

## الباب الرابع

### الضوء

#### نظريات الضوء :

الضوء هو ذلك الشعاع الذي يؤثر في العين فيسبب الرؤية أو الإبصار. والضوء أحد صور الطاقة كالطاقة الحرارية، الطاقة الميكانيكية، الطاقة الكهربائية . ومن الممكن أن تتحول الطاقة الضوئية إلى أي نوع من الأنواع المعروفة للطاقة محافظاً علي مبدأ بقاء الطاقة.

و منذ بدأ الخليقة والإنسان يحاول أن يفسر الظواهر الفيزيائية المحيطة به ومنها الضوء. وقد حاول الإغريق تفسير الضوء والأبصار بأن فرضوا أن الضوء عبارة عن جسيمات صغيرة تامة المرونة تخرج من العين وتسقط علي الجسم وتسبب الإحساس بالرؤية، وواضح أن هذا التفسير خطأ ولو كان صحيحاً لاستطاع الإنسان أن يري في الظلام. لكن من خلال التطور التاريخي لعلم الضوء ومن المحاولات المستمرة لتفسير المشاهدات ونتائج التجارب المتتالية ظهرت ثلاثة نظريات أساسية لابد من الإشارة إليها.

#### 1- النظرية الجسيمية لنيوتن :

أفترض نيوتن أن الضوء عبارة عن جسيمات دقيقة جداً (كروية) وتامة المرونة تنبعث من المصدر الضوئي وتسير بسرعة ثابتة كبيرة جداً في خطوط مستقيمة في الوسط المتجانس الواحد وعندما تسقط علي الجسم المرئي فإنها تصطدم به طبقاً لقوانين التصادم المرن وترتد من الجسم لتسقط علي العين وتسبب الإحساس بالرؤية.

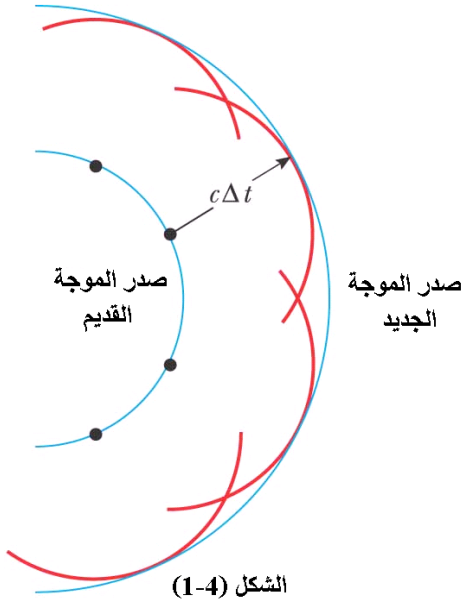
وقد استطاع نيوتن باستخدام نظريته في تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار، مع العلم بأنه عند تفسير ظاهرة الانكسار أفترض أن سرعة الضوء في المادة أكبر منها في الفراغ "كما في حالة سرعة الصوت" ولكن ثبت بعد ذلك أن هذا الفرض خطأ وأن سرعة الضوء في الفراغ هي أكبر سرعة . وفشلت النظرية الجسيمية لنيوتن في تفسير ظاهرة التداخل والحيود والاستقطاب.

والعلم الذي يهتم بدراسة الضوء بناءً علي النظرية الجسيمية لنيوتن يسمى بالضوء الهندسي (Geometrical optics) وفيه ندرس خاصية انتشار الضوء في خطوط مستقيمة

وكذلك خواص الانعكاس Reflection والانكسار Refraction والتشتت Scattering للضوء.

## 2- النظرية الموجية لهيجنز Huygens Principle :

فرض هيجنز أن الضوء ينتشر على شكل موجات مستعرضة تنتشر من المصدر الضوئي في جميع الاتجاهات. كما فرض أن صدر الموجة عبارة عن كرة مركزها المصدر الضوئي وأن كل نقطة علي صدر الموجة تعمل عمل مصدر ثانوي يشع المويجات في جميع الاتجاهات كما هو موضح بالشكل (1). وترتبط سرعة الموجة الضوئية  $c$  بقيمة كل من التردد  $\nu$  والطول الموجي لها  $\lambda$  من خلال العلاقة :



$$c = \lambda \nu \quad (1)$$

والعلاقة الرياضية التي تمثل موجة الضوء المستعرضة يمكن أن يعبر عنها كموجة جيبيه:

$$y = a \sin(\omega t - \alpha) \quad (2)$$

حيث  $y$  تمثل إزاحة جزيء الوسط الذي تنتشر فيه الموجة،  $a$  سعة الاهتزازة،  $\omega$  التردد الزاوي "السرعة الزاوية" حيث  $\omega = 2\pi\nu$  كما أن:  $\nu = 1/\tau$  حيث  $\tau$  هي الزمن الدوري للذبذبة،  $t$  هو الزمن المقابل للإزاحة  $y$  أما  $\alpha$  فهي زاوية الطور الابتدائي.

ونجحت النظرية الموجية لهيجنز في تفسير ظواهر الضوء المعروفة عندئذ الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب.

والعلم الذي يهتم بدراسة الضوء بناءً علي النظرية الموجية لهيجنز يسمى بالضوء الفيزيائي (Physical Optics) وفيه ندرس الخواص الموجية للضوء مثل التداخل

(Interference) والحيود (Diffraction) والاستقطاب (Polarization) للضوء.

### 3- النظرية ال كمية للضوء "نظرية الفوتون" Photon Theory :

ظلت السيادة للنظرية الموجية لهيجنز حتى ظهور الظاهرة الكهروضوئية في نهاية القرن التاسع عشر، وفي بداية القرن العشرين 1905 نجح اينشتين في تفسير الظاهرة الكهروضوئية بالعودة إلى النظرية الجسيمية وفرضه أن الضوء عبارة عن جسيمات "أو كمات" وسمي كل جسيم "أو كمه" بالفوتون.

فأصبح هناك تناقض وغموض في طبيعة وكنه الضوء هل هو موجة أم جسيم، وظل هذا الغموض حتى عام 1924 عندما تقدم العالم الفرنسي لويس دي برولي "Louis de Broglie" بفكرته الثورية عن الخاصية الثنائية للمادة وفيها أوضح أن للضوء صفة مزدوجة فهو يسلك سلوك موجة تحت بعض الظروف (مما يتفق ونظرية هيجنز)، وجسيم أو فوتون تحت ظروف أخرى (مما يتفق مع نظرية نيوتن).

وتتلخص الخاصية الثنائية لدي برولي في أن الجسيم والموجة وجهان لعملة واحدة. فكما يمكن معاملة الموجة الكهرومغناطيسية "ومنها الموجة الضوئية" ذات التردد  $\nu$  على أنها جسيم "فوتون" له طاقة  $E$  حيث:

$$E = h\nu \quad (3)$$

فإنه يمكن معاملة الجسيم والذي له كمية حركة خطية  $P$  على أنه موجة طولها الموجي  $\lambda$  حيث:

$$\lambda = \frac{h}{P} \quad (4)$$

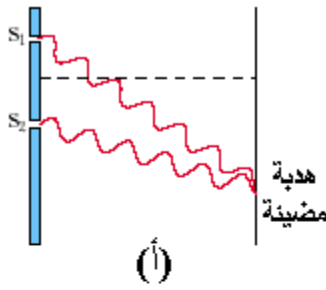
حيث  $h$  مقدار ثابت يسمى ثابت بلانك. والعلاقتان (3)، (4) تسميان بمسلمات دي برولي.

والعلم الذي يهتم بدراسة الضوء بناءً على النظرية الكمية للضوء يسمى بالضوء الكمي (Quantum optics) وفيه ندرس الخصائص الكمية للضوء باعتباره مكوناً من حزم دقيقة من الطاقة تسمى كمات (quanta) محمولة على جسيمات صغيرة جداً تسمى فوتونات (Photons).

والآن نعرض في إيجاز للضوء الفيزيائي وندرس بعض الخواص الموجية للضوء.

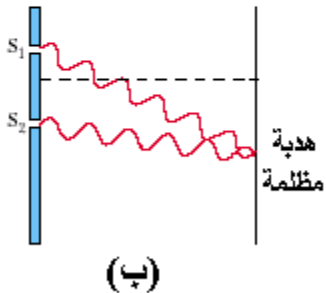
### التداخل:

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 هدبة مضيئة كما بالشكل (2-4-أ).



الشكل (2-4)

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 هدبة مظلمة كما بالشكل (2-4-ب).

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

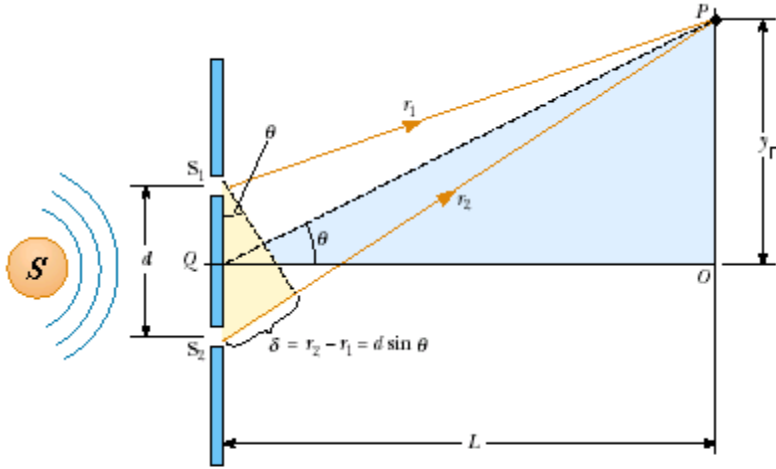
- 1- تقسيم صدر الموجة: مثل التداخل من فتحتين مستطيلتين ضيقتين "تجربة ينج".
- 2- تقسيم سعة الموجة: مثل التداخل بالانعكاس المتكرر كمقياس التداخل لفابري بيرو، والتداخل في الأغشية الرقيقة كمقياس التداخل لميكلسون وحلقات نيوتن.

تجربة الشق المزدوج لينج:

يوضح الشكل (3-4) رسماً تخطيطياً لتجربة الشق المزدوج لينج حيث  $S$  مصدر ضوئي

أحادي 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  $\delta$  يعطي من العلاقة:



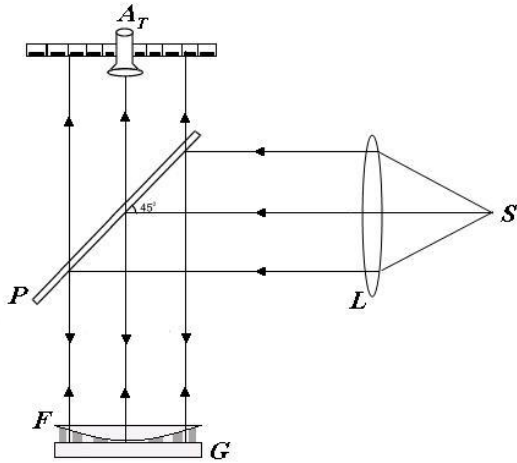
الشكل (3-4)

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

حيث  $L$  المسافة بين الحائل والفتحتين،  $y_n$  البعد بين النقطة  $P$  ومركز الهدبة المركزية  $O$ . فإذا كان فرق المسير  $\delta$  بينهما عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية  $n\lambda$ ، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تكون النقطة  $P$  هدبة مضيئة، أما إذا كان فرق المسير بينهما عدداً فردياً من أنصاف الأطوال الموجية  $(2n+1)\lambda/2$ ، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تكون النقطة  $P$  هدبة مظلمة. أي أن شرط تكون الهدب المضيئة في تجربة الشق المزدوج لينج هو:

$$y_n = \frac{\lambda L}{d} n$$

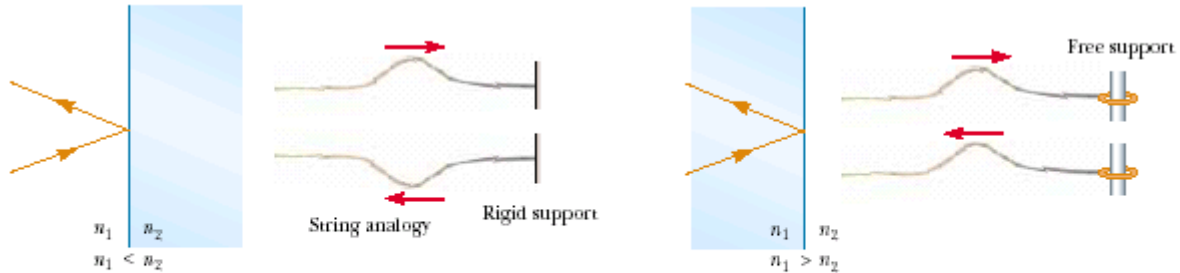
## حلقات نيوتن:



الشكل (4-4)

تجربة حلقات نيوتن هي أحدي تجارب التداخل في الأغشية الرقيقة. يتكون جهاز حلقات نيوتن كما هو موضح بالشكل (4-4) من مصدر ضوئي أحادي اللون  $S$  موضوع في بؤرة عدسة محدبة  $L$  فتخرج الأشعة منها متوازية لتسقط على شريحة زجاجية  $P$  مائلة بزاوية  $45^\circ$  فتنعكس

الأشعة لتسقط على غشاء الهواء الرقيق والمحصور بين السطح السفلي للعدسة المحدبة  $F$  (نصف قطر تكورها كبير) والسطح العلوي للشريحة الزجاجية  $G$ . ولأن نصف قطر تكور العدسة كبير فإنه يمكن اعتبار أن الأشعة تسقط على غشاء الهواء عمودياً وبالتالي ينعكس جزء منها على نفسه عند السطح العلوي للغشاء والجزء الآخر ينعكس على نفسه عند السطح السفلي للغشاء الرقيق. ولما كانت الأشعة المنعكسة على السطح السفلي انعكست على وسط أكبر كثافة ضوئية من الوسط المنتشرة فيه فإنها تعاني تغيراً في الطور مقداره  $\pi$  أي فرق في المسير مقداره  $\lambda/2$  كما هو موضح بالشكل (5-4).



(ب) عندما ينعكس الضوء من وسط أقل كثافة ضوئية على وسط أكبر كثافة ضوئية ينعكس بفرق في الطور مقداره  $\pi$  أي فرق في المسير  $\lambda/2$

(أ) عندما ينعكس الضوء من وسط أكبر في الكثافة على وسط أقل في الكثافة الضوئية ينعكس دون تغير في الطور أو المسير

الشكل (5-4)

وفي النهاية يصل إلي الميكروسكوب المتحرك  $A_T$  شعاعان أحدهما انعكس على السطح العلوي للغشاء الرقيق والآخر انعكس على السطح السفلي، ويكون فرق المسير بينهما:

$$\Delta = 2t + \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$



الشكل (6-4)

حيث  $t$  سمك غشاء الهواء الوتدي الرقيق عند نقطة انعكاس الأشعة، فيحدث بين تلك الأشعة تراكب وتنتج هدب للتداخل. ولما كان سمك الغشاء متجانس حول قطب المرآة (نقطة تماس المرآة  $F$  مع السطح العلوي للشريحة الزجاجية  $G$ ) فإن هدب التداخل تكون عبارة عن حلقات متحدة المركز ومركزها قطب المرآة كما بالشكل (6-4).

ولإيجاد العلاقة بين نصف قطر الهدبة ورتبتها نفرض أن

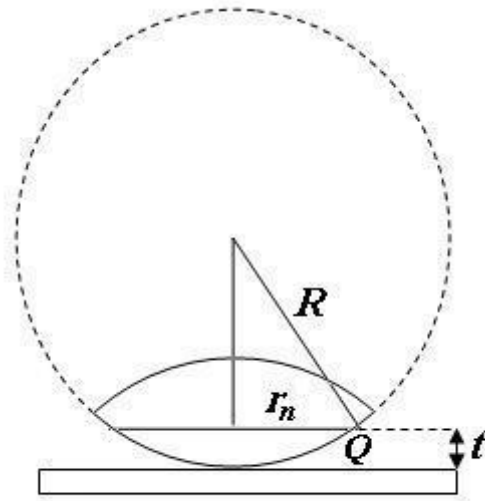
سمك غشاء الهواء عند النقطة  $Q$  هو  $t$  كما هو

موضح بالشكل (7-4)، وأن فرق المسير بين

الشعاعين المنعكسين من السطحين العلوي والسفلي

للغشاء الرقيق عند تلك النقطة هو  $\Delta$  ويعطي من

العلاقة (5). فمن هندسة الشكل نجد أن:



الشكل (7-4)

$$R^2 = (R - t)^2 + r_n^2$$

حيث  $R$  نصف قطر تكور العدسة،  $r_n$  نصف قطر

حلقة نيوتن ذات الرتبة  $n$  عند النقطة  $Q$ . وبفك الأقواس نحصل على:

$$2Rt - t^2 = r_n^2$$

وحيث أن  $R$  أكبر بكثير من  $t$  لذلك يمكننا إهمال  $t^2$  لصغرها المتناهي بالنسبة لـ  $2Rt$  لنحصل على:

$$t = \frac{r_n^2}{2R} \quad (6)$$

وحيث أن الهدب المضيئة تتكون عندما يكون فرق المسير مساويا لعدد صحيح من الأطوال الموجية، فإنه من العلاقتين (5) ، (6) نحصل:

$$\Delta = \frac{r_n^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = n\lambda$$

أي أن شرط تكون الهدب المضيئة:

$$r_n^2 = (n - 1/2) \lambda R$$

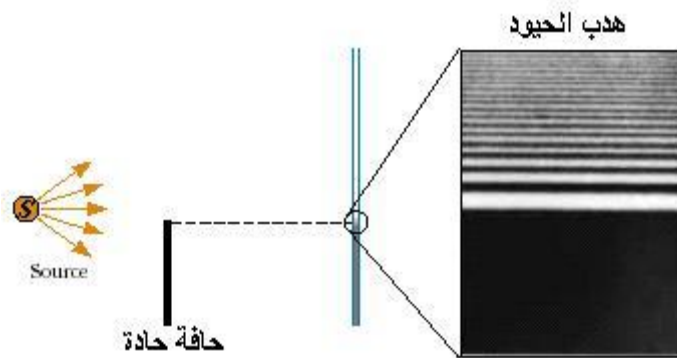
وبالمثل تتكون الهدب المظلمة عندما يكون فرق المسير مساويا لعدد فردي من أنصاف الأطوال الموجية أي أن:

$$\Delta = \frac{r_n^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

وبالتالي يكون شرط تكون الهدب المظلمة هو:

$$r_n^2 = \lambda R n$$

ومن هذه العلاقة يمكن حساب الطول الموجي  $\lambda$  للضوء المستخدم.



الشكل (8-4)

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 (8-4) نجد أن الضوء



ينتشر في منطقة الظل الهندسي أي أن الضوء انحني ولم يلتزم بالانتشار في خطوط مستقيمة عند مروره بهذه الحافة الحادة. وينقسم حيود الأشعة الضوئية إلى نوعين:

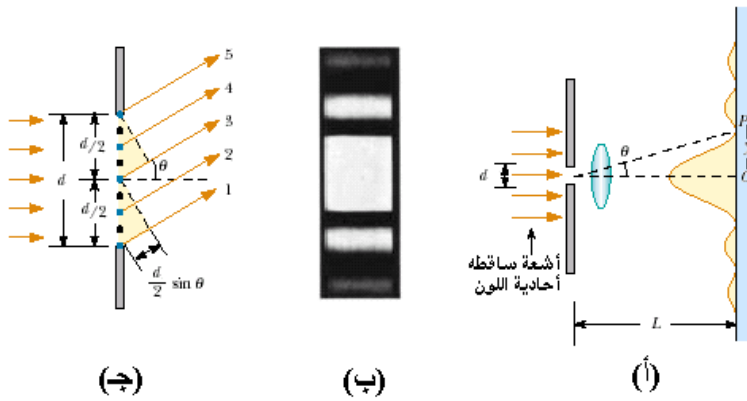
## 1- حيود فرنهوفر:

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

## 2- حيود فرنل:

وفيه يكون المصدر الضوئي أو الحائل أو كلاهما على مسافة محدودة من ال حافة الحادة المسببة للحيود. ويختلف نمط حيود فرنل عن نمط حيود فرنهوفر من حيث المعال جة الرياضية وشدة الاستضاءة واتساع أشرطة الحيود.

حيود فرنهوفر من خلال فتحة مستطيلة ضيقة:



الشكل (9-4)

يوضح الشكل ( 9-4 أ )

رسماً تخطيطياً لتجربة حيود فرنهوفر خلال شق ضيق فعند سقوط أشعة أحادية اللون (وحيدة الطول الموجي)، علي فتحة مستطيلة ضيقة عرضها  $d$  فإنه يظهر علي الحائل نمط حيود

واضح في الشكل ( 9-4 ب ). ولإيجاد علاقة رياضية لنمط الحيود المتكون عند النقطة  $P$  على الحائل نفرض أننا قسمنا صدر الموجة الساقط علي الفتحة إلي قسمين كما بالشكل ( 9-4 ج )، وحيث أن كل نقطة علي 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  $4, 2$  حيث المسافة بينهما أيضاً  $d/2$ . فإذا كان فرق المسير بين الشعاعين  $2, 1$  هو  $\lambda/2$  فإنه التراكب بينهما يكون تراكب هدمي. وبالمثل فإن أي شعاعين المسافة بينهما  $d/2$  يكون التراكب بينهما هدمي، وحيث أننا قسمنا الفتحة إلى 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:

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

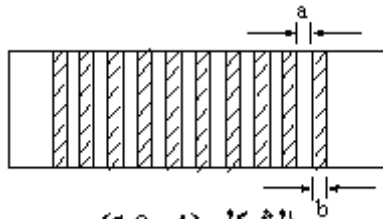
وبالمثل لو قسمنا الفتحة إلى أربعة أجزاء متساوية يكون شرط التراكب الهدمي عند  $P$  هو

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

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

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

محزوز الحيود :



الشكل (10-4)

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. 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 (10-4) فإن المقدار  $d = (a + b)$  يسمى ثابت المحزوز.

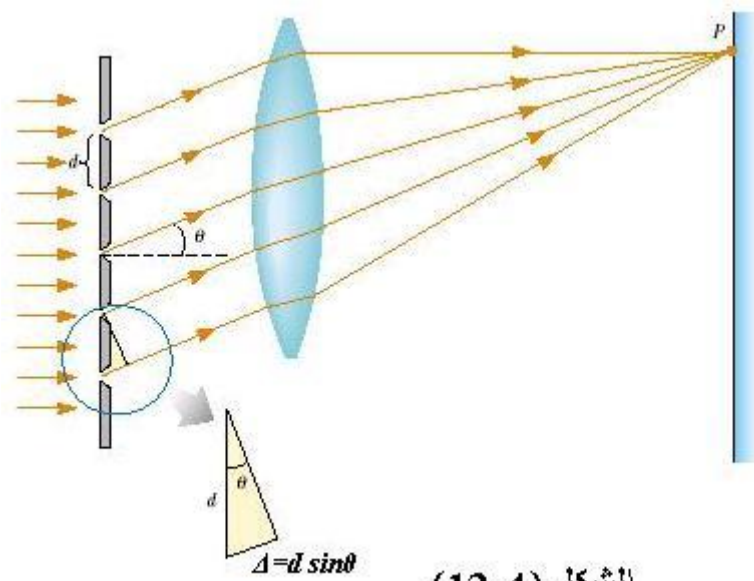


الشكل (11-4)

ومن الملاحظ إذا كان عدد خطوط المحزوز في السننيمتر هو  $N(\text{line/cm})$  خط فإن:

$$d = 1/N$$

إذا سقطت حزمة متوازية من ضوء أحادي اللون طوله الموجي  $\lambda$  في اتجاه عمودي على مستوى محزوز الحيود من مجمع الضوء في المطياف – فإنه بتوجيه التلسكوب شكل ( 4-11) 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 و نرى أيضاً على جانبيها أهداباً مضيئة تقل إضاءتها تدريجياً بالابتعاد عن الهدبة



الشكل (4-12)

المركزية وهي ناتجة عن التداخل البناء للأشعة الحادثة بزوايا مختلفة. ومن الشكل (4-12) نجد أن شرط حدوث هذا التداخل البناء هو أن يكون فرق المسار الضوئي  $\Delta$  بين أي شعاعين متناظرين حائدين من أي فتحتين متتاليتين مساوياً لمضاعفات صحيحة للطول الموجي أي أن:

$$\Delta = d \sin \theta = n \lambda \quad (7)$$

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

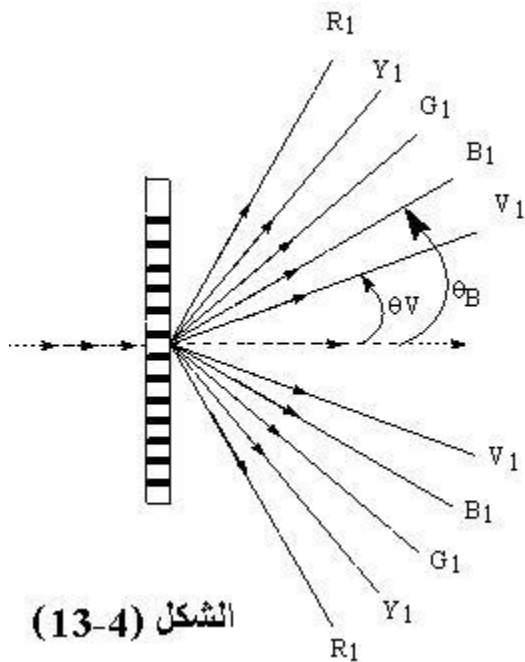
إذا استعملنا مصدراً ضوئياً له طيف خطي

(كمصباح الزئبق مثلاً) فإن الضوء الخارج من

محزوز الحيود يتحلل إلى ألوان الطيف ويكون كل

لون له زاوية حيود خاصة به ونشاهد خلال

التلسكوب لكل رتبة حيود  $n$  جميع الخطوط الملونة



الشكل (4-13)

التي يتكون منها طيف هذا المصدر الضوئي شكل (4-13). وهكذا يمكن استخدام محزوز الحيود لإنتاج رتب مختلفة لطيف أي مصدر ضوئي وكذلك يمكن استخدام المعادلة (7) لحساب الطول الموجي لكل منها.

الاستقطاب:

الضوء الطبيعي:

طبقاً للنظرية الموجية للضوء فإن الضوء عبارة عن

موجات كهرومغناطيسية مستعرضة ولذبذبتها مركبتان

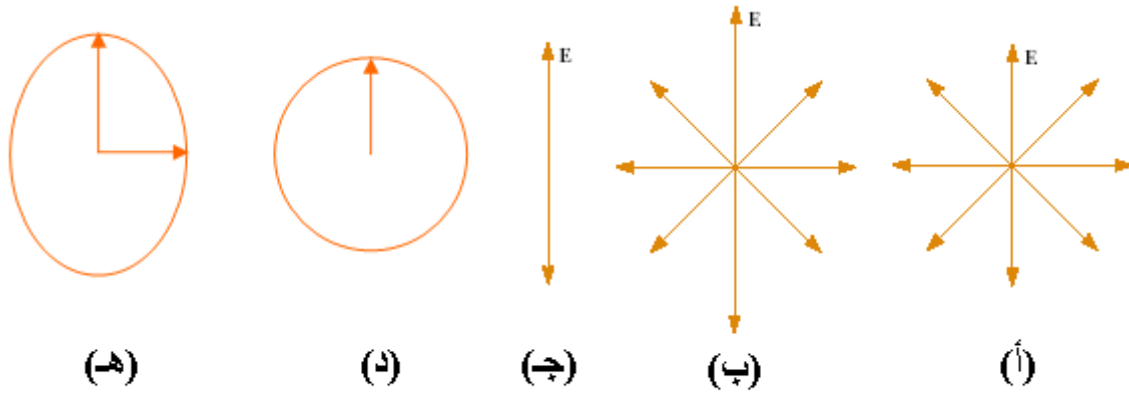
متوافقتان أي لهما نفس الطور ومتعامدتان على اتجاه انتشار

الموجة، أحدهما تمثل تغيراً دورياً في المجال الكهربائي

والأخرى تمثل تغيراً دورياً في المجال المغناطيسي كما في

الشكل (4-14).

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 ثابت شكل (4-15أ).



الشكل (4-15)

الضوء المستقطب:

إذا كان متوسط الذبذبة حول محور انتشار الشعاع الضوئي غير متجانس فإن الضوء

يكون ضوء غير مستقطب، وبمعنى آخر يصبح الضوء مستقطباً إذا كان اتجاه الذبذبة يفضل

اتجاه ما عن بقية الاتجاهات في الفراغ.

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 (4-15-ب).

**2- الاستقطاب الخطي:** أو الكلى أو الاستوائى وفيه يكون متوسط شدة الذبذبة في اتجاه ما أكبر ما يمكن وينعدم في بقية الاتجاهات شكل (4-15-ج).

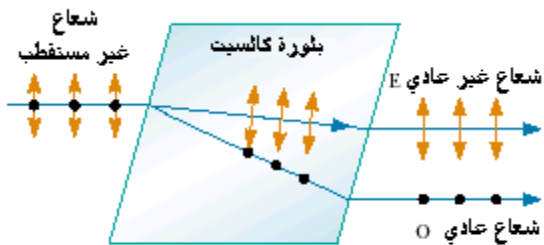
**3- الاستقطاب الدائري:** وفيه يكون متوسط شدة الذبذبة ثابت وفي اتجاه واحد ولكن هذا الاتجاه يعتمد على الزمن ويدور بسرعة زاوية فنقسم نهايته مساراً دائرياً وهنا يوجد تغير في الاتجاه فقط شكل (4-15-د).

**4- الاستقطاب الاهليجي:** وفيه يكون متوسط شدة الذبذبة غير ثابت ولكن في اتجاه واحد وهذا الاتجاه يعتمد على الزمن ويدور بسرعة زاوية فنقسم 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 (4-15-ه).

طرق الحصول على الضوء المستقطب:  
هناك عدة طرق للحصول على الضوء المستقطب وهى:

#### 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.



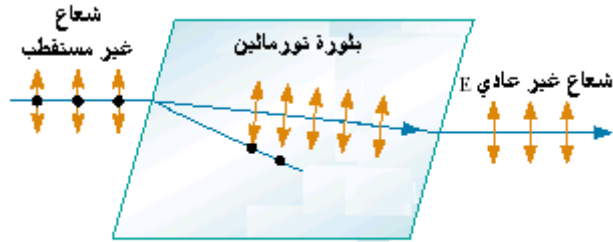
الشكل (4-16)

فعند مرور الضوء في هذه البلورات يحدث الانكسار المزدوج وهو خروج الضوء على هيئة شعاعان أحدهما 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 (4-16)

وقد وجد أن هناك اتجاه "محور بلوري" واحد في تلك البلورة إذا نفذ الضوء فيه لا يعاني 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.

## 2- الاستقطاب بالامتصاص الانتقائي Selective absorption (Dichroism)



الشكل (4-17)

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

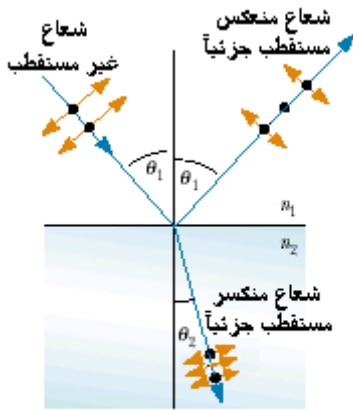
ومن هذه المواد يصنع **المستقطب** و هو الأداة التي نحصل بواسطتها على ضوء مستقطب استقطاب خطي ويتم صناعة المستقطبات من مادة مثل التورمالين تمتاز بخاصية الانكسار المزدوج والامتصاص الانتقائي حيث يتم صنع المستقطب من بلورة ذات سمك كاف لامتصاص الشعاع العادي وبالتالي نحصل فقط على الشعاع غير العادي المستقطب استقطابا خطيا هذا واضح من شكل (4-17).

## 3- الاستقطاب بالانعكاس:

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

وقد وجد أن كل من الشعاعين المنعكس والمنكسر يكون مستقطباً جزئياً

وسوف نهتم في هذه التجربة بالشعاع المنعكس فقط.

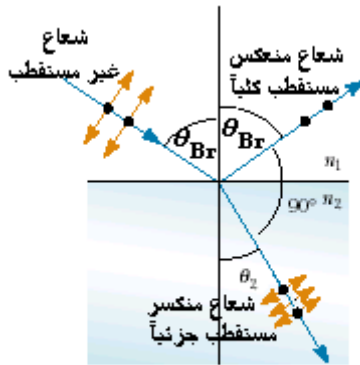


الشكل (18-4)

يكون الشعاع المنعكس مستقطباً استقطاباً جزئياً حيث أن متوسط شدة الذبذبة في المستوى العمودي على مستوى السقوط يكون أكبر منها في حالة المستوى الموازي لمستوى السقوط كما بالشكل (18-4)

وعند زيادة زاوية السقوط تقل المركبة الموازية لمستوى السقوط في الشعاع المنعكس حتى نصل إلى زاوية سقوط معينة

تسمى زاوية بروستر  $\theta_{Br}$  تنعدم عندها تماماً المركبة الموازية لمستوى السقوط، ويصبح الشعاع المنعكس مستقطباً استقطاباً خطياً في اتجاه المستوى العمودي على مستوى السقوط وعند هذه الزاوية يكون الشعاعان المنكسر والمنعكس متعامدان كما في شكل (19-4)، ومنها يمكن حساب معامل الانكسار من العلاقة:



الشكل (19-4)

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

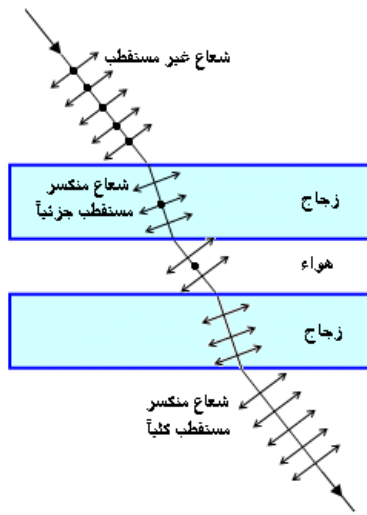
أي أنه بمعرفة زاوية بروستر يمكن تعيين معامل الانكسار النسبي من الوسط الأول إلى الوسط الثاني أو معامل الانكسار المطلق إذا كان الوسط الأول هو الهواء وهذا هو قانون بروستر .

#### 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 مستقطباً استقطاباً جزئياً وعند زاوية بروستر يكون الشعاع المنعكس فقط هو الشعاع المستقطب خطياً واتجاه مستوى الاستقطاب هو الاتجاه العمودي على مستوى السقوط.

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



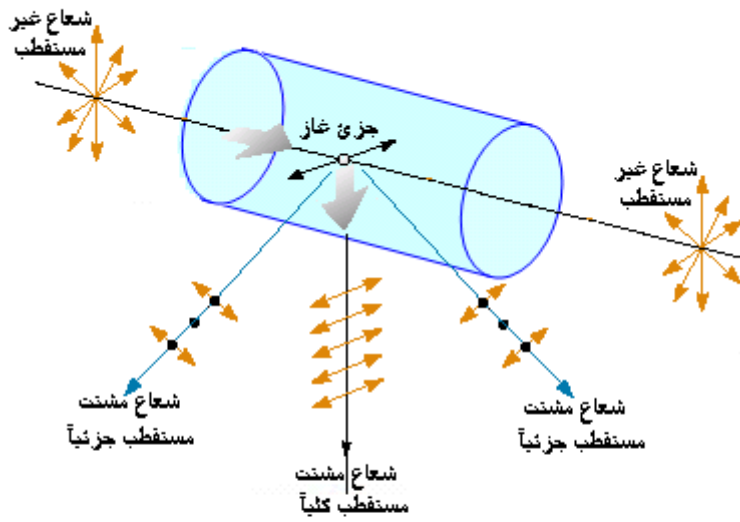
الشكل (20-4)

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

وباستخدام عدد مناسب من الشرائح يمكننا تقريباً الحصول على ضوء مستقطب استقطاب خطي باستخدام الانكسار كما هو في شكل (20-4).

##### 5- الاستقطاب بالتشتت :

إذا مر شعاع ضوئي شدته  $I_0$  خلال أنبوبة مملوءة بالدخان كما بشكل ( 21-4)، فإن شدة الشعاع النافذ  $I$  تكون أقل من  $I_0$  وهذا النقص في شدة الاستضاءة لا يرجع فقط إلى خاصية الامتصاص ولكن أيضاً لأن جزء من الضوء تشتت إلى جوانب الأنبوبة بواسطة جسيمات الدخان - وهذا الضوء المشتت يكون مستقطباً جزئياً، أما الضوء المتشتت إلى جوانب الأنبوبة في الاتجاه العمودي على اتجاه الشعاع الساقط يكون مستقطباً استقطاباً استوائياً.



الشكل (21-4)