

الباب الحادي عشر

الحيود

٢٤٥ - المناطق النصف الدورية

من اكبر العقبات التي لاقتها النظرية الموجية عند مبدئها صعوبة التوفيق بينها وبين ظاهرة انتشار الضوء في خطوط مستقيمة ، حتى اتخذت هذه الظاهرة اداة للطعن في النظرية الموجية .
وأول من علل هذه الظاهرة وفقاً للنظرية الموجية « فرينل » . والفكرة الاساسية التي اتبعها تتضمن تقسيم صدر الموجة مناطق والبحث في تأثير هذه المناطق في نقطة ما تصل اليها الحركة الموجية

ولتوضيح هذه الفكرة نفرض ان ا ب (شكل ٢١٠) يمثل صدر موجة مستوية فكل نقطة من صدر الموجة تكون طبقاً لقاعدة « هيجنز » مركز اضطراب تنتشر منه موجة ، ويكون لهذه الموجات تأثير حاصل في نقطة مثل ه . فالتوصل الى معرفة هذا التأثير نسقط من نقطة ه العمود ه ح على صدر الموجة ، ونقسم هذا الصدر مناطق أولها منطقة مستديرة مركزها نقطة ح ونصف قطرها ح د بحيث يكون

$$ه د - ح د = \frac{\lambda}{2}$$

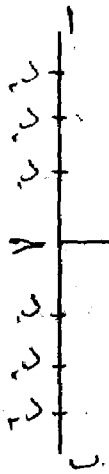
باعتبار أن λ رمز للطول الموجي

وحول ه هذه المنطقة المستديرة حلقة سمكها

د د بحيث يكون

$$ه د - د د = \frac{\lambda}{2}$$

وحول هذه حلقة سمكها د د بحيث يكون



(شكل ٢١٠)

$$h_2 - h_3 = \frac{1}{4} \lambda$$

وهكذا

فالمناطق التي يقسمها صدر الموجة بهذه الكيفية تسمى « مناطق نصف دورية »^(١) وتسمى نقطة h وهي مركز هذه المناطق قطب الموجة بالنسبة الى نقطة h ، وقطب الموجة بالنسبة الى نقطة ما مثل h هو نقطة على صدر الموجة ، تصل المويجة منها الى نقطة h في أقصر وقت وجميع النقط التي على صدر الموجة المستوية ab في طور واحد من الحركة . اذن المويجة المبتدئة من h باعتبارها مركز المنطقة الاولى والمويجة المبتدئة من d باعتبارها مبدأ المنطقة الثانية اذا وصلتا الى نقطة h يكون بين مسيريهما فرق يساوى نصف الطول الموجي . فهما تتداخلان عند نقطة h بحيث تضعف احدهما الاخرى حتى اذا كان اتساع الاهتزازة الحادثة عند h بفعل احدهما مساوياً اتساعها بفعل الاخرى عدمت الحركة الاهتزازية عندها . وكذلك تتداخل المويجة الصادرة من نقطة d باعتبارها نهاية المنطقة الاولى والمويجة الصادرة من نقطة d باعتبارها نهاية المنطقة الثانية . وكذلك تتداخل المويجة الصادرة من أية نقطة بين h و d من المنطقة الاولى والمويجة الصادرة من المنطقة الثانية . اذن تتداخل الموجات الصادرة من المنطقة الاولى والموجات الصادرة من المنطقة الثانية بحيث يضعف بعضها الآخر عند h

وبالمثل تتداخل الموجات الصادرة من المنطقة الثالثة والموجات الصادرة من المنطقة الرابعة بحيث يضعف بعضها الآخر عند h وهكذا
فاذا كان اتساع الاهتزازة الحاصلة عند h بفعل موجات المنطقة الاولى مساوياً اتساع الاهتزازة الحاصلة عندها بفعل موجات المنطقة الثانية وهكذا ، كان التداخل تاماً ، وعدمت الحركة الاهتزازية عند h .

ولكن اتساع الاهتزازة الحاصلة عند h بفعل المنطقة يختلف تبعاً لاختلاف مساحتها ، ولاختلاف بعدها ، ولاختلاف ميلها على المستقيم الواصل بينها وبين هذه النقطة

٢٤٦ - الحاصل بفعل المناطق النصف الدورية

وللبحث في الحاصل النهائي بفعل هذه المناطق النصف الدورية نقدر أولاً مساحتها . فإذا رمزنا للبعد بين نقطة هـ (شكل ٢١٠) وبين القطب حـ بالحرف عـ ، ولنصف قطر محيط المنطقة الأولى بالرمز سـ ، كان البعدين أية نقطة على هذا المحيط وبين هـ مساوياً عـ + $\frac{1}{2}س$ وبما أن هـ حـ عمودى على صدر الموجة يكون

$$٢ع + \frac{1}{2}س = ٢\left(\frac{1}{2}س + ع\right)$$

$$٢ع + \frac{1}{2}س = ٢\frac{1}{2}س + ٢ع + ٢ع$$

فاذا أغفلنا الحد الذى يشمل مربع الطول الموجى يكون

$$٢ع = \frac{1}{2}س$$

واذن تكون مساحة هذه المنطقة هى

$$٢ع = \frac{1}{2}س$$

أوإذا رمزنا بوجه عام لنصف قطر المحيط الخارجى للمنطقة النونية بالرمز سـ كان البعد بين

أية نقطة على هذا المحيط وبين نقطة هـ مساوياً عـ + $\frac{1}{2}س$ واذن يكون

$$٢ع + \frac{1}{2}س = ٢\left(\frac{1}{2}س + ع\right)$$

واذا أغفلنا الحد الذى يشمل مربع الطول الموجى وهو $\frac{1}{2}س$ ، يكون

$$٢ع = \frac{1}{2}س$$

$$٢ع(١ - \eta) = \frac{1}{2}س$$

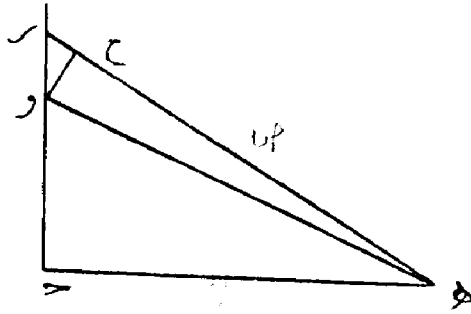
وبما أن جميع هذه المناطق ماعدا الأولى حلقات فمساحة المنطقة النونية تكون

$$٢ع = \frac{1}{2}س - \frac{1}{2}س$$

واذن تكون مساحات المناطق كلها متساوية . غير انه فى تقدير هذه المساحات قد أغفلت

الحدود التى تشمل مربع الطول الموجى . ولكن هذه الحدود لا يصح اغفالها فى المناطق البعيدة

نظراً لكبر قيمة η فلتقدير المساحة الحقيقية للمنطقة النونية نفرض أن سمكها و ر (شكل ٢١١)



(شكل ٢١١)

ونصل هـ و و هـ ر ثم نسقط من والعمود و ح على

هـ ر فالمثلثان و ر ح و هـ ر ح متشابهان

$$\therefore \frac{و}{ر} = \frac{ح}{و}$$

فاذا رمزنا لبعـد المنطقة النونية عن نقطة هـ أى

البعـد ر هـ بالحرف م ومع العلم بأن $ر ح = \frac{و}{ر}$ ينتج أن

$$ر و = \frac{و}{م}$$

ولما كانت المنطقة ضيقة فمساحتها تساوى حاصل ضرب محيطها فى سمكها واذن تكون

مساحة المنطقة النونية

$$\frac{و}{م} \times \frac{و}{م} = ط م و$$

ومنه يتضح أن مساحات المناطق البعيدة تتناسب وابعادها عن نقطة هـ

واذا اعتبرنا المناطق النصف الدورية بمثابة مناطق مضيئة فان شدة الاستضاءة عند نقطة هـ

تتناسب وعكس مربع البعد وتقل كلما قل ميل سطح المنطقة على المستقيم الواصل بينه وبين نقطة

هـ ولما كانت شدة الاستضاءة متناسبة ومربع اتساع الاهتزازة (بند ٢٠٥) يكون اتساع الاهتزازة

الحادثة عند هـ بفعل أية منطقة متناسبا وعكس بعد المنطقة وتقل كلما قل ميل سطح المنطقة على

المستقيم الواصل بينه وبين نقطة هـ . ولكن اتساع الاهتزازة الحادثة عند هـ بفعل أية منطقة

تتناسب أيضاً ومساحة هذه المنطقة لان تغير المساحة بنسبة ما يغير عدد مراكز الاضطراب

بالنسبة نفسها . فاذا راعينا أولاً المناطق المجاورة للقطب دون البعيدة واعتبرنا مساحاتها متساوية

فان اتساع الاهتزازة الحادثة عند هـ بفعلها يتناسب وعكس البعد ويقل كلما قل ميل المستقيم الواصل

بينها وبين نقطة هـ على سطحها . وكلا العاملين عامل البعد وعامل الميل يجعل اتساع الاهتزازة

الحادثة بفعل أية منطقة أقل من اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل التى قبلها أى أن اتساع الاهتزازة الحادثة

بفعل المنطقة الثانية أقل من اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل الاولى كذلك اتساع الاهتزازة الحادثة

بفعل الثالثة أقل من اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل الثانية وهكذا . أما اذا راعينا المناطق البعيدة

فإن مساحاتها تتناسب وأبعادها عن نقطة ه ونظراً لأن زيادة المساحة يزيد اتساع الاهتزازة وزيادة البعد يقلله بنسبة واحدة فإن اتساع الاهتزازة يبقى بفعل هذين العاملين معاً واحداً لا يتغير لولا وجود عامل الميل . وهذا يجعلها تقل كلما بعدت المنطقة

ويتبين مما سبق أنه سواء أ كانت المناطق قريبة من القطب أم بعيدة عنه فإن اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة يقل كلما بعدت المنطقة

ويتبين من هذا أن الاهتزازة الحادثة عند ه بفعل المنطقة الثانية لا تمحو الاهتزازة الحادثة بفعل الأولى ، ولذلك الاهتزازة بفعل المنطقة الرابعة لا تمحو الاهتزازة بفعل الثالثة وهكذا . فإذا رمزنا لاتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة الأولى بالرمز a_1 ولاتساع الاهتزازة الحادثة بفعل الثانية بالرمز a_2 ، وهكذا ، يكون اتساع الاهتزازة النهائية الحاصلة بفعل صدر الموجة كله مساوياً

$$a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + a_5 - a_6 + \dots$$

ونظراً لأن قيمة هذه الحدود تقل بالتدرج يكون للتوالي المذكورة قيمة معينة موجبة . ونظراً لأن قيمة الحد الواحد تصير صغيرة جداً إذا تعددت الحدود عدة مرات ، أمكن بعد عدد معين من الحدود اعتبار أن الحدود الموجبة منها تتعادل والحدود السالبة . ويترتب على هذا أن المناطق البعيدة عن القطب يمكن اغفالها من حيث تأثيرها في نقطة ه ، واذن بالنسبة الى نقطة ه يكون الجزء الفعال من صدر الموجة هو الجزء الصغير من المساحة المحيطة بالقطب ، فإذا حجب هذه المساحة بحاجز ، امتنع تأثير صدر الموجة في نقطة ه ، أى امتنع وصول الضوء إليها ، وتكون نقطة ه في منطقة الظل .

بهذه الكيفية استطاع فرسئل التوفيق بين النظرية الموجية وظاهرة انتشار الضوء في خطوط مستقيمة

٢٤٧ - تقدير اتساع الاهتزازة الحادثة في نقطة بفعل المناطق النصف الدورية

تبين فيما سبق أن اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل صدر الموجة كله هو مجموع المتواليات

$$a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + a_5 - a_6 + \dots$$

فإذا رمزنا لمجموع n من حدود هذه المتوالية بالحرف J وباعتبار a_1 الحد الأخير فردياً يكون

$$J = a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + \dots + a_{n-1} - a_n + a_n \dots (1)$$

ولابحاجد مجموع (1) هذه المتوالية توضع أولاً في القالب الآتي

$$J = \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{2} + a_1 - \frac{1}{2} \right) + \left(\frac{1}{2} + a_2 - \frac{1}{2} \right) + \dots$$

$$+ \dots + \frac{a_1}{2} + \left(\frac{a_1}{2} + a_{n-1} - \frac{1-a_1}{2} \right) + \dots (2)$$

ويتضح من هذا أنه إذا كان الحد من حدود المتوالية الأصلية أصغر من المتوسط العددي

للحدين السابق له والتالي أي كان الحد $\frac{1+a_1}{2} > a_1$ وهكذا فإن المقادير المحصورة بين

الاقواس في المتوالية (2) تكون جميعها موجبة واذن يكون

$$J < \frac{1}{2} + \frac{a_1}{2}$$

ثم توضع المتوالية في القالب الآتي

$$J = a_1 - \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{2} + a_1 - \frac{1}{2} \right) - \left(\frac{1}{2} + a_2 - \frac{1}{2} \right) + \dots$$

$$\dots + \frac{1-a_1}{2} + a_n - \dots (3)$$

ومنه يتضح أنه إذا كان الحد من حدود المتوالية الأصلية أصغر من المتوسط العددي للحدين

السابق له والتالي فإن المقادير المحصورة بين الاقواس تكون موجبة واذن يكون

$$J > a_1 + \frac{1-a_1}{2} - \frac{1}{2} - a_1$$

واذن يكون مجموع المتوالية مقداراً تقع قيمته حتماً بين المقدارين

$$a_1 + \frac{1}{2} \leq a_1 + \frac{1-a_1}{2} - \frac{1}{2} - a_1$$

فإذا كانت حدود المتوالية تنقص بانتظام وتدرج وبطء بحيث لا يكون الفرق بين a_1 و a_2

(١) هذه طريقة « شوستر » لجمع المتوالية وهي مأخوذة عن كتاب

The Theory of Optics by Schuster and Nicholson.

