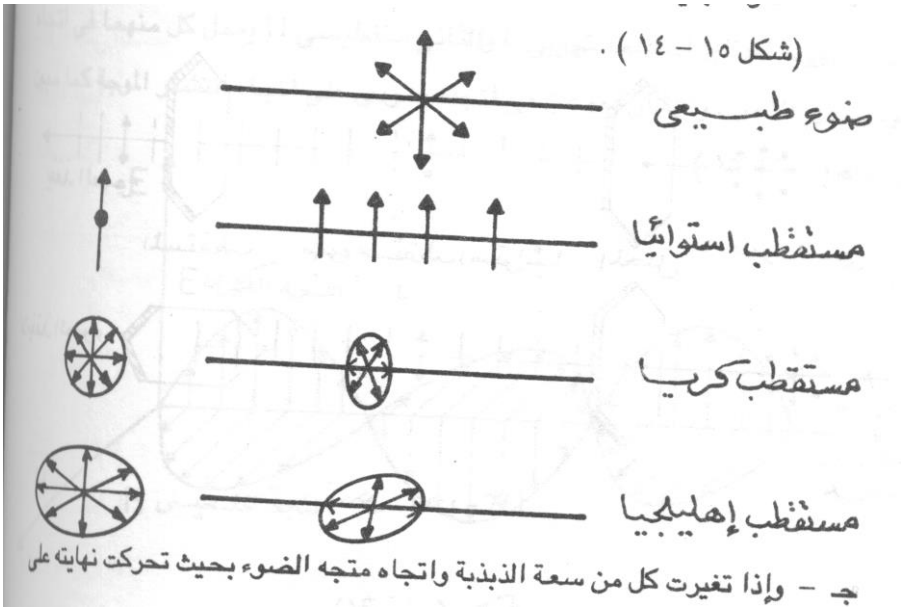
3– ضوء مستقطب إهليليجيا.

ولتعريف الأنواع الثلاثة... نفرض أن الضوء ناشئ عن ذبذبات دورية لكمية متجهة لها مقدار واتجاه.

في أي وسط موحد الخواص *isotropic* يكون متجه الضوء هذا في صدر الموجة دائما ويكون عموديا على اتجاه انتشار الموجة.

أ- فإذا أخذ متجه الضوء اتجاها ثابتا لا يتغير بينما تغير مقداره أي تغيرت له سعة الذبذبة فإننا نحصل على ضوء مستقطب استوائيا.

ب- أما إذا ظلت سعة الذبذبة ثابتة بينما تغير اتجاه متجه الضوء بانتظام بحيث تتحرك نهايته حركة منتظمة على محيط دائرة كان الضوء مستقطب دائريا (شكل 15-14).



ج- وإذا تغيرت كل من سعة الذبذبة واتجاه متجه الضوء بحيث تحركت نهايته على قطع ناقص فإن الضوء يكون استقطابه إهليليجيا.

وعادة نعتبر أن أي ضوء طبيعي غير مستقطب هو محصلة شعاعين من ضوء كل منهما مستقطب في مستوي يختلف عن الاخر ولا يتوقف اتجاه المحصلة على مقدارها.

ولإثبات ما سبق رياضيا نعتبر موجتين متعامدتين تنتشران في اتجاه واحد

$$x = A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{d}{\lambda}\right) \tag{25}$$

$$y = B\sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{d}{\lambda}\right)+\phi\right] \tag{26}$$

حيث ϕ هو اختلاف الطور بينهما. المعادلة (24/15) تعطي:

$$\left(1-\frac{x^2}{A^2}\right)=\cos^2 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{d}{\lambda}\right) \quad (27)$$

ومن مفكوك المعادلة (25/15) نحصل على:

$$\frac{y}{B}=\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{d}{\lambda}\right)\cos\phi+\cos 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{d}{\lambda}\right)\sin\phi$$

$$\frac{y}{B}=\frac{x}{A}\cos\phi+\cos 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{d}{\lambda}\right)\sin\phi \quad (28)$$

$$\left(\frac{y}{B}-\frac{x}{A}\cos\phi\right)^2=\left(1-\frac{x^2}{A^2}\right)\sin^2\phi \quad (29)$$

وباختصار هذه المعادلة نحصل على:

$$\frac{x^2}{A^2}+\frac{y^2}{B^2}=\sin^2\phi+\frac{2xy}{AB}\cos\phi \quad (30)$$

وتمثل هذه المعادلة محصلة الموجتين المتعامدتين وهي معادلة قطع ناقص يميل محوراه على المحورين x, y. ولذلك يسمى الضوء الناتج مستقطب إهليليجيا.

وإذا ما أخذت زاوية الطور ϕ القيم $\left(\phi=\frac{\pi}{2},\frac{3\pi}{2},\frac{5\pi}{2},...\right)$, تصير المعادلة (29/15) معادلة قطع ناقص ينطبق محوراه على المحورين x, y.

$$\frac{x^2}{A^2}+\frac{y^2}{B^2}=1 \quad (31)$$

أما إذا أخذت زاوية الطور القيم $\left(\phi=0,2\pi,4\pi,...\right)$ يتحول القطع الناقص إلى خط مستقيم يمر بنقطة الاصل وميله (B/A).

$$\frac{x}{A}-\frac{y}{B}=0 \quad (32)$$

وبذلك يكون اهتزاز المتجه الكهربي للضوء في اتجاه واحد ويكون الضوء في هذه الحالة مستقطب استوائيا. ويحدث كذلك استقطاب استوائي إذا كان فرق الطور بين الموجتين المتعامدتين هو $(\pi,3\pi,5\pi,...)$.

وإذا كانت سعة الاهتزازة واحدة للموجتين, أي أن $A=B$ تصير معادلة (32) معادلة دائرة:

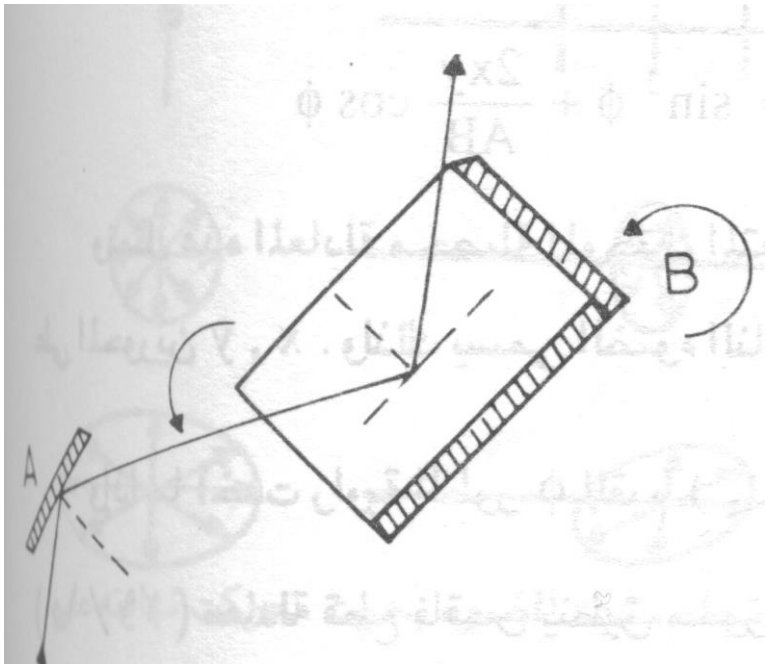
$$x^2+y^2=A^2$$

ويتحرك عندئذ المتجه الضوئي على محيط دائرة ويقال إن الضوء مستقطب دائريا.

استقطاب الضوء بالانعكاس:

إذا سقط شعاع من الضوء الطبيعي بزاوية سقوط خاصة على سطح لوح زجاج عادي فإن الشعاع المنعكس يكون مستقطبا استوائيا.

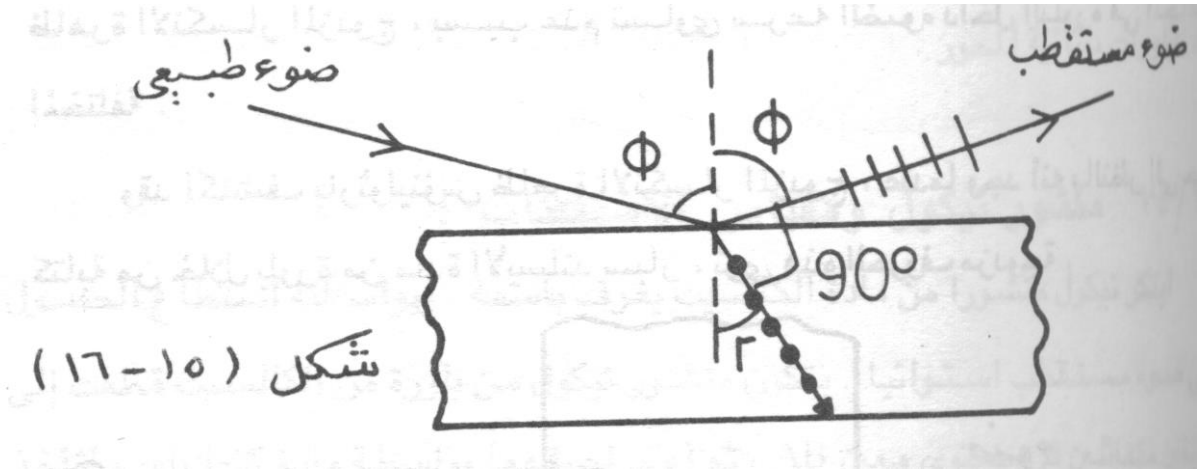
اعتبر A,B شريحتين زجاجتين مستويتين ينعكس على كل منهما شعاع من ضوء طبيعي كما في شكل (15-15).



إذا أديرت الشريحة B بحيث يخرج الشعاع المنعكس من مستوي السقوط (وهو هنا مستوى الصفحة) فإننا نجد أن شدة الضوء المنعكس تتناقص تدريجيا حتى يصل إلى نهاية صغري ثم تزداد بعد ذلك بزيادة زاوية الدوران. ويوجد هناك وضعان للشريحة تكون عندهما شدة الاضاءة للضوء المنعكس قيمة صغري وتكون الزاوية بين الوضعين 180^{o}. وباختيار الأشعة المنعكسة من الشريحة A بواسطة بلورة تورمالين وجد ان الضوء المنعكس على A أصبح مستقطبا استوائيا ولذلك عند اعادة عكسه على الشريحة B امتنع الانعكاس في وضع معين. يحدث عنده استقطاب كلي للضوء المنعكس وتظهر عندئذ اقل شدة إضاءة له.

وتعرف زاوية الاستقطاب ϕ بانها الزاوية التي يدورها العاكس B حتي الوصول إلى اقل شدة إضاءة منعكسة منه. وقد وجد بروستر ان ظل زاوية الاستقطاب تساوي معامل انكسار مادة زجاج الشريحة B وذلك لأنه عند وضع الاستقطاب الكلي للشريحة B يكون كلا من الشعاع المنعكس والشعاع المنكسر متعامدين.

إذا فرضنا أن ϕ هي زاوية سقوط الأشعة على سطح الزجاج.. (شكل 15-16)



شكل (١٥-١٦)

وأن r هي زاوية الانكسار وان μ معامل انكسار مادة الزجاج. تكون:

$$\mu = \frac{\sin\phi}{\sin r} \tag{33}$$

وعندما يكون الشعاع المنعكس عمودي على الشعاع المنكسر كما في وضع الاستقطاب الكلي, أي أن

$$\phi + r = 90°$$

$$\sin r = \cos i$$

وبذلك يكون معامل انكسار الزجاج هو:

$$\mu = \frac{\sin\phi}{\cos\phi} = \tan\phi \tag{34}$$

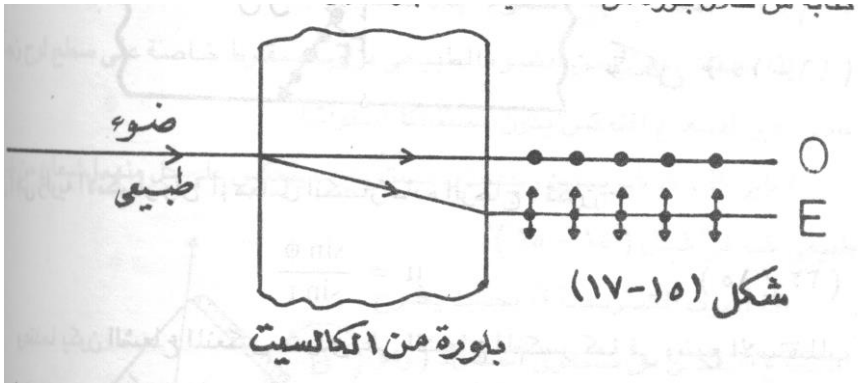
وتعطي المعادلة (33/15) قيمة زاوية السقوط التي ينتج عنها ضوء منعكس يكون استقطابه تاماً. وقد وجد ان هذه الزاوية في حالة الزجاج تساوي 57^o.

الاستقطاب بالانكسار المزدوج:

تتصف معظم المواد بخواص أيزوتروبية أي ان هذه الخواص لا تتوقف على إتجاه القياس داخلها ولكن يوجد بعض البلورات تختلف خواصها إذا قيست في اتجاهات مختلفة بالنسبة لمحور البلورة. فمن الناحية الضوئية نجد أن سرعة الضوء في الزجاج مثلا واحدة في جميع الاتجاهات

داخلة بينما تظهر بلورات مثل كالسيت والتورمالين والكوارتز ظاهرة الانكسار المزدوج بسبب عدم تساوي سرعة الضوء داخل البلورة في اتجاهاتها المختلفة.

وقد اكتشف بارثوليونس ظاهرة الانكسار المزدوج عندما وجد انه بالنظر الي حروف كتابة من خلال بلورة من مادة الايسلند سبار تري هذه الحروف مزدوجة.



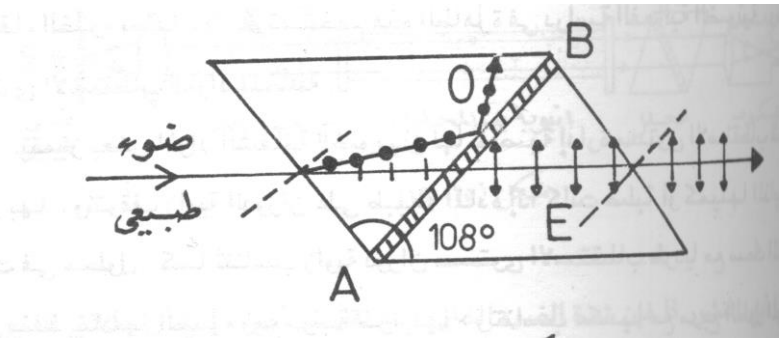
شكل (١٥-١٧)

إذا سقط شعاع عموديا على بلورة من الكاليسيت – كما في شكل (15–17) نجد أنه يخرج من الوجه المقابل وقد انقسم إلى شعاعين أحدهما O على استقامة الشعاع الساقط بينما يخرج الشعاع الآخر E موازيا للأول ولكنه ليس على استقامته ويسمي الشعاع O بالشعاع المعتاد حيث انه يتبع قانوني الانكسار ويسمي الشعاع E بالشعاع غير المعتاد اذ لا تنطبق عليه قوانين الانكسار وعندما اختبر الشعاعان المعتاد وغير المعتاد بواسطة بلورة تورمالين لمعرفة مدي استقطاب الضوء فيهما وجد ان كلا من الشعاعين مستقطب استقطابا استوائيا كما ان مستوي استقطاب الشعاع المعتاد عمودي على مستوي استقطاب الشعاع غير المعتاد. اذ بالنظر إلى الصورة التي يكونها الشعاعان من خلال بلورة التورمالين نحصل على وضع يختفي فيه صورة احد الشعاعين بينما إذا اديرت البلورة بزاوية 90^{o} عند هذا الوضع تظهر صورة الشعاع الأول وتختفي صورة الشعاع الثاني.

وقد ظهر ان هناك بعض البلورات لا يعاني الضوء أي انكسار مزدوج بالمرور فيها، إذا اخترق الضوء البلورة في اتجاه معين يسمي بالمحور البصري للبلورة وتسمي مثل هذه البلورات بأحادية المحور. وإذا وجد اتجاهان في البلورة لا يحدثان انكسارا مزدوجا سميت هذه البلورات بثنائية المحور.

منشور نيكول ومقياس الاستقطاب:

ابتكر نيكول منشورا من مادة الكالسيت يعرف باسمه. وبواسطته إستطاع الحصول على ضوء مستقطب استوائيا. يتكون منشور نيكول من بلورة من الكالسيت قطعت إلى نصفين متماثلين في مستوي معين AB ثم أعيد لصقهما بواسطة مادة كندا بلسم لتأخذ البلورة شكلها الأصلي، كما في شكل (15–18).



معامل انكسار الضوء في مادة الكالسيت يساوي 1.66 بالنسبة للشعاع العادي 0, بينما يساوي 1.49 بالنسبة للشعاع غير العادي E. ومعامل انكسار مادة كندا بلسم 1.54 بالنسبة لكلا الشعاعين اذ انها لا تحدث استقطابا للضوء. وعلى ذلك إذا اعتبرنا شعاعا ضوئيا يسقط على وجه المنشور يحدث له انكسار مزدوج إلى شعاعين E &O وتكون ذبذبات الشعاع المعتاد O عمودية على المحور الضوئي للبلورة أي عمودية على مستوي الورقة وقد مثلت في الشكل على هيئة نقط. أما ذبذبات الشعاع الغير عادي فتحدث في مستوي الورقة وقد مثلت بشرط صغيرة متعامدة مع الشعاع E.

عندما يسقط الشعاع العادي على مادة كندا بلسم يكون سقوطه من وسط كثيف إلى وسط اقل كثافة ضوئية لذلك ينعكس الشعاع O انعكاساً كليا إذا كانت زاوية سقوطه اكبر من الزاوية الحرجة وهذا الشرط يستوفي عند صنع المنشور. وبذلك يتشتت الشعاع المعتاد فلا ينفذ من المنشور من جهته الأخرى سوي الشعاع غير المعتاد E الذي لا يتأثر بطبقة كندا بلسم اللاصقة حيث أن معامل انكسارها أكبر من معامل انكسار الكالسيت للشعاع E أي أنه ينفذ من وسط خفيف إلى وسط أكثف ضوئيا فلا يحدث له انعكاس كلي كما هو الحال بالنسبة للشعاع O.

إذا وضع في مسار الضوء النافذ من منشور نيكول منشور آخر مماثل يمكن للضوء ان ينفذ خلاله فقط في حالة ان يكون محور المنشور الثاني موازيا لنظيره في المنشور الأول اما إذا ادير المنشور الثاني حول الشعاع الساقط عليه فإننا نجد عند وضع معين اختفاء الضوء تماما ولذلك تستخدم هذه الظاهرة في دراسة الفعالية الضوئية ودوران مستوي الاستقطاب للمواد المختلفة.

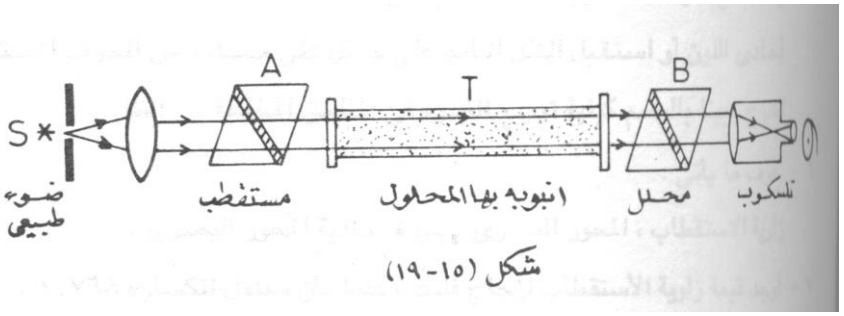
تتميز بعض المواد الشفافة للضوء بأن لها خاصية ادارة مستوي الاستقطاب للضوء المار بها. وتتوقف زاوية الدوران على طبيعة المادة إذا كانت صلبة أو كميتها المذابة إذا كانت في محلول. كما تتناسب زاوية دوران مستوي الاستقطاب طرديا مع سمك المادة التي ينفذ خلالها الضوء ومع درجة حرارتها وتتناسب عكسيا مع مربع الطول الموجي للضوء الساقط. وتسمي المواد التي لها خاصية ادارة مستوي الاستقطاب بالمواد الفعالة ضوئيا ومن هذه المواد سكر الجلوكوز.

إذا كانت θ هي زاوية الدوران الناتجة عن نفاذ الضوء في محلول ما سمكة مقاسا بالديسيمتر h وكانت شدة تركيز المحلول C فإن:

$$\theta = \alpha ch \qquad (35)$$

ويسمي الثابت α بالدوران النوعي للمادة, ويعرف بأنه زاوية دوران مستوي الاستقطاب لضوء مستقطب استوائيا يمر في طول من المحلول قدره ديسيمتر واحد ويحتوي على جرام من السنتيمتر المكعب من المحلول.

يستخدم مقياس الاستقطاب لتقدير درجة تركيز محلول مادة فعالة ضوئيا وذلك عن طريق تعيين دوران مستوي الاستقطاب ويتركب الجهاز كما في شكل (15–19) من منشوري نيكول A,B. يستقبل المنشور A حزمة متوازية من الضوء الطبيعي فتخرج منه مستقطبة استوائياً. ولذلك يسمي المنشور A بالمستقطب. ثم ينفذ الضوء المستقطب في انبوبة زجاجية يقفلها من قاعدتيهما غطاءان من الزجاج لنفاذ الضوء وعند الاستعمال تملأ هذه الانبوبة بالمحلول المراد اختباره. يسقط الضوء بعد مروره من هذه الانبوبة على منشور نيكول B – يسمي بالمحلل للضوء المستقطب – ثم يمر الضوء بعد ذلك في قصبة تلسكوب حيث يمكن رؤيته بالعين.



شكل (١٥-١٩)

إذا أدير المنشور B فإن شدة الضوء الخارج منه تقل تدريجيا إلى ان يختفي الضوء تماما عندما يتعامد المنشوران A,B وتؤخذ عندئذ قراءة مقياس الزاوية. ثم تملأ الأنبوبة T بالمحلول تحت الاختبار ويضبط المنشور المحلل B حتى يختفي الضوء مرة اخري وتؤخذ قراءة المقياس.

وتكون زاوية دوران مستوي الاستقطاب هي الفرق بين القراءتين. وتستخدم هذه الطريقة لتعيين كمية السكر في الدم او في البول لمرضي السكر وذلك لان للسكر فعالية ضوئية.

تمارين

1- إذا كانت المسافة بين الفتحتين في تجربة يونج 0.026 سم وتكونت هدب التداخل على حاجز يبعد 100 سم من الفتحتين. أوجد المسافة بين هدبتين متتاليتين على الحاجز علما بأن الطول الموجي للضوء المستخدم 6800 أنجستروم.

2- إذا كان قطر الحلقة النونية المضيئة في تجربة حلقات نيوتن 0.56 وقطر الحلقة العشرين بعدها 1.34 فأوجد نصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة علما بأن الطول الموجي للضوء المستخدم 5890 أنجستروم.

3- أ- اشرح عمل محزوز الحيود.

ب- سقطت حزمة متوازية من ضوء يحتوي الطول الموجي 4000 أنجستروم، والطول الموجي 7500 أنجستروم على محزوز حيود وحدة تكراره 0.001 سم. أوجد زاوية تفرق اللونين المذكورين في المرتبة الثانية.

4- في تجربة حلقات نيوتن استخدم ضوء لهب صوديوم طول موجته 5893 انجستروم. وكان قطر إحدى حلقتين متتاليتين هو 10مم وقطر الأخرى 10.1 مم. أوجد نصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة المستخدمة.

5- إذا وضع حرف مستقيم لحاجز معتم على مسافة من فتحة مستطيلة مضاءة بضوء احادي اللون او استقبل الظل الناتج على حائل على مسافة من الحرف المستقيم. اشرح مبينا بالرسم كيفية توزيع الضوء في المناطق المختلفة من الظل.

6- عرف ما يأتي:

زاوية الاستقطاب، المحور البصري، بلورة احادية المحور البصري.

7- أوجد قيمة زاوية الاستقطاب لزجاج فلنت علما بأن معامل انكساره 1.768.

8- اشرح ظاهرة الفعالية الضوئية في السوائل والأبخرة واذكر تطبيقا لهذه الظاهرة يستخدم في الطب.

9- أوجد قيمة زاوية دوران مستوي استقطاب الضوء الذي يحدث عن مرور ضوء لهب صوديوم في أنبوبة بها محلول سكر تركيزه 18% علما بان طول الأنبوبة 30 سم والدوران النوعي للسكر 52.53^{o}.

10- اشرح تركيب منشور نيكول وكيف نحصل منه على ضوء مستقطب استوائيا.

11- معامل انكسار الماس بالنسبة لضوء الصوديوم هو 2.417 أوجد زاوية السقوط التي ينعكس عندها الضوء على الماس مستقطبا استوائيا.

12- احسب زاوية الاستقطاب للضوء عند انتقاله من الماء (معامل انكساره 1.33) إلى الزجاج (معامل انكساره1.53).