أو بين $a_1, a_2, \dots, a_n$ كبيراً فإن المقدارين المذكورين يكادان يتساويان. واذن يمكن اعتبار مجموع المتوالية

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$$

ويمكن الوصول الى النتيجة نفسها اذا اعتبرنا أن الحد من حدود المتوالية الاصلية أكبر من المتوسط العندى للحددين السابق له والتالى ، فيكون المقدار المحصور بين القوسين فى المتوالية (٢) وفى المتوالية (٣) مقداراً سالباً ، ويكون مجموع المتوالية

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} > 1$$

$$a_1 + \frac{1-a_1}{2} - \frac{1}{2} - 1 < 0$$

أما اذا كان عدد حدود المتوالية عدداً زوجياً تصير المتوالية فى قالبها الاول كما يأتى

$$\dots + \left(\frac{1}{2} + 1 - \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2} + 1 - \frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2} = 1$$

$$(4) \dots a_1 - \frac{1-a_1}{2} + \dots$$

وتصير فى قالبها الثانى كما يأتى

$$\dots \left(\frac{1}{2} + 1 - \frac{1}{2}\right) - \left(\frac{1}{2} + 1 - \frac{1}{2}\right) - \frac{1}{2} - 1 = 0$$

$$(5) \dots \frac{1}{2} - \dots$$

ويمكن كما سبق بيان انه اذا كانت الحدود تنقص بانتظام وتدرج و ببطء بحيث لا يكون الفرق بين أى حد وبين ما يليه كبيراً كان مجموع المتوالية

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$$

ويتبين من هذا انه اذا كان عدد الحدود لا نهائياً فإن مجموع المتوالية يكون

$$ج = \frac{1}{r}$$

أى أن اتساع الاهتزازة الحاصلة من جميع المناطق التى يقسمها مصدر الموجة يساوى نصف اتساع الاهتزازة الحاصلة من المنطقة الاولى على حدها
واذا حجبنا المنطقة الاولى فان اتساع الاهتزازة الحاصلة من المناطق الأخرى يكون مساوياً بمجموع المتوالية

$$a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + \dots$$

ويمكن كما سبق بيان أن مجموعها اذا كانت لا نهائية يساوى $\frac{1}{r}$. فيكون اتساع الاهتزازة الحاصلة مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة الثانية على حدها وكذلك اذا حجبنا المنطقتان الاولى والثانية فان اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل المناطق الأخرى يكون مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة الثالثة على حدها وهكذا (١)

(١) اذا اعتبرنا الحد من حدود المتوالية $a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + \dots$ الخ مساوياً بالمتوسط العددي للسابق له والتالى أمكن الحصول على مجموع n من حدود المتوالية بالطريقة الآتية (أولاً) اذا كان العدد n فردياً يكون مجموع المتوالية مساوياً

$$a_1 + \frac{a_1 + a_2 - a_2}{2} - \dots - a_n + \frac{a_n + a_{n+1} - a_{n+1}}{2} - a_{n+1}$$

$$\frac{a_1}{2} + \frac{a_1}{2} =$$

(ثانياً) اذا كان العدد زوجياً يكون مجموع المتوالية مساوياً

$$a_1 + a_2 + \frac{a_1 - a_2}{2} - a_3 + \dots - a_n + \frac{a_n + a_{n+1} - a_{n+1}}{2} - a_{n+1}$$

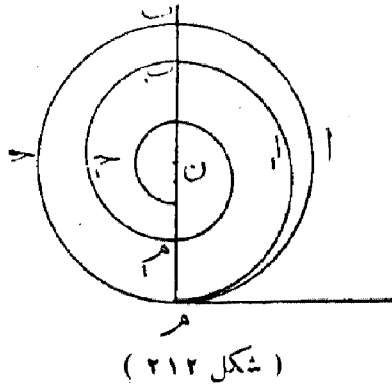
$$\frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{a_1}{2} =$$

$$\frac{a_2}{2} - \frac{a_1}{2} = \text{نظراً لأن } a_1 + a_2 = a_2 \text{ بالتقريب}$$

ويتضح أنه اذا كانت المتوالية لا نهائية يصير مجموعها $\frac{1}{r}$

٢٤٨ - توضيح عمل المناطق النصف الدورية بالرسم

سبق في بند (١٨٤) أن محصلة عدد لا نهائى من الحركات الدورية التى فى اتجاه واحد ،



ويتغير طورها تغيراً منتظماً ، يمكن إيجادها من منحنى الاهتزازة . فإذا قسم صدر الموجة حلقات ذات سمك تفاضلى مركزها القطب . وكان المستقيم الواصل بين أية نقطة على المحيط الخارجى وبين نقطة ه التى يراد إيجاد الاهتزازة الحادثة فيها ، اكبر من المستقيم الواصل بين أية

نقطة على المحيط الداخلى وبينها بمقدار صغير واحد بالنسبة الى جميع الحلقات ، فإن جميع اجزاء الحلقة الواحدة تحدث عند ه اهتزازات ذات اتساع واحد وطور واحد ، ولكن الاهتزازة النهائية التى تحدثها حلقة واحدة تختلف عن الاهتزازة النهائية التى تحدثها حلقة أخرى ، فى الطور وفى الاتساع . فإذا فرضنا مبدئياً أن اتساع الاهتزازات الحادثة بفعل الحلقات واحد ، كان منحنى الاهتزازة محيط دائرة كالدائرة التى قطرها م ب (شكل ٢١٢) ، حيث اذا اعتبرنا طور الاهتزازة الحادثة عند نقطة ه بفعل قطب الموجة (وهو مركز الحلقات) صفراً وأخذ الطور يزداد من الصفر الى أن يبلغ ط كان اتساع محصلة هذه الحركات ممثلاً بالمستقيم م ب وكان طورها قائمة . ونظراً لأن فرق المسير فى هذه الحالة بين القطب والحلقة النهائية بالنسبة الى النقطة ه يكون مساوياً نصف الطول الموجى ، فإن هذه الحلقات تكون المنطقة النصف الدورية الأولى . واذاً يكون اتساع الاهتزازة الحادثة عند نقطة ه بفعل المنطقة النصف الدورية الأولى ممثلاً فى دائرة الاهتزازة بالمستقيم م ب ويكون طورها قائمة

كذلك فمحصلة الاهتزازات التى يتغير طورها من ط الى ٢ ط ، وهى الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الثانية يكون اتساعها ب م ، وطورها مضاد لطور الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الأولى . واذاً يكون اتساع المحصلة الحاصلة من المنطقتين الأولى والثانية صفراً .

ولكن (كما تبين فيما سبق) اتساع الاهتزازات الحادثة عند ه بفعل الحلقات ليس واحداً وإنما يقل كلما بعدت الحلقة عن القطب . فلا يكون نصف قطر الانحناء في منحني الاهتزازة وهو المقدار $\frac{r}{h}$ (انظر بند ١٨٤) ثابتاً بل ينقص بالتدريج . فتتحول دائرة الاهتزازة الى حلزون كالحلزون مـ ا , ب , ح , المبين بشكل (٢١٣) . ويكون اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الأولى مـ ب , واتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الثانية ب , مـ , ويكون طورها مضادا لطور السابقة . واذن يكون اتساع محصلة الاهتزازة الحاصلة من المنطقتين الأولى والثانية مـ مـ , وطورها (بالنسبة الى طور الاهتزازة الحادثة من نقطة القطب) قائمة . ويتبين أن اتساع المحصلة النهائية الحاصلة من جميع المناطق يمثل بالمستقيم الواصل بين نقطة مـ ونقطة ن مركز الحلزون . فاذا كان اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل الحلقة ينقص ببطء كلما بعدت الحلقة عن القطب فان مركز الحلزون يكاد يقع عند منتصف مـ ب , أى يكون اتساع المحصلة النهائية مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الأولى

٢٤٩ - تحقيق النتائج المتعلقة بالمناطق النصف الدورية عملياً

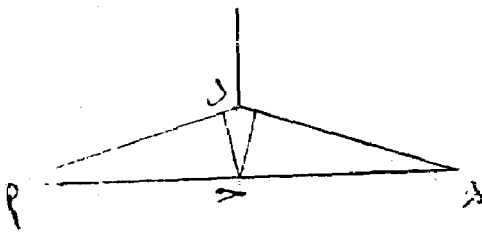
يتضح مما سبق أنه اذا حجبت المناطق النصف الدورية وعرضت المنطقة الأولى وحدها فان اتساع الاهتزازة الحادثة بفعلها عند نقطة ه يكون ضعف اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل صدر الموجة كاه . ولما كانت شدة الاستضاءة تتناسب ومربع اتساع الاهتزازة فان كشف المنطقة النصف الدورية الأولى دون غيرها يجعل شدة الاستضاءة في نقطة ه أربعة امثال شدتها اذا لم تحجب المناطق الأخرى . كذلك لما كان اتساع الاهتزازة الحادثة عند نقطة ه بفعل المنطقتين النصف الدوريتين الأولى والثانية تكاد تكون صفراً ، فان كشفهما دون غيرهما من المناطق يكاد يجعل شدة الاستضاءة عند ه صفراً

وقد سبق بيان انه اذا كانت نقطة ه على بعد ع من صدر الموجة ورمز للطول الموجي بالحرف ن ولنصف قطر المنطقة النصف الدورية الأولى بالرمز س , يكون

$$س = \frac{ن}{٢}$$

فاذا اعتبرنا متوسط قيمة n هي ٠.٠٠٠٠٥ من السنتيمتر وجعلنا نقطة h على بعد أربعة أمتار من صدر الموجة ، فان نصف قطر المنطقة النصف الدورية الأولى يكون $١,٤$ من المليمترات . فاذا أخذ حاجز به فتحة مستديرة قابلة للاتساع والضيّق ، كالفتحات التي تستعمل في آلات التصوير أمام عدساتها ، ووضع الحاجز في مسير حزمة متوازية من الاشعة الضوئية (كالاشعة التي تصدر من مجمع كمجمع السبكتروسكوب مستبدل بفتحته ثقب) وعمودياً عليها ، وروعت نقطة على امتداد المستقيم العمودي على مستوى الفتحة والمار بمركزها وكانت النقطة على بعد أربعة أمتار من الفتحة ، وهيئت الفتحة بحيث كان نصف قطرها $١,٤$ من المليمتر ، كانت المنطقة المعرضة من صدر الموجة بالنسبة الى نقطة h هي المنطقة النصف الدورية الأولى واذن تكون شدة الاستضاءة في نقطة h اكبر مما لو لم يكن الحاجز موجوداً . كما أنه اذا اتسعت الفتحة قليلاً قليلاً أخذت شدة الاستضاءة عند h تقل حتى اذا بلغت مساحة الفتحة ضعف مساحتها الأولى ، وكشفت بذلك المنطقتين النصف الدوريتين الأولى والثانية كادت تصل شدة الاستضاءة عند نقطة h الى العدم

واذا اتخذ ثقب صغير كسم دبوس في صفيحة معدنية معتمة وجعل من خلفه قوس كهربائي يضيئه ، وجعلت الفتحة القابلة للاتساع والضيّق في منتصف المسافة بين الثقب المضاء وبين النقطة التي نراعيها ، فنظراً لأن مصدر الضوء هو الثقب فصدر الموجة ليس مستوياً ، واذن اذا استعملت في هذه الحالة الفتحة التي نصف قطرها $١,٤$ من المليمتر فانها لا تعرض المنطقة النصف



(شكل ٢١٣)

الدورية الأولى لنقطة تبعد عنها بمسافة قدرها أربعة أمتار كما لو كان صدر الموجة مستوياً . فاذا فرضنا أن نقطة a (شكل ٢١٣) تمثل مصدر الضوء ونقطة h تمثل النقطة التي نراعيها ووضع الحاجز الذي به الفتحة المستديرة في منتصف المسافة بينهما وأخذنا نقطة مثل d على المستوى المار بنقطة h

عمودياً على ah بحيث يكون $ad = a - \frac{1}{2}n$

$$٦ د ه - ه > = ١ ن$$

$$١ د + د ه - ه ا = ١ ن$$

يتضح أن

واذن يكون فرق المسير بين الموجة التي تصل الى ه من نقطة ح وبين الموجة التي تصل الى ه من نقطة د مساوياً $\frac{١}{٢} ن$ وتكون الفتحة التي نصف قطرها ح د بمثابة المنطقة النصف الدورية الأولى بالنسبة الى نقطة ه . فاذا رمزنا لنصف قطرها بالرمز س ، وللبعد ه ح بالحرف ع يتضح بما سبق أن

$$٢ ع + \frac{١}{٢} س = ٢ \left(\frac{١}{٢} + ع \right)$$

$$\therefore \frac{١}{٢} س = ع$$

ومنه يتضح انه اذا كان نصف قطر الفتحة ١,٤ من المليمتر كانت نقطة ه تبعد عنها لا بمسافة أربعة أمتار بل بمسافة ثمانية ، وكان حتماً أن يكون الثقب المضاء وهو مصدر الضوء في الجانب الآخر من الفتحة وعلى بعد ثمانية أمتار منها أيضاً

وقد أجرى «وود»^(١) على اساس الفكرة المذكورة تجربة جعل فيها الحاجز ذا الفتحة المستديرة القابلة للاتساع والضييق على بعد تسعة أمتار من مصدر الضوء وجعل في الجانب الآخر منها وعلى بعد أربعة أمتار ونصف متر منها مرآة صغيرة لكي تعكس الضوء الى موضع قريب من الفتحة المستديرة وعلى جانب منها ، بحيث اذا وضع عنده حاجز أبيض رؤيت عليه بقعة من ضوء يكون مركزها بمثابة النقطة ه . فجعل قطرة من دهان أبيض على قطعة صغيرة من الزجاج ووضعها بحيث تكون القطرة في مركز البقعة الضوئية . فاذا وسعت الفتحة بالتدريج أخذ الضوء الواقع على الدهان في الضعف حتى اذا بلغت مساحتها الضعف زال الضوء واختفت قطرة الدهان الابيض في الظلام

هذا ويستنبط أيضاً من نظرية « فرسل » في تقسيم صدر الموجة مناطق نصف دورية انه اذا حجبت المنطقة الأولى دون غيرها فان الاستضاءة عند ه تكاد لا تتأثر . ففي هذه الحالة يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل جميع المناطق الأخرى مساوياً لنصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة الثانية على حدتها وهذا لا يختلف كثيراً عن نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل

المنطقة الاولى . وقد اتخذت هذه النتيجة عند أول ظهور نظرية فرسنل دليلا على بطلانها لانه ظن أن هذه النتيجة ينقضها الواقع . ويمكن التحقق من صحتها اذا علق قرص صغير كقطعة من النقود الصغيرة في سبيل الأشعة الصادرة من مصدر كما في تجربة « وود » السابقة . وقد أجرى « وود » تجربة من هذا القبيل جعل فيها القرص الصغير على بعد ثلاثة أو أربعة أمتار من المصدر واختبر الاستضاءة على محور الظل الهندسى بوساطة قطعة عينية فوجد أنه اذا باغ بعد النقطة التى يختبر عندها الاستضاءة بضعة أمتار من القرص كادت تكون شدة الاستضاءة مساوية شدتها في هذه النقطة عند عدم وجود القرص فيكون سيات وجوده أو عدمه . واذا وضعت العين في هذه النقطة رؤيت حافة القرص مضيئة لأنها حلقة من نور

٢٥٠ - اللوح ذو المناطق

وهناك طريقة أخرى للتحقق عمليا من صحة فكرة « فرسنل » في المناطق النصف الدورية فاذا استطعنا أن نحجب منها المناطق الزوجية دون الفردية كانت النتيجة أن اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل المناطق الفردية وحدها تكون مساوية لمجموع المتوالية

$$1 + 1 + 1 + 1 + \dots$$

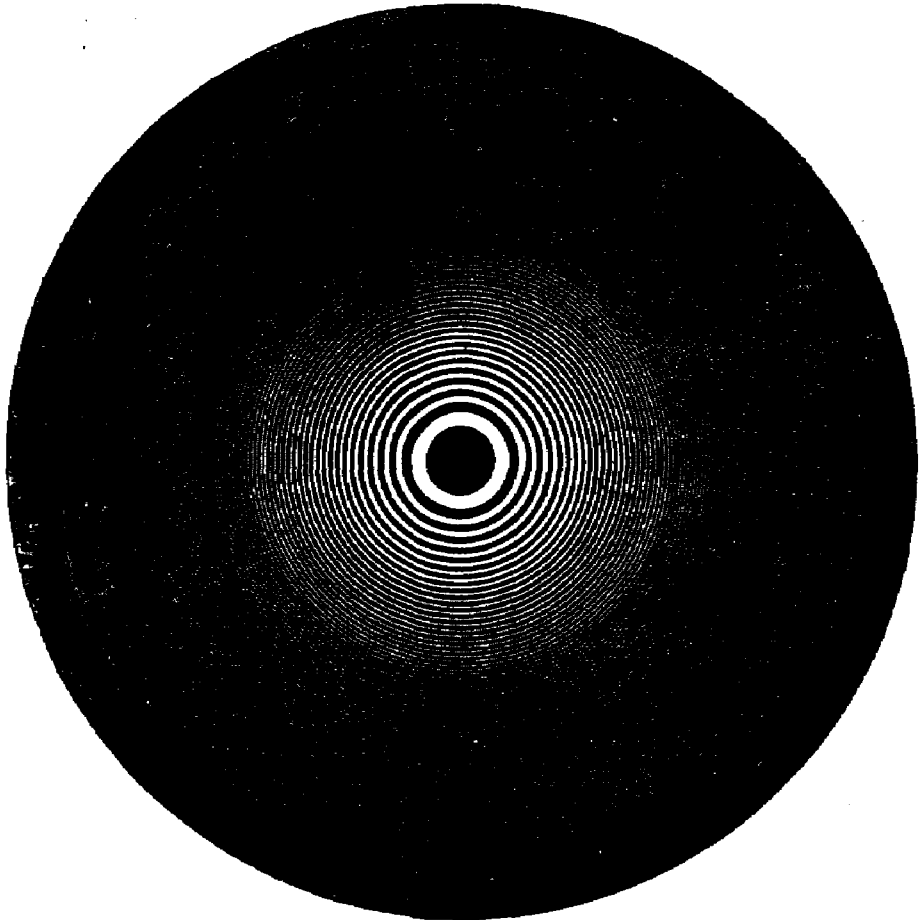
واذن تكون شدة الاستضاءة في النقطة ه أضاعف شدتها عند ما يعرض صدر الموجه كاه فبالرغم من وجود حائل يمنع عن نقطة ه بعض الضوء الواصل اليها ، فإن الاستضاءة تكون اكبر . وكذلك يكون الحال اذا حجبت المناطق الفردية دون الزوجية

وهن الطرق التى يمكن بها حجب المناطق الفردية دون الزوجية أو الزوجية دون الفردية ، ان يرسم على صفحة كبيرة من الورق الأبيض دوأثر متحدة المركز ، النسبة بين مربعات أنصاف أقطارها كنسبة ١ : ٢ : ٣ : ٤ الخ . فاذا طليت الدائرة الوسطى بدهان أسود وتركت الحلقة التى حولها بيضاء ، ثم دهنت التى تليها بدهان أسود وهكذا ، تكونت صورة كما بشكل (٢١٤) فاذا صورت منها صورة فتوغرافية على لوح فتوغرافى كالمعتاد ، فإن الصورة الفتوغرافية السالبة تكون فيها الدائرة الوسطى شفافة ، وحولها حلقة معتمة وحول هذه حلقة شفافة وهكذا . فاذا

رمز النصف قطر الدائرة الوسطى بالرمز σ ، وفرصنا أن الصورة السالبة هيئت بحيث تنطبق على صدر موجة مستوية وراعينا نقطة على امتداد العمود المرسوم على مستوى الصورة ماراً بمركز الحلقات ورمزنا لبعدها عن المركز بالحرف ϵ ، وكان

$$\sigma \epsilon = \frac{1}{2}$$

باعتبار أن σ رمز للطول الموجي ، فإن الدائرة الوسطى الشفافة من الصورة تنطبق على المنطقة النصف الدورية الأولى بالنسبة إلى هذه النقطة والحلقة المعتمدة التي حولها تنطبق على المنطقة النصف الدورية الثانية ، وهكذا . وبهذه الكيفية يتحقق بالنسبة إلى النقطة المذكورة كشف المناطق النصف الدورية الفردية وحبب المناطق النصف الدورية الزوجية . وبالمثل إذا كانت الصورة الفتوغرافية موجبة بحيث تكون الدائرة الوسطى معتمدة والحلقة التي حولها شفافة والتي حول هذه معتمدة وهكذا ، فإنه ينحجب بالنسبة إلى النقطة المذكورة المناطق



(شكل ٢١٤)

الفردية وتكون المناطق الزوجية مكشوفة فاذا اختبرت شدة الاستضاءة في النقطة المذكورة كانت في كلتي الحالتين اكبر مما اذا كان صدر الموجة كله مكشوفاً . واللوح الذى نحصل عليه بمثل الكيفية المذكورة ويتسنى بوساطته حجب المناطق النصف الدورية الفردية أو الزوجية يسمى « لوحاً ذا مناطق نصف دورية » ونسميه بإيجاز « اللوح ذا المناطق »^(١)

وقد كان « وود » أول من حضر ألواحاً ذات مناطق لتحقيق نظرية « فرسنل » وفقاً لما

هو مبين فيما سبق

وقد أشار « اللورد رايلي » الى أنه اذا كانت المناطق الفردية مثلاً من لوح من هذا القليل مكشوفة وكانت المناطق الزوجية شفافة ليست معتمة ، واسكنها مكسوة بطبقة من مادة شفافة تحدث تخلفاً في الضوء النافذ منها قدره نصف الطول الموجى فان الاهتزازة (في النقطة التى نراعيها) الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الثانية يكون طورها متفقاً وطور الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الأولى . كذلك الاهتزازة الحادثة بفعل الرابعة يكون طورها متفقاً وطور الاهتزازة الحادثة بفعل الثالثة وهكذا . وتكون نتيجة ذلك أن اتساع الاهتزازة الحادثة في النقطة التى نراعيها يكون (بالتقريب) ضعف اتساع الاهتزازة في حالة ما تكون المناطق الزوجية محجوبة واذن تكون شدة الاستضاءة أربعة أمثالها . وقد استطاع « وود »^(٢) تحقيق هذه الفكرة . ومن تجاربه فيما يتعلق بهذا انه جعل لوحاً من الزجاج مكسواً سطحه بطبقة من الجيلاتين تحتوى على ثلثى رومات البوتاسيوم بحيث يكون سمكها السمك المناسب لاجداث فرق في المسير قدره نصف الطول الموجى ثم طبع على الطبقة الجيلاتينية صورة لوح ذى مناطق كما تطبع على الاوراق الفتوغرافية الموجبة الصور الفتوغرافية المعتادة . فأجزاء الجيلاتين التى عرضت للضوء تصير غير قابلة للذوبان في الماء أما الاخرى فتذوب . فاذا غسل اللوح المكسو بالجيلاتين بعد ذلك ذاب الجيلاتين عن الاجزاء التى لم تعرض للضوء فاذا كان اللوح ذو المناطق الذى استعمل في طبع الصورة مناطق الفردية معتمة ومناطق الزوجية مكشوفة حصلنا (على اللوح الزجاجى) على طبقة

(١) Zone-Plate

(٢) Physical Optics صفحة (٤٠)

$\overline{د ه}$ نصف قطر المحيط الخارجى للمنطقة النصف الدورية النونية يكون

$$\overline{د ه} - \overline{و ح} + \overline{د ه} = \overline{ه ح} = \overline{و ح}$$

فاذا رمزنا لبعدها النقطة المضيفة وعن المستوى بالحرف $س$ ولبعد نقطة $ه$ عنه بالحرف $م$ فان

$$\overline{د ه} - \overline{و ح} + \overline{د ه} = \overline{م} - \overline{س} = \overline{و ح} \dots (١)$$

وبالرمز لنصف قطر المحيط الخارجى للمنطقة النونية بالرمز $س$ يكون

$$\overline{س}^2 - \overline{و د}^2 = \overline{و ح}^2$$

$$= (\overline{و د} - \overline{و ح})(\overline{و د} + \overline{و ح})$$

ولما كان الفرق بين طول المستقيم $\overline{و د}$ وبين $س$ لا يتجاوز فى الغالب بضعة أضعاف

الطول الموجى أمكن اعتبار

$$\overline{و د} + س \text{ مساوياً } ٢ س$$

$$\therefore \overline{و د} - س = \frac{\overline{و ح}^2}{٢ س}$$

وبالمثل يمكن اثبات أن

$$\overline{و د} - س = \frac{\overline{و ح}^2}{٢ س}$$

فبالتعويض فى المعادلة (١) ينتج أن

$$\overline{و ح} = \frac{\overline{و ح}^2}{٢ س} + \frac{\overline{و ح}^2}{٢ س}$$

$$\therefore \frac{\overline{و ح}}{\overline{و ح}^2} = \frac{١}{س} + \frac{١}{س} \dots (٢)$$

ويتضح من هذا انه اذا تعينت قيمة كل من $س$ و $م$ كانت مربعات انصاف اقطار المناطق

المرسومة على المستوى ١ متناسبة والاعداد $١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦$ الخ فيتوافر اذن الشرط المذكور فى اللوح

فى المناطق

والمعادلة (٢) تشبه تماماً المعادلة الدالة على العلاقة بين بعد الجسم عن العدسة اللامة وبين بعد صورته الحقيقية عنها وهي تدل على العلاقة بين بعد نقطة مضيئة مثل و عن اللوح ذى المناطق وبين بعد النقطة المعينة ه التى تكون شدة الاستضاءة فيها كبيرة وهى النقطة التى يتجمع فيها الضوء الواقع على اللوح ، وهى بمثابة الصورة الحقيقية ، التى تتكون بفعل اللوح للنقطة المضيئة و . ويلاحظ أن مجموع مقلوبى البعدين مقدار ثابت يتعين متى تعين اللوح . ويكون بعد النقطة التى يتجمع فيها الضوء عندما تكون النقطة المضيئة و على بعد لا نهاية له من اللوح مساوياً

$$\frac{u}{v} = \frac{f}{v - f}$$

ويقابل ما يسمى البعد البؤرى للعدسة ، ونسميه هنا البعد البؤرى للوح
واذا صورت على لوح فتوغرافى معتاد صورة فتوغرافية مصغرة لشكل (٢١٤) كانت الصورة بمثابة لوح ذى مناطق يمكن استخدامه كعدسة لامة فاذا كان نصف قطر الدائرة المركزية فى الصورة مليمتراً واحداً واعتبرنا متوسط الطول الموجى للضوء ٠,٠٠٠٠٥ ر. كان البعد البؤرى للوح

$$200 \text{ سنتيمتر} = \frac{0.1 \times 0.1}{0.00005}$$

٢٥٢ — الصفة المميزة للوح ذى المناطق

وان كان اللوح ذو المناطق يعمل عمل العدسة اللامة فى تكوين الصور الحقيقية فهو يختلف عن العدسة اللامة من بعض الوجوه . فاذا فرضنا أن ا ب (شكل ٢١٠) يمثل اللوح ذا المناطق وكانت نقطة ه بؤرته كان

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{v} - \frac{1}{f}$$

أو بوجه عام

$$(١) \quad \dots\dots\dots \overline{h} = \overline{h} \quad \text{و} \quad \overline{h} = \overline{h} \quad \dots\dots\dots (١)$$

$$(٢) \quad \dots\dots\dots \overline{h} = \overline{h} - \overline{h} \quad \text{و} \quad \overline{h} = \overline{h} - \overline{h} \quad \dots\dots\dots (٢)$$

ولكن توجد نقطة بين h و h غير مبنية بالشكل ولتكن h ، بحيث يكون

$$\overline{h} = \overline{h} \quad \text{و} \quad \overline{h} = \overline{h} \quad \dots\dots\dots$$

$$\overline{h} = \overline{h} - \overline{h} \quad \text{و} \quad \overline{h} = \overline{h} - \overline{h} \quad \dots\dots\dots$$

أو بوجه عام

$$(٣) \quad \dots\dots\dots \overline{h} = \overline{h} \quad \text{و} \quad \overline{h} = \overline{h} \quad \dots\dots\dots (٣)$$

$$(٤) \quad \dots\dots\dots \overline{h} = \overline{h} - \overline{h} \quad \text{و} \quad \overline{h} = \overline{h} - \overline{h} \quad \dots\dots\dots (٤)$$

فإذا كانت المناطق الفردية بالنسبة الى نقطة h شفاقة والزوجية معتمة فان الدائرة الشفاقة المركزية تكشف بالنسبة الى نقطة h لا المنطقة النصف الدورية الاولى فحسب بل المناطق الاولى والثانية والثالثة . والحلقة المعتمة التي حولها تحجب بالنسبة الى نقطة h لا المنطقة النصف الدورية الثانية بل المناطق الرابعة والخامسة والسادسة . وهكذا

واذن يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة في نقطة h مساوياً بمجموع المتوالية

$$\dots\dots\dots + \frac{1}{n} + \frac{1}{n} - \frac{1}{n} + \frac{1}{n} + \frac{1}{n} - \frac{1}{n} \dots\dots\dots$$

واذا قبلت هذه المتوالية بالمتوالية الآتية

$$\dots\dots\dots \frac{1}{n} + \frac{1}{n} - \frac{1}{n} + \frac{1}{n} - \frac{1}{n} + \frac{1}{n} - \frac{1}{n} + \frac{1}{n} - \frac{1}{n} \dots\dots\dots$$

وهي الدالة على اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل جميع المناطق يوجد بمجموع الاولى أكبر . واذن

يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة عند h أكبر مما لو لم يكن اللوح ذو المناطق موجوداً

فكان نقطة h هي أيضاً بمثابة بؤرة ولو أن شدة الاستضاءة فيها تكون أقل منها في البؤرة h

ويتضح من مقابلة المعادلة (٣) بالمعادلة (١) أن بعد النقطة h عن اللوح هو ثلث بعد

النقطة h عنه

وبالمثل يمكن بيان انه توجد نقطة أخرى بعدها عن اللوح هو خمس بعد h عنه تكون شدة

الاستضاءة فيها أكبر مما لو لم يكن اللوح موجوداً ولو أنها أصغر منها عند هـ وتكون هي أيضاً بمثابة بؤرة . وهكذا

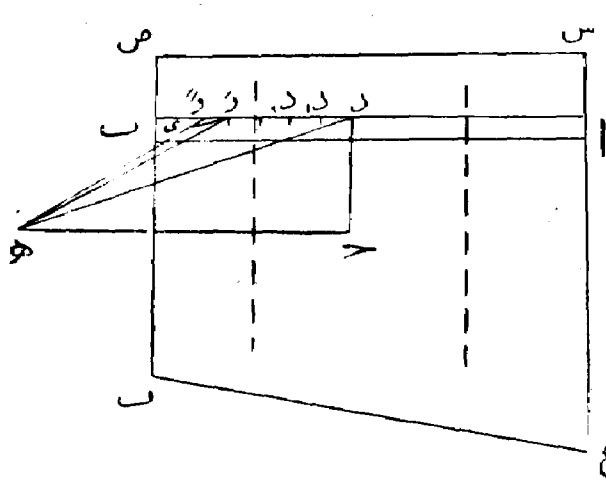
اذن لا يكون للوح ذى المناطق بؤرة واحدة عند هـ بعدها عن اللوح يساوى $\frac{r^2}{r}$ بل عدة بؤرات أخرى غيرها تكون أبعادها عن اللوح هي بالترتيب

$$\frac{r^2}{r} \cdot \frac{1}{6} \quad \frac{r^2}{r} \cdot \frac{1}{6} \quad \frac{r^2}{r} \cdot \frac{1}{6} \quad \frac{r^2}{r} \cdot \frac{1}{6}$$

وتكون شدة الاستضاءة فى الأولى أكبر منها فى الثانية وهكذا

٢٥٣ - تقسيم صدر الموجة شرائط متوازية

وفقاً للنظرية الموجية ، وعلى أساس فكرة تقسيم صدر الموجة مناطق نصف دورية تشرح ظواهر عدة يطلق عليها اسم « ظواهر الحيود » وهى تقسم عادة قسمين . قسم درسه « فرسئل » ويعرف باسمه وهو خاص بحيود الضوء عند صدوره من مصدر قريب على بعد محدود حيث لا يكون



(شكل ٢١٦)

صدر الموجة مستوياً . وقسم درسه « فرونفور » ويعرف باسمه ، وهو خاص بحيود الضوء عند صدوره من مصدر بعيد جداً يعتبر فى مالا نهاية حيث يكون صدر الموجة مستوياً وسنشرح فيما بعد أمثلة معينة من القسمين بمهدين اليها هنا بذكر كيفية أخرى

يقسم بها صدر الموجة يسهل تطبيقها لشرح كثير من هذه الظواهر . ونعنى بذلك تقسيم صدر الموجة شرائط مستقيمة متوازية بدلاً من حلقات مستديرة

فاذا كان صدر الموجة مستوياً كالمستوى س ص ف ع (شكل ٢١٦) وأريد إيجاد تأثيره فى نقطة مثل هـ أمكن تقسيم المستوى شرائط مثل ا ب تكون متوازية وضيقة جداً ، وإيجاد محصلة

الاهتزازة الحادثة عند ه بفعل كل شريط منها على حدته ثم تحصيل هذه المحصلات جميعها لاييجاد المحصلة النهائية الحادثة بفعل صدر الموجة كاه

فاذا راعينا الشريط الضيق ا ب وكان ضيقاً جداً يكاد يكون خطاً مستقيماً وأقمنا من ه العمود ه د عليه كانت نقطة د قطب الشريط بالنسبة الى نقطة ه واذا أقمنا من ه العمود ه ح على صدر الموجة كانت نقطة ح قطب الموجة ثم لناخذ على الشريط ا ب نقطاً مثل د ، ك د ، و د ، الخ تقسمه عناصر أو أجزاء تفاضلية بحيث يكون

$$ه د - ه د = ه د - ه د = ه د - ه د = = ه د - ه د$$

= مقداراً تفاضلياً نرمز له بالحرف ا

فالاهتزازة الحادثة عند ه بفعل هذه الأجزاء التفاضلية التي يقسمها الشريط يختلف بعضها عن الآخر (أولاً) في الطور، لأنه يوجد بين مسير الموجة المبتدئة من أى جزء من اجزاء الشريط الى نقطة ه ، وبين مسير الموجة المبتدئة من الجزء الذى يليه ، فرق قدره ا ، فيكون اختلاف الطور بين الاهتزازة الحادثة عند ه بفعل أى جزء من أجزاء الشريط وبين التى تحدث بفعل الجزء الذى يليه مساوياً $\frac{2\pi}{\lambda} \cdot a$. (وثانياً) في الاتساع ، فاذا راعينا عنصراً مثل و و ورسمنا وى عموداً على ه و فان المثلثين و وى و و د متماثلان . واذن

$$\frac{و و}{و و} = \frac{و و}{و و}$$

$$وى = ا \quad \text{وبما أن}$$

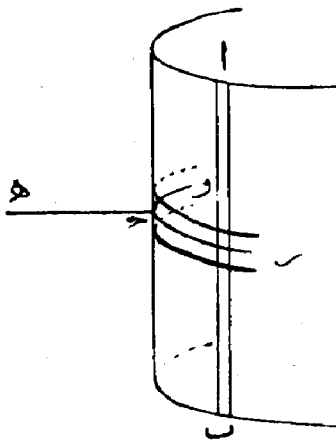
$$\frac{و و}{و و} = \frac{ا}{و و}$$

ولكن اتساع الاهتزازة الحادثة عند ه بفعل أى جزء صغير من أجزاء الشريط يتناسب وطول هذا الجزء ويتناسب أيضاً وعكس بعده عن نقطة ه ، فهو اذن يتناسب والمقدار

$$\frac{و و}{و و}$$

واذن فهو يتناسب عكسياً والبعد د و ، أى بعد الجزء عن نقطة د وهى قطب الشريط .
 وفضلاً عن هذا فهو يقل أيضاً من جراء عامل الميل . واذن فالتسارع الاهتزازة الحادثة عند ه
 بفعل أى جزء من أجزاء الشريط يقل كلما بعد هذا الجزء عن قطب الشريط . واذن يكون
 الجزء الفعال من الشريط قطعة قصيرة الطول تمتد بمقدار صغير على جانبي القطب د وكذلك
 بالنسبة الى جميع الشرائط الاخرى .

ويتضح من هذا أن الجزء الفعال من صدر الموجة كله يكون بمثابة منطقة ضيقة ، تمر
 بالقطب ح عمودية على الشرائط المتوازية . وهذه المنطقة تقسمها الشرائط الموازية للشريط
 ا ب أجزاء تفاضلية ، وينطبق بالنسبة اليها مثل ما ذكر آنفاً بالنسبة الى الأجزاء التفاضلية من
 الشريط ا ب . واذن يكون الجزء الفعال من هذه المنطقة محدوداً هو أيضاً . ولا يتجاوز القطب
 ح من أعلى أو من أسفل الا الى مدى قصير . واذن يكون الجزء الفعال من الصدر الكلى
 للموجة مساحة صغيرة حول القطب ح



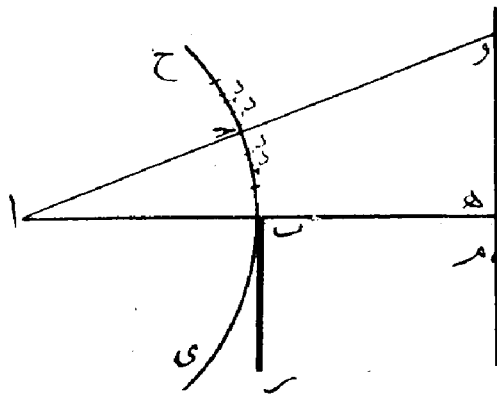
(شكل ٢١٧)

ويمكن تقسيم صدر الموجة الاسطوانية أيضاً شرائط مثل
 ا ب (شكل ٢١٧) وتكون هذه الشرائط موازية لمحور
 الاسطوانة . ويكون تأثير الواحد في نقطة مثل ه مقصوداً أعلى
 الجزء القريب من قطب الشريط ، ويكون الجزء الفعال من
 الصدر الكلى للموجة منطقة ضيقة مثل و ح وهى أيضاً تكون
 محدودة ، تمتد حول سطح الاسطوانة من جانبي القطب ح الى
 مدى قصير ويكون الجزء الفعال من صدر الموجة في هذه الحالة
 أيضاً مساحة صغيرة حول القطب

٢٥٤ - الحيود عند الحرف المستقيم الحاد لحاجز معتم

لنفرض أن نقطة ا (شكل ٢١٨) تمثل فتحة مستطيلة ضيقة ، عمودية على مستوى الورقة
 تضاء بضوء ذى لون واحد . ولنفرض أنه وضع في سبيل الضوء الصادر منها حاجز معتم ب ر
 ٥٥ - الضوء

حرفه عند ب مستقيم حاد مواز للفتحة ، ولنفرض أنه يراد معرفة كيفية توزع الضوء على



[شكل ٢١٨]

سطح حاجز أبيض وه عمودى على مستوى الورقة.
فنظراً لأن الفتحة ا ضيقة يمكن اعتبارها
بمباشرة خط مستقيم ويمكن اعتبار صدر الموجة
الصادرة منها اسطوانياً محوره هذا المستقيم .
وليكن القوس ح ي ممثلاً في الشكل صدر الموجة
الاسطوانية .

فاذا راعينا نقطة مثل و على الحاجز الأبيض ووصلنا المستقيم ا و كانت نقطة تقاطعه
بالسطح الاسطوانى وهى نقطة ح قطب الموجة بالنسبة الى نقطة و . فاذا أخذت على كل من
جانبي ح نقط مثل د ، ٦ د ، ٦ د ، الخ بحيث يكون

$$و د - و د = و د - و د = و د - و د = \dots = و د$$

باعتبار ان د الطول الموجى للضوء ورسمت عند ح ٦ د ، ٦ د ، ٦ د الخ على السطح الاسطوانى
خطوط موازية للمحور (أى عمودية على مستوى الورقة) فان الخط المرسوم عند ح يقسم صدر
الموجة نصفين متماثلين بالنسبة الى نقطة و والخطوط الأخرى المرسومة عند د ، ٦ د ، ٦ د الخ
تقسم كل نصف منهما شرائط نصف دورية . ويتضح مما تقدم فى البند السابق أن هذه الشرائط
تمتد فى الاتجاه الموازى لمحور الاسطوانة (أى فى الاتجاه العمودى على مستوى الورقة) من جانبي
القطب ح الى مدى قصير كما أن الجزء الفعال من صدر الموجة يمتد من نقطة ح فى الاتجاه ح
أو الاتجاه ح ي الى مدى قصير أيضاً ويكون عرض الشرائط النصف الدورية الموازية للمحور أى
تكون المسافات ح د ، ٦ د ، ٦ د الخ آخذة فى النقص كلما بعدنا عن القطب ح

وإذا رسم المستقيم ا ب ه المار بحرف الحاجز المعتم فهو يمثل فى الشكل حد منطقة الظل
باعتبار أن الضوء ينتشر فى خطوط مستقيمة بالضبط ونسميه حد «الظل الهندسى» للحاجز المعتم
فاذا كانت نقطة و بعيدة جداً عن حد الظل الهندسى بحيث يكون كل الجزء الفعال من صدر الموجة
بالنسبة اليها غير محجوب منه شئ ، كانت نقطة و موضع ضياء كما لو لم يكن الحاجز موجوداً . وإذا

قربنا بالتدرج نحو نقطة ه تأخذ بعض الشرائط النصف الدورية الفعالة من النصف الأسفل حى من صدر الموجة فى الاختفاء خلف الحاجز المعتم . فتكون الاهتزازة الحاصلة هى محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل النصف الأعلى ح من صدر الموجة والاهتزازة بفعل الأجزاء المكشوفة من النصف الأسفل فإذا كان عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من هذا النصف زوجياً كان اتساع الاهتزازة الحادثة بفعله صغيراً ، وإذا كان عددها فردياً كان اتساع الاهتزازة كبيراً . فيضاف الى اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل النصف الأعلى مقدار صغير فى الحالة الأولى ومقدار أكبر فى الحالة الثانية . واذن تكون شدة الاستضاءة أصغر فى الحالة الأولى وأكبر فى الثانية . ونظراً لان استمرار التحرك من و نحوه يغير عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من النصف الأسفل من عدد زوجى الى فردى الى زوجى تتغير الاستضاءة تبعاً لذلك من ضعف الى شدة الى ضعف

وإذا رمزنا لاتساع الاهتزازات الحادثة بفعل الشرائط النصف الدورية من أحد نصفي الموجة بالرموز m, n, p, q, r, s الخ بالترتيب أمكن كما فى بند (٢٤٧) بيان أن اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل نصف صدر الموجة يساوى $\frac{1}{2}$ وان اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل الشرائط النصف الدورية المكشوفة من النصف الآخر مساوياً

$$\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}$$

باعتبار أن عددها هو n حيث تكون الإشارة موجبة اذا كان العدد فردياً وسالبة اذا كان العدد زوجياً . واذن يكون اتساع الاهتزازة عندما ينكشف من النصف الأسفل من صدر الموجة عدداً من الشرائط النصف الدورية قدره n هو

$$\left(\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2}$$

فى حين أن اتساع الاهتزازة الحاصلة اذا كان صدر الموجة كله مكشوفاً يكون

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

ومنه يتضح أن اتساع الاهتزازة الحاصلة فى نقطة و عندما ينكشف من النصف الأسفل

عدد فردى من الشرائط النصف الدورية يكون اكبر منه لو لم يكن الحاجز موجوداً ولو كان صدر الموجة كله مكشوفاً ، واذن تكون الاستضاءة فى نقطة و فى مثل هذه الحالة اكبر منها لو لم يكن الحاجز موجوداً . كذلك فان اتساع الاهتزازة فى نقطة و عندما ينكشف من النصف الاسفل عدد زوجى من الشرائط النصف الدورية ، يكون اكبر منه بفعل أحد نصفي صدر الموجة على حدته . وتكون شدة الاستضاءة فى مثل هذه الأحوال اكبر منها بفعل نصف صدر الموجة

و يتضح من الشرح السابق أنه يوجد خارج منطقة الظل الهندسى ، ولكن بالقرب منه مناطق تكون فيها الاستضاءة كبيرة ويينها مناطق تكون فيها الاستضاءة ضعيفة فتكون هناك اذن هذب تسمى « هذب الحيود » . وتكون نقطة و موضع هدبة هضبة اذا كان

$$و - \overline{و} = \frac{1}{2} (1 + 22)$$

حيث يكون عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من النصف الاسفل فردياً . وتكون نقطة و موضع هدبة مظلمة اذا كان

$$و - \overline{و} = 2$$

حيث يكون عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من النصف الاسفل زوجياً ويلاحظ فى هذب الحيود هذه أنها تختلف عن هذب التداخل . فهذب الحيود لا تكون الهدب المظلمة منها مواضع احياء الضوء ، بل هى مواضع تكون فيها شدة الاستضاءة صغيرة بالنسبة اليها فى مواضع الضياء . كذلك فهذب الحيود كلما زادت قريباً من حد الظل الهندسى ، زادت اتساعاً أى كانت أعرض . وذلك لأن الشرائط النصف الدورية المكشوفة تكون من الشرائط القريبة من القطب وتكون اذن من الشرائط العريضة ، وتكون مسافة الانتقال من موضع الظلمة الى التى تليها ، وهو الذى يتطلب أن يقل عدد الشرائط النصف الدورية من عدد زوجى الى العدد الزوجى الذى يليه فى الصغر ، تكون مسافة هذا الانتقال بطبيعة الحال اكبر

واذا وصلنا الى نقطة ه ، أى الى حد الظل الهندسى ، فان الاهتزازة فى تلك النقطة تكون هى الحادثة من النصف الأعلى من صدر الموجة ، ويكون اتساعها اذن مساوياً $\frac{1}{2}$. فيكون فى تلك النقطة ضياء ولو أن شدة الاستضاءة عندها تكون أقل من شدة الاستضاءة فى مواضع

الظلمة التي بين الهدب المضئية التي تحدث في خارج منطقة الظل الهندسي . فإذا دخلنا في منطقة الظل فالتناصل الى نقطة مثل م يخفى الحاجز المعتم بالنسبة اليها ، الشريط النصف الدورى الاول من النصف الأعلى من صدر الموجة ، ويكون التأثير عندها هو الحاصل من الشريط النصف الدورى الثانى وما يليه ، أى يكون اتساع الاهتزازة عندها مساوياً $\frac{1}{2}$. وإذا توغلنا في منطقة الظل الى مدى أكبر نصل الى نقطة يخفى الحاجز المعتم بالنسبة اليها الشريط النصف الدورى الثانى أيضاً ، ويكون اتساع الاهتزازة فيها مساوياً $\frac{1}{2}$ وهكذا

وإذا يقل اتساع الاهتزازة كلما توغلنا في منطقة الظل وتقل تبعاً لذلك شدة الاستضاءة حتى اذا توغلنا الى مدى معلوم يخفى الحاجز الجزء الفعال من النصف الأعلى من صدر الموجة ويعدم الضوء . وهناك يكون الظل الحقيقى

وخلاصة ما تقدم انه لا يكون ثمت ظل كما ينتظر طبقاً لقاعدة انتشار الضوء في خطوط مستقيمة بمعنى أننا اذا قربنا من بعيد من نقطة و نحو نقطة ه لا يكون هناك ضوء مستمر يتحول عند ه فجأة الى ظلمة وفقاً لظاهرة انتشار الضوء في خطوط مستقيمة بل تكون هناك هدب فتتغير الاستضاءة من شدة الى ضعف الى شدة وهكذا ، حتى اذا وصلنا الى نقطة ه يكون لديها ضياء فاذا تجاوزناها الى داخل الظل تقل شدة الاستضاءة بالتدريج وبسرعة وتزول زوالاً تاماً بعد أن نتوغل في منطقة الظل الى مدى معين

٢٥٥ - تطبيق هدب الحيود الحادثة عند الحرف المستقيم حاجز معتم لقياس

الطول الموجى

وللحصول عملياً على هدب الحيود التى سبق شرحها تمهياً فتحة مستطيلة ضيقة وتضاء بضوء ذى لون واحد كضوء لهب الصوديوم ، ويوضع على بعد منها حاجز معدنى ذو حرف مستقيم حاد بحيث يكون حرفه موازياً للفتحة ، ويوضع على امتداد حد الظل الهندسى قطعة عينية ينظر خلالها الى ترى الهدب بوساطتها . ويمكن تهيئة الجهاز على لوحة الابصار بند (٢١٦) بحيث تكون الفتحة رأسية فيتسنى قياس البعد بين أية هدبة من الهدب المذكورة وبين حد الظل الهندسى

ولتقدير الطول الموجي ، نرسم لبعده مصدر الضوء عن الحاجز المعتم بالحرف س ، ولبعد الحاجز عن موضع حدوث الهدب المرئية (أى عن المستوى البؤرى للعينية) بالحرف م ولنفرض أن نقطة وشكل (٢١٨) موضع هدبة مضيئة ولنرمز لبعدها عن حد الظل الهندسى (أى عن نقطة ه) بالحرف د ، فيكون

$$\frac{1}{r} \left(\frac{r^2}{m} + 1 \right) m = \frac{1}{r} (r^2 + m^2) = w$$

$$m = \left(\frac{r^2}{m} + 1 \right) \frac{1}{r} \text{ بالتقريب}$$

$$m = \frac{r^2}{m} + \frac{1}{r}$$

$$6 \text{ أو } \left\{ \frac{r^2}{m(m+r)} + 1 \right\} (m+r) = \frac{1}{r} \{ r^2(m+r) + m^2 \}$$

$$= (m+r) \left(\frac{r^2}{m(m+r)} + 1 \right) \text{ بالتقريب}$$

$$m + m + \frac{r^2}{m(m+r)} =$$

$$\text{ولكن } \overline{w} = \overline{a} - \overline{1} >$$

$$6 \text{ أو } \overline{a} = m$$

$$\therefore \overline{w} = m + \frac{1}{r} + \frac{r^2}{m(m+r)}$$

وبما أن نقطة و هي فرضا موضع هدبة مضيئة يكون

$$\overline{b} - \overline{w} = \overline{a} - \overline{1} = \frac{1}{r} (1 + r^2)$$

$$\text{واذن } \frac{1}{r} (1 + r^2) = \frac{r^2}{m} + m - \frac{r^2}{m(m+r)} - m$$

$$\therefore \frac{1}{r} (1 + r^2) = \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m+r} \right) r^2$$

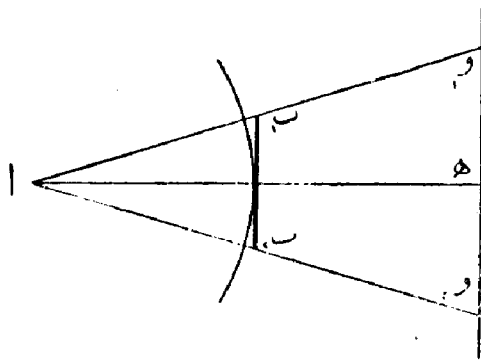
$$\therefore \frac{1}{r} (1 + r^2) = \frac{r^2}{m(m+r)}$$

$$\therefore r (1 + r^2) (m+r) = r^3$$

حيث يلاحظ في تطبيق هذه المعادلة أن أول هدية مضيئة تلى الظل الهندسي تكون قيمة h بالنسبة اليها صفراً. فإذا قيست قيمة h أمكن بمعرفة s 6 6 6 استخراج قيمة u من المعادلة المذكورة

٢٥٦ — الحيود عند حاجز ضيق

لنفرض كما في الحالة السابقة أن نقطة a (شكل ٢١٩) تمثل فتحة مستطيلة ضيقة عمودية على مستوى الورقة تضاء بضوء ذي لون واحد . ولنفرض أنه وضع في سبيل الضوء الصادر



(شكل ٢١٩)

منها حاجز معتم ضيق b b b على هيئة مستطيل بحيث يكون موازياً للفتحة ، ولنفرض أنه يراد معرفة كيفية توزع الضوء على سطح حاجز h h h عمودي على مستوى الورقة . فصدر الموجة في هذه الحالة أيضاً يكون اسطوانياً ويمكن تقسيمه بالنسبة الى أية نقطة على الحاجز

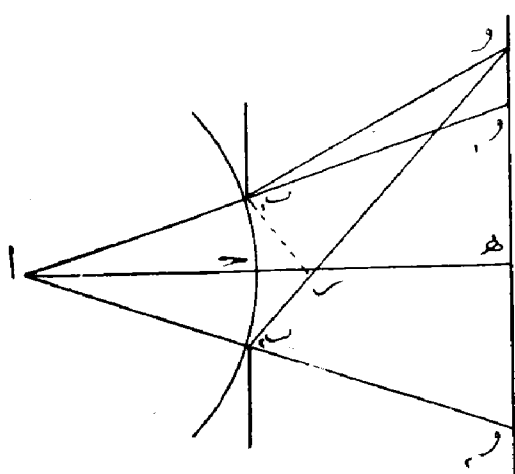
الابيض نصفين متماثلين ، وتقسم كل نصف منهما شرائط نصف دورية كما في الحالة السابقة تماماً فإذا فرضنا أن عرض الحاجز المعتم وهو b b b صغير لا يكفي لحجب الجزء الفعال من صدر الموجة بالنسبة الى نقطة h الواقعة على محور الظل الهندسي ولكنه كاف لحجب الجزء الفعال من النصف الاسفل من صدر الموجة بالنسبة الى نقطة u الواقعة على الحد الأعلى للظل الهندسي وكاف لحجب الجزء الفعال من النصف الاعلى من صدر الموجة بالنسبة الى نقطة h ، الواقعة على الحد الأسفل للظل الهندسي ، فإن المنطقة الواقعة على الحاجز الابيض خارج الظل الهندسي وقرية منه تحدث فيها هدب حيود كما في الحالة السابقة . أما بالنسبة الى نقطة h فإن الحاجز المعتم يحجب من كل من نصفي صدر الموجة ، بعض الشرائط النصف الدورية الاولى ويكشف ما دون ذلك . ويكون اتساع الاهتزازة الحاصلة عند h بفعل الشرائط النصف الدورية الفعالة المكشوفة من النصف الاعلى مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل

أول شريط نصف دورى مكشوف منها ، وبالمثل يكون اتساع الاهتزازة عند ه بفعل الشرائط المكشوفة من النصف الاسفل مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل أول شريط نصف دورى مكشوف منها . ونظراً لتمامثل الشكل بالنسبة الى نقطة ه ، فانه يمكن لسهولة الشرح اعتبار التأثير عند ه كتأثير مصدرى ضوء متشابهين أحدهما عند ب والآخر عند ب حيث يحدث من تداخل ضوءيهما عند ه ضياء شديد وتكون النقطة ه موضع هدبة مضيئة . أما اذا سرنا من نقطة ه نحو و أو نحو ب حدث بين مسير الضوء الواصل من ب وبين مسير الضوء الواصل من ب فرق . فاذا بلغ هذا الفرق نصف الطول الموجى حدثت ظلمة . واذا بلغ طولاً موجياً حدث ضياء وهكذا . واذا حدث هدب يمكن اعتبار الهدب القريبة من نقطة ه هدب تداخل ، كهذب التداخل المعتادة التى تحدث عند تداخل ضوءى مصدرين متشابهين ويمكن رؤية الهدب التى تتكون فى هذه الحالة اذا هيئت فتحة مستطيلة ضيقة تضاء بضوء ذى لون واحد كضوء لهب الصوديوم ، ووضع أمامها حاجز معتم ضيق ، كإبرة رقيقة أو سلك رفيع قطره مليمتر مثلاً ، بحيث يكون موازياً للفتحة وعلى بعد بضعة سنتيمترات منها ، ثم نظر اليه من الجانب الآخر بواسطة قطعة عينية . ويمكن استخدام الهدب الحادثة داخل منطقة الظل الهندسى بالقرب من محوره لقياس الطول الموجى للضوء . فنظراً لأن هذه الهدب يمكن اعتبارها هدب تداخل متكونة بفعل مصدرين متداخلين أحدهما عند ب والآخر عند ب ، فانه اذا رمز لسمك الحاجز (أى البعد) ب ب بالحرف ب والبعد بين الحاجز والمستوى البورى للعينية بالحرف ع وللطول الموجى بالحرف د كان متوسط البعد بين هدين منها مساوياً $\frac{D}{2}$ كما سبق فى هدب التداخل

٢٥٧ - الحيود عند فتحة مستطيلة ضيقة

لنفرض كما فى الحالات السابقة أن نقطة ا (شكل ٢٢٠) تمثل فتحة مستطيلة ضيقة عمودية على مستوى الورقة ، تضاء بضوء ذى لون واحد . وانه وضع فى سبيل الضوء الصادر عنها حاجز معتم به فتحة مستطيلة ضيقة ب ب موازية للأولى . ولنفرض أنه يراد معرفة

كيفية توزيع الضوء على سطح حاجز أبيض مواز للحاجز المعتم المذكور. فصدر الموجة كما في



(شکل ۲۲۰)

من نصفى صدر الموجه بالنسبة الى نقطة ه ، فردياً كانت شدة الاستضاءة فى نقطة ه كبيرة واكبر مما لو كان صدر الموجه كله مكشوفاً . فاذا سرنا من ه نحو و (أو نحو و) حتى يحتجب شريط نصف دورى فردى من النصف الاعلى (أو من النصف الاسفل) وينكشف شريط نصف دورى زوجى من النصف الاسفل (أو من النصف الاعلى) فان شدة الاستضاءة فى تلك النقطة تقل . وتكون أقل مما لو كان صدر الموجه كله مكشوفاً . واذا استمر السير حتى يحتجب شريط نصف دورى زوجى من النصف الاعلى (أو من النصف الاسفل) وينكشف شريط نصف دورى فردى من النصف الاسفل (أو من النصف الاعلى) كانت شدة الاستضاءة فى تلك النقطة أكبر وهكذا . واذا تكون هناك هدب حيود فى المنطقة الواقعة فى الشكل فما بين المستقيمين ب_١ و ب_٢ و ب_٣ و ب_٤

أما في المنطقة الخارجة عن هذين المستقيمين كما في نقطة و مثلاً فإن النصف الأعلى من صدر الموجة يكون محجوباً ، ويكون من الشرائط النصف الدورية من النصف الأسفل عدد محدود مكشوفاً . وهذا العدد قد يكون زوجياً وقديكون فردياً . فإذا كان زوجياً كانت شدة الاستضاءة في النقطة المذكورة ضعيفة وإذا كان فردياً كانت شديدة . وإذا تكون هناك هدب حيود أيضاً في هذه المنطقة . ولكنها تختلف عن هدب الحيود في المنطقة الواقعة فيما بين β_1 و β_2 و β_3 في أنها (أي الأولى) ضيقة أقرب بعضها إلى الآخر ، نظراً لأن الشرائط المكشوفة بالنسبة إلى نقطة و

تكون ضيقة ويكون الانتقال الذى يترتب عليه تغير عددها من زوجى الى فردى الى زوجى صغيراً

وقد فرضنا فيما سبق أن عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من كل من نصفى صدر الموجة بالنسبة الى نقطة ه عدد فردى فكانت نقطة ه موضع ضياء شديد . أما اذا كان عددها بالنسبة الى نقطة ه عدداً زوجياً كانت شدة الاستضاءة فى هذه النقطة ضعيفة واذن تكون هذه النقطة موضع هدبة مظلمة ، ثم تليها من أعلى أو من أسفل هدبة مضيئة وهكذا
أو اذا كان

$$h_1 - h_2 = \frac{1}{4} (1 + n_2)$$

كان عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة بالنسبة الى نقطة ه من النصف الاعلى (وكذلك من النصف الاسفل) فردياً فتكون نقطة ه موضع هدبة مضيئة
واذا كان

$$h_1 - h_2 = n_2$$

كانت نقطة ه موضع هدبة مظلمة
كذلك فبالنسبة الى نقطة و ، اذا كان

$$w_1 - w_2 = \frac{1}{4} (1 + n_2)$$

كان عدد الشرائط المكشوفة من النصف الاسفل من صدر الموجة فردياً ، فتكون نقطة و موضع هدبة مضيئة أما اذا كان

$$w_1 - w_2 = n_2$$

كانت نقطة و موضع هدبة مظلمة

ويلاحظ انه اذا كانت الفتحة ب ب ضيقة جداً بحيث لا ينكشف بالنسبة الى نقطة ه من كل من نصفى صدر الموجة غير الشريط النصف الدورى الاول أو جزء منه فان الهدب الحادثة عنده أو بالاحرى بالقرب منها تزول ، وتكون الاستضاءة هناك منتظمة

٢٥٨ - تطبيق هذب الحيود عند الفتحة المستطيلة الضيقة لقياس الطول الموجي

وللحصول على الهدب التي سبق شرحها ، تهيأ فتحة مستطيلة ضيقة تضاء بضوء ذي لون واحد كضوء لهب الصوديوم ، وأخرى موازية لها ذات اتساع مناسب على بعد حوالي ٥٠ سنتيمتراً منها . وينظر الى هذه الفتحة من الجانب الآخر خلال قطعة عينية . فإذا كانت الفتحة الثانية ضيقة جداً ، كانت الاضاءة حوالى منتصف المنطقة المحدودة في شكل (٢٢٠) بالمستقيمين P_1 و P_2 و P_3 منتظمة ليست بها هذب . أما اذا كانت متسعة شيئاً ما رؤيت هناك هذب عريضة غير متساوية البعد ، وترى هذب أخرى ضيقة تكاد تكون متساوية البعد خارج المنطقة المذكورة أى في منطقة الظل الهندسى بالقرب من حده . أما اذا كانت الفتحة $P_1 P_2$ متسعة جداً ، فإن كل شطر من شطريها يعمل عمل الحاجز ذي الحرف المستقيم كما في بند (٢٥٤) ويمكن تطبيق الهدب التي تتكون في منطقة الظل الهندسى بالقرب من حده لقياس الطول الموجي للضوء

فإذا فرضنا أن نقطة و (شكل ٢٢٠) موضع هدبة مطلبة مثلاً فإن

$$\overline{O P_2} - \overline{O P_1} = r$$

فإذا أسقطنا من P_1 العمود $P_1 R$ على $O P_2$ فنظراً لأن اتساع الفتحة $P_1 P_2$ صغير جداً بالنسبة الى بعد الحاجز عن الفتحة أمكن اعتبار $P_1 R$ عمودياً على HO ونظراً لأن HO عمودى على $P_1 P_2$ فإن المثلثين $P_1 P_2 R$ و HOH متشابهان

$$\frac{\overline{P_1 P_2}}{\overline{HO}} = \frac{\overline{P_1 R}}{\overline{OH}} \quad \therefore$$

$$\frac{\overline{P_1 P_2} \cdot \overline{OH}}{\overline{HO}} = \overline{P_1 R} \quad \therefore$$

فإذا رمزنا للبعد OH بالحرف h ولاتساع الفتحة $P_1 P_2$ بالحرف a ولبعد الفتحة عن

مستوى الحاجز الأبيض (أو المستوى البؤري للعينية عند النظر إلى الهدب خلالها) بالحرف ϵ فنظراً لأن البعد $و$ صغير بالنسبة إلى $ح$ أمكن اعتبار $ح$ و مساوياً ϵ واذن يكون

$$\frac{1}{\epsilon} = \frac{1}{ر ب}$$

$$\text{ولكن } ر ب = ر ب_1 - ر ب_2 = ر ب_1 - ر ب_2$$

$$\text{اذن } \frac{1}{\epsilon} = \frac{1}{ر ب_1}$$

$$\therefore ر ب_1 = \epsilon$$

واذن يكون بعد موضع الظلمة التي تلي هذه عن نقطة $هـ$ هو

$$\epsilon (1 + ر) = \epsilon$$

واذن يكون متوسط البعدين هـ ب₁ و هـ ب₂ أي متوسط عرض الهدبة المضئية مساوياً

$$\frac{\epsilon}{1}$$

فاذا قيس البعد ϵ وعرف $ر$ أمكن بقياس متوسط عرض الهدبة المضئية تقدير الطول

الموجي $ر$

ونظراً لصعوبة قياس اتساع الفتحة وهو المقدار $ر$ فكثيراً ما تطبق هذه الطريقة كوسيلة

لايجاد اتساع الفتحة مع العلم بقيمة $ر$

٢٥٩ - تكاملاً فرسنل وحلزون كرنو

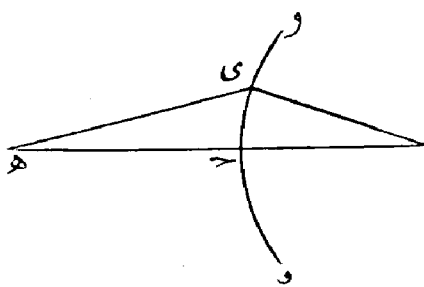
تبين في بند (٢٥٣) أن الجزء الفعال من صدر الموجة الاسطوانية منطقة ضيقة تمتد

حول سطح الاسطوانة من جانبي القطب إلى مدى قصير. فاذا فرضنا أن $و$ ح (شكل ٢٢١)

يمثل الجزء الفعال من صدر الموجة الاسطوانية بالنسبة إلى نقطة $هـ$ ، وكان محور السطح الاسطوانى ساراً بنقطة $ا$ عمودياً على سطح الورقة فالجزء الفعال، ولو

أنه في الحقيقة على هيئة شريط يحيط بالسطح الاسطوانى

(أنظر شكل ٢١٧) واذن يمتد في الاتجاه الموازى لمحور



(شكل ٢٢١)

الاسطوانة ، فامتداده في هذا الاتجاه محدود وصغير . فيصح أن نفعل للسهولة الامتداد في هذا الاتجاه ، ونعد الجزء الفعال قوساً من دائرة كالقوس و γ في شكل (٢٢١)

فاذا أخذنا نقطة مثل γ على هذا القوس فالاhtزازة الحادثة عند δ بفعل القطب γ والاهتزازة الحادثة عندها بفعل النقطة γ ، يكون بين طوريهما اختلاف يمكن تعيينه . فاذا رمز لنصف قطر القوس و γ بالحرف α وللبعد δ بالحرف β ولفرق المسير بين γ و δ بالحرف ϕ ، كان

$$\gamma + \beta = \delta$$

وفي المثلث $\gamma \delta \alpha$ يكون

$$\gamma^2 (\beta + \alpha) = \delta^2 (\beta + \alpha) + \alpha^2 - \beta^2 \quad (1) \text{ حتى } \gamma \delta \alpha$$

ولما كان طول القوس γ صغيراً ، فاذا رمز الى طوله بالحرف μ ، فان

$$\gamma \approx \mu$$

$$\text{واذن حتى } \gamma \delta \alpha \quad 1 - \frac{\beta}{\mu} = \frac{\alpha^2}{\mu^2} \quad \text{بالتقريب}$$

واذن يكون

$$\gamma^2 (\beta + \alpha) = \delta^2 (\beta + \alpha) + \alpha^2 - \beta^2 \quad (2) \quad \left(\frac{\mu^2}{\alpha} - 1 \right) (\beta + \alpha)$$

فاذا أغفلنا المقدار μ^2 لان فرق المسير لا يتجاوز بضعة أضعاف الطول الموجي ينتج بعد

اختصار المقدار المذكور أن

$$\mu^2 \frac{\beta + \alpha}{\alpha} = \delta^2 - \beta^2$$

$$\mu^2 \frac{\beta + \alpha}{\alpha} = \delta^2 \quad \therefore$$

فهذا المقدار يعين فرق المسير بين γ و δ . اذن يكون اختلاف الطور بين الاهتزازة

الحادثة عند δ بفعل γ والاهتزازة الحادثة عندها بفعل γ مساوياً

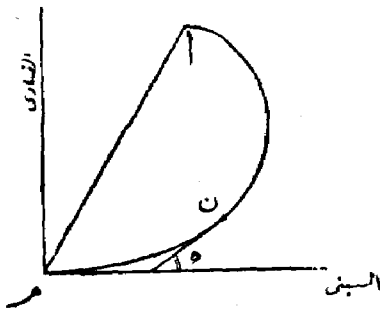
$$\frac{\mu}{\alpha} \cdot \frac{\beta + \alpha}{\alpha}$$

باعتبار أن n رمز للطول الموجي

أما اتساع الاهتزازة الحادثة عند h بفعل الأجزاء المختلفة من القوس و h رفاته يمكن اعتباره متناسباً وطول الجزء التفاضلي الذي نراعيه من القوس وذلك لأنه نظراً لقصر طول القوس فأبعاد النقط المختلفة منه عن نقطة h تكاد تكون واحدة ، وميلها على المستقيم الواصل بينها وبين نقطة h يكاد هو أيضاً يكون واحداً . فإذا رمزنا لطول الجزء التفاضلي عند y برمز التفاضل dy ، م أمكن اعتبار اتساع الاهتزازة الحادثة بفعله متناسباً ومقدار dy ، م

فبهذه الكيفية وعلى الفروض المذكورة يتعين اتساع الاهتزازة الحادثة عند نقطة h بفعل أى جزء من الأجزاء الفعالة من صدر الموجة ويتعين أيضاً طورها (بالنسبة طبعاً إلى طور الاهتزازة الحادثة عند h بفعل القطب)

ولما كانت الاهتزازة الحاصلة عند h بفعل النصف h و من الجزء الفعال من صدر الموجة



(شكل ٢٢٢)

هي محصلة سلسلة متتالية من الاهتزازات تتناسب اتساعاتها والمقدار dy ، م ويتغير طورها بالتدرج أمكن تمثيلها بمنحنى الاهتزازة . فإذا فرضنا بوجه عام أن المنحنى المرسوم في شكل (٢٢٢) يمثل منحنى الاهتزازة . وأخذنا أية نقطة مثل n عليه وكان المماس عند n يصنع زاوية قدرها h مع

المحور السيني فإن h تمثل طور الاهتزازة التي يمثل اتساعها بطول الجزء التفاضلي من المنحنى عند n فإذا رمزنا لطول هذا الجزء التفاضلي بالرمز dy ورمزنا لاحداثي نقطة n بالحرفين s و y فإن

$$s = y = h \quad \text{حتا}$$

$$s = y = h \quad \text{حا}$$

فإذا كانت نقطة a هي نهاية المنحنى ، فإن محصلة الاهتزازات التي يتغير طورها بالتدرج من الصفر إلى قيمة الزاوية بين المماس المرسوم عند a والمحور السيني ، فإن هذه المحصلة يكون اتساعها ممثلاً بطول المستقيم ma . وبالرمز لاحداثي نقطة a بالحرفين s و y يكون

$$s = y = \int dy = h \quad \text{حتا}$$

$$٦ ص = \int و م = \int و م حاه$$

$$وبما أن م - آ = س + ص$$

يكون مربع اتساع المحصلة النهائية لجميع الاهتزازات مساوياً

$$(\int و م حتاه)^2 + (\int و م حاه)^2 \dots \dots (١)$$

واذن يمكن ايجاد اتساع الاهتزازة الحاصلة عند نقطة ه (شكل ٢٢١) بفعل النصف

حو من الجزء الفعال من صدر الموجة الاسطوانية باستبدال المقدار

$$\frac{\pi}{n} \frac{s+1}{s-1} م$$

بدلاً من ه في المقدار (١) وباعتبار أن و م طول الجزء التفاضلي من القوس وحو

فيكون مربع اتساع الاهتزازة الحاصلة عند نقطة ه بفعل نصف الجزء الفعال من صدر الموجة

مساوياً (١)

$$(\int حتاه \frac{\pi}{n} \frac{s+1}{s-1} م و م)^2 + (\int حاه \frac{\pi}{n} \frac{s+1}{s-1} م و م)^2 \dots \dots (٢)$$

ويستبدل عادة في المقدار (٢) و م بالمقدار $\frac{\pi}{n} \frac{s+1}{s-1} م$

$$\int حتاه \frac{\pi}{n} \frac{s+1}{s-1} م و م \quad \text{فيوضع}$$

$$= \int حتاه \frac{\pi}{2} م و م$$

$$\text{وبما أن } و م = \frac{(s+1)^2}{n(s-1)}$$

$$\therefore و م و م = \frac{(s+1)^4}{n(s-1)}$$

$$\therefore و م و م = \frac{(s+1)^2}{n(s-1)} \sqrt{\frac{(s+1)^2}{n(s-1)}}$$

$$\therefore و م = \frac{\sqrt{n(s-1)}}{(s+1)^2}$$

$$\therefore \int حتاه \frac{\pi}{n} \frac{s+1}{s-1} م و م = \int حتاه \frac{\pi}{2} م و م$$

(١) نظراً لأن اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل الجزء التفاضلي و م يتناسب و قيمة و م وليس هو مساوياً لها فربح اتساع الاهتزازة لا يساوي فعلاً المقدار (٢) بل يكون متناسباً وابهاء ولكن للسهولة اعتمد هنا مساوياً له

واذن يتحول المقدار (٢) الى الصورة الآتية

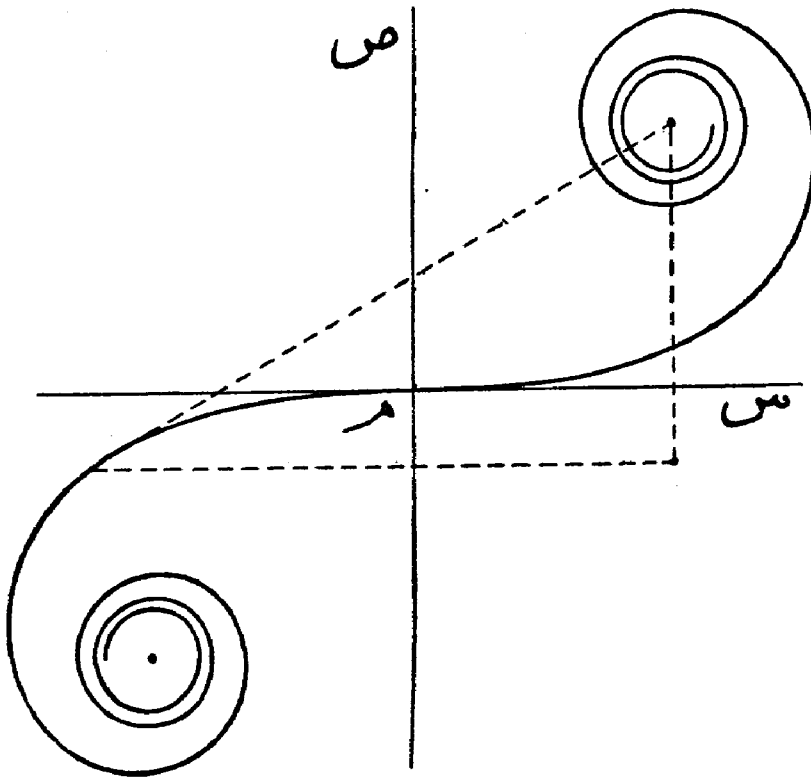
$$\frac{u-1}{(u+1)^2} \left\{ \int_0^1 \frac{u}{u^2+1} du + \int_1^u \frac{u}{u^2+1} du \right\} \dots (3)$$

ويساوى هذا المقدار، مربع اتساع الاهتزازة الحاصلة عند ه بفعل نصف الجزء الفعال من صدر الموجة الاسطوانية . ويعرف التكاملان في المقدار المذكور « بتكامل فرسnel ه ^(١) » ونظراً لان شدة الاستضاءة تتناسب ومربع اتساع الاهتزازة فان المقدار المذكور يمكن أن يتخذ مقياساً لشدة الاستضاءة الحادثة عنده بفعل نصف صدر الموجة الاسطوانية

ويتبين من المقدار (٣) أن منحنى الاهتزازة يمكن أن يتعين بالمعادلتين

$$S = \int_0^1 \frac{u}{u^2+1} du$$

$$C = \int_0^1 \frac{u}{u^2+1} du$$



(شكل ٢٢٣)

حيث يكون طول المستقيم الواصل بين نقطة الاصل وأية نقطة عليه مساوياً $\sqrt{s^2 + v^2}$ حيث s ص و v ص ويتناسب هذا واتساع محصلة الاهتزازات التي يمثلها الجزء المحصور بين هاتين النقطتين من المنحنى

فاذا أمكن تقدير ^(١) قيمات عدة لأحد هذين التكاملين ، والقيمت التي تقابلها للتكامل الثاني ورسم المنحنى الدال على علاقة s و v ، كان هو منحنى الاهتزازة . ويكون هذا المنحنى حلزوناً كالمبين بشكل (٢٢٣) ويعرف بحلزون « كورنو » ^(٢) . ويرسم ذا فرعين يمثل أحدهما الاهتزازات الحادثة بفعل أحد نصفي صدر الموجة ، ويمثل الآخر الاهتزازات الحادثة بفعل النصف الثاني

٢٦٠ - الطريقة الهندسية لرسم حلزون كورنو

إذا أخذنا أية نقطة على الحلزون ، ورمزنا للزاوية التي يصنعها المماس عند هذه النقطة مع المحور السيني بالحرف h فإن نصف قطر الانحناء عند هذه النقطة يساوى $\frac{r}{\sin h}$ باعتبار أن r رمز لتفاضل طول المنحنى . فاذا اعتبرنا قيمة المقدار $\frac{r}{\sin h}$ الوحدة ، فإن $m = r$ وبما أن

$$h = \frac{p}{r(1 + m^2)}$$

يكون

$$h = \frac{1}{p} \cdot \frac{r}{1 + m^2}$$

$$\therefore \frac{r}{h} = \frac{p}{1 + m^2} = \text{نصف قطر الانحناء}$$

(١) للاطلاع على كيفية تقدير القيمات المختلفة يراجع كتاب Physical Optics by Wood صفحة ٢٤٥

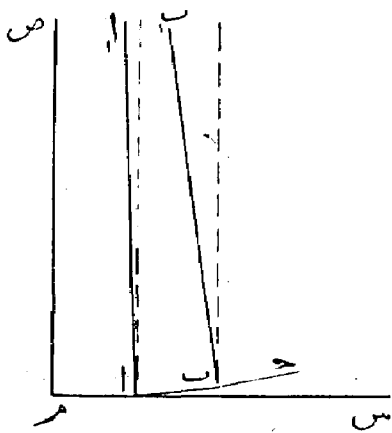
وفيه بصفحة ٢٤٧ جدول يحتوى على قيمات مختلفة لكل من التكاملين

(٢) Cornu's Spiral

فاذا قدر نصف قطر الانحناء في نقط مختلفة . وقدرت قيمة الزاوية التي يصنعها المماس عند هذه النقط مع المحور السيني أمكن رسم الحلزون

فاذا ابتدأنا بنقطة الأصل حيث يكون θ صفراً فإن نصف قطر الانحناء يكون مقدارا لانهاية له وتكون قيمة θ صفراً أيضاً . فكأن الجزء التفاضلي من المنحنى يكون عند نقطة الأصل مستقيماً منطبقاً على المحور السيني

لذلك نأخذ على المحور السيني نقطة مثل a (شكل ٢٢٤) تبعد عن نقطة الأصل بمقدار صغير وليكن a . مثلاً ، فهي يمكن أن نعدّها نقطة على الحلزون . ويكون طول الجزء ma مساوياً



(شكل ٢٢٤)

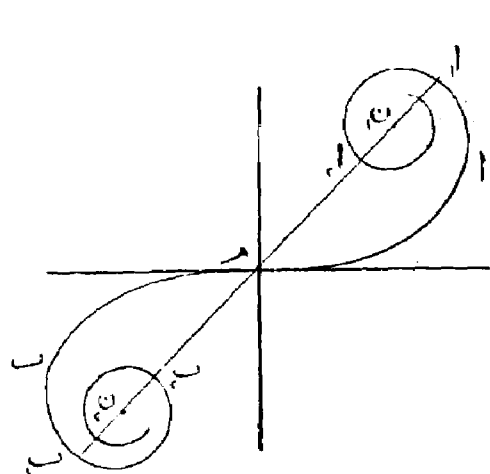
a . ويكون ميل المماس للحلزون عندهذه النقطة على المحور السيني مساوياً $\frac{1}{a} \times \theta$. ونصف قطر الانحناء عندهذه النقطة $\frac{1}{a \times \theta}$. فاذا رسمنا عند a المستقيم aa' بحيث يميل على المحور الصادي (أو على العمود المرسوم عند a على المحور السيني) بزاوية قدرها $\frac{1}{a} \times \theta$. وركزنا في نقطة على هذا المستقيم تبعد عن a بمقدار $\frac{1}{a \times \theta}$. ورسمنا قوساً من دائرة نصف قطرها يساوي هذا المقدار وأخذنا على هذا

القوس نقطة مثل b تبعد عن a بمقدار a . (مقيساً على القوس) كانت نقطة b نقطة أخرى على المنحنى . ويكون طول الجزء من المنحنى المحصور بين m و b مساوياً a . واذن نصف قطر الانحناء عند b يكون $\frac{1}{a \times \theta}$. والمماس عندها يصنع مع المحور السيني زاوية قدرها $\frac{1}{a} \times \theta$. فاذا رسمنا المستقيم bb' بحيث يميل على المحور الصادي (أو على العمود المرسوم عند b على المحور السيني) بزاوية قدرها هذا المقدار وركزنا في نقطة عليه تبعد عن b بمقدار $\frac{1}{a \times \theta}$. ورسمنا قوساً من دائرة نصف قطرها يساوي هذا المقدار وأخذنا على هذا القوس نقطة مثل c تبعد عن b بمقدار a . (مقيساً على القوس) كانت نقطة c نقطة أخرى على المنحنى . وبتكرار هذه العملية يمكن رسم الحلزون . وبالجداول الآتية قيم مختلفة للمقدار θ مقدراً بالستيمتر والمقادير التي تقابلها للزاوية θ مقدرة بالدرجات والمقادير المقابلة لنصف القطر مقدراً بالستيمتر يمكن استخدامها لرسم

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
٠,١٥١٦	٢,٢٠٥	٢,١	٠,٢٨٩٦	٠,٦٠٥	١,١	٣, ١٨٥	٠,٠٥٠	٠,١
٠,١٤٠٢	٢,٤٢٠	٢,٢	٠,٢٦٥٤	٠,٧٢٠	١,٢	١, ٥٩٢	٠,٠٢٠	٠,٢
٠,١٣٨٥	٢,٦٤٥	٢,٣	٠,٢٤٥٠	٠,٨٤٥	١,٣	١, ٠٦٢	٠,٠٤٥	٠,٣
٠,١٣٢٧	٢,٨٨٠	٢,٤	٠,٢٢٧٥	٠,٨٨٠	١,٤	٠,٦٤٢٧	٠,٠٨٠	٠,٤
٠,١٢٧٤	٣,١٢٥	٢,٥	٠,٢١٢٣	١,١٢٥	١,٥	٠,٦٣٦٩	٠,١٢٥	٠,٥
٠,١٢٢٤	٣,٣٨٠	٢,٦	٠,١٩٩٠	١,٢٨٠	١,٦	٠,٥٣٠٧	٠,١٨٠	٠,٦
٠,١١٨٠	٣,٦٤٥	٢,٧	٠,١٨٧٣	١,٤٤٥	١,٧	٠,٤٥٥٩	٠,٢٤٥	٠,٧
٠,١١٣٨	٣,٩٢٠	٢,٨	٠,١٧٦٩	١,٦٢٠	١,٨	٠,٣٩٨١	٠,٣٢٠	٠,٨
٠,١٠٩٨	٤,٢٠٥	٢,٩	٠,١٦٧٦	١,٨٠٥	١,٩	٠,٣٥٣٩	٠,٤٠٥	٠,٩
٠,١٠٦٢	٤,٥٠٠	٣,٠	٠,١٥٩٢	٢,٠٠٠	٢,٠	٠,٣١٨٥	٠,٥٠٠	١,٠

ويلاحظ عند رسم الخزون انه اذا كبر مقياس الرسم عشر مرات مثلاً لجعل السنتيمتر من المنحنى دالاً على طول قدره مليمتر وجب ضرب كل من مقادير m و n في الجدول المذكور في عشرة ونظراً لأن h تتناسب ومربع m فان مقادير h يجب ضربها في مائة

٢٦١ - تطبيق خزون كورنو لشرح ظواهر فرسنتل في الحيود



(شكل ٢٢٥)

المستقيم الواصل بين نقطة الاصل m والنقطة n ، (شكل ٢٢٥) أو n التي ينقبض اليها فرع الخزون يمثل اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل نصف صدر الموجة . والمستقيم الواصل بين النقطتين n و m (ويمر بنقطة الاصل) يمثل اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل صدر الموجة كله . واذا أخذت أية نقطة مثل a على أحد فرعي الخزون

فأجزاء صدر الموجة التي يمثلها طول القوس m يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعالها مثلاً

بطول المستقيم مـ ١ ويكون اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل الاجزاء الباقية من نصف صدر الموجة ممثلاً بالمستقيم ان ١ حيث يكون مـ ن ١ محصلة مـ ا ١ ان ١
وعلى أساس هذه الفكرة يمكن شرح ظواهر فرسنل في الحيود بالاستعانة بحلزون « كورنو »

٢٦٢ - (أولاً) الحيود عند الحرف المستقيم لحاجز

إذا راعينا نقطة هـ (شكل ٢١٨) الواقعة على حد الظل الهندسى حيث يكون أحد نصفي صدر الموجة محجوباً فإن اتساع الاهتزازة الحاصلة فيها يمثل على حلزون كورنو بالمستقيم مـ ن ١ (شكل ٢٢٥) وإذا راعينا نقطة مثل مـ (شكل ٢١٨) داخل منطقة الظل حيث يكون جزء مما يلي القطب من النصف الأعلى من صدر الموجة محجوباً فضلاً عن النصف الأسفل فإن اتساع الاهتزازة في تلك النقطة يمثل على الحلزون ١ بالمستقيم ان ١ (شكل ٢٢٥) . والتوغل في منطقة الظل يمثل على الحلزون ١ بتحريك نقطة ا حوله متجهة نحو ن ١ ، فيقل اتساع الاهتزازة بالتدريج حتى يعدم متى انطبقت ا على ن ١ . أما إذا راعينا نقطة مثل و (شكل ٢١٨) خارج منطقة الظل الهندسى فإن النصف الأعلى من صدر الموجة يكون كله مكشوفاً ويكون المستقيم مـ ن ١ (شكل ٢٢٥) على الحلزون ممثلاً اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعله ، ولكن علاوة على هذا فإن جزءاً مما يلي القطب من النصف الأسفل يكون مكشوفاً أيضاً . فإذا كان هذا الجزء ممثلاً على الحلزون بالقوس مـ ب من فرعه الأسفل كان اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعله ممثلاً بالمستقيم مـ ب واذن يكون اتساع الاهتزازة الكلية الحاصلة بفعل النصف الأعلى والجزء المكشوف من النصف الأسفل ممثلاً بالمستقيم ن ١ ب . فإذا ابتعدنا عن منطقة الظل كبر الجزء المكشوف من النصف الأسفل مما يلي القطب . فالابتعاد عن منطقة الظل يمثل على الحلزون بتحريك نقطة ب حول فرعه الأسفل فإذا بلغت نقطة ب الموضع ب ١ بلغ اتساع الاهتزازة الحاصلة نهاية عظمى يمثلها طول المستقيم ن ١ ب ١ . وإذا بلغت نقطة ب الموضع ب ٢ بلغ اتساعها نهاية صغرى يمثلها طول المستقيم ن ١ ب ٢ . وهكذا

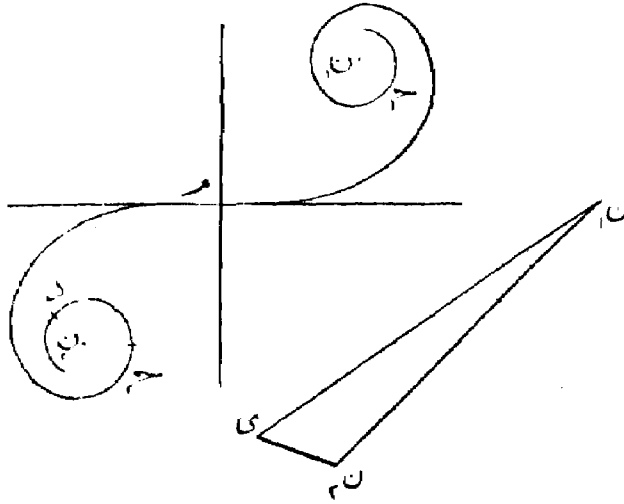
ويلاحظ أن النهاية العظمى لاتساع الاهتزازة تكون اكبر من اتساع الاهتزازة الحاصلة

بفعل صدر الموجة كله . كما أن النهاية الصغرى تكون أكبر من اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل نصف صدر الموجة

ويلاحظ أيضاً فيما سبق أن شدة الاستضاءة في أية نقطة تمثل بمربع اتساع الاهتزازة

٢٦٣ - ثانياً الحيود عند حاجز ضيق

في هذه الحالة يحجب الحاجز جزءاً من صدر الموجة يساوى عرضه . وهذا ثابت . واذن الجزء المحجوب من صدر الموجة يمثل بطول ثابت مقيس على الحلزون . فاذا راعينا نقطة مثل هـ (شكل ٢١٩) داخل منطقة الظل فالجزء المحجوب من صدر الموجة يمثل على الحلزون بالطول المحصور



(شكل ٢٢٦)

بين نقطتين مثل $ح_١$ و $ح_٢$ (شكل ٢٢٦) واذن يكون المستقيم $ن_١$ و $ن_٢$ ممثلاً لاتساع الاهتزازة الحاصلة من الجزء المكشوف من النصف الأعلى من صدر الموجة ويكون المستقيم $ن_٢$ و $ن_٣$ ممثلاً لاتساع الاهتزازة الحاصلة من الجزء المكشوف من النصف الأسفل فاذا كان الحاجز عريضاً شيئاً ما فانه

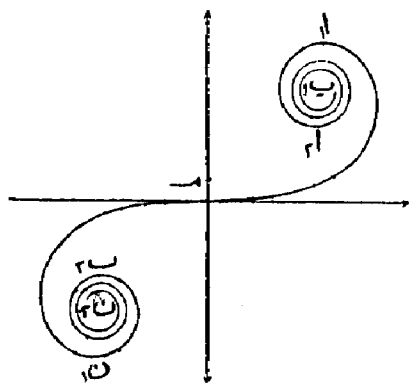
يحجب جزءاً ليس بالقليل من صدر الموجة فتكون نقطة $ح_٢$ على الحلزون قريبة من $ن_١$ ونقطة $ح_٣$ قريبة أيضاً من $ن_٢$ حيث يكون طول المنحنى المحصور بينهما كبيراً . فاذا كان الامر كذلك يكاد يكون $ن_١$ و $ن_٢$ مساوياً $ن_٢$ و $ن_٣$ فاذا كان طور الاهتزازة الحاصلة من الجزء المكشوف من أحد النصفين مضاداً لطور الاهتزازة الحاصلة من الجزء المكشوف من الآخر كانت محصاتها صفراً . أما اذا كان الطوران متحدتين كان اتساع المحصلة ضعف اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل الجزء المكشوف من أحد النصفين . والانتقال من نقطة هـ (شكل ٢١٩) الى حد منطقة الظل الهندسي يمثل على الحلزون بانزلاق الطول الثابت بين نقطتي $ح_١$ و $ح_٢$ عليه ، فاذا كان الانتقال

نحو نقطة و (شكل ٢١٩) فان نقطة ح على الخزون تنتقل نحو د ونقطة ح تنتقل نحو ن .
 فيزداد المكشوف من النصف الاعلى ويزداد المحجوب من النصف الاسفل . ولكن الاستمرار
 في هذه الحركة يزيد بالتدريج طول ن ح ، وينقص بالتدريج طول ن ح ، فلا تعدم محصلة
 الاهتزازة الحاصلة من الجزئين المكشوفين من نصفى صدر الموجه عندما تكون الاهتزازتان في
 طورين متضادين وتكون نتيجة هذا أن الهدب التى تحدث بالقرب من نقطة ه (شكل ٢١٩) وهى
 هدب تداخل (أو تكاد تكون كذلك) تتحول الى هدب حيود كلما قربنا من حد منطقة الظل الهندسى
 واذا تجاوزنا منطقة الظل الهندسى الى نقطة أبعد من و (شكل ٢١٩) فان النصف الاعلى
 من صدر الموجه ينكشف كله وينكشف أيضاً جزء مما يلي القطب من النصف الاسفل ولكن
 يلي هذا جزء من النصف الاسفل يحجبه الحاجز ويلي هذا جزء قريب من نهاية الجزء الفعال
 من النصف الاسفل يكون مكشوفاً . وتمثيل ذلك على الخزون أن يكون الفرع الاعلى كله فعالاً
 ثم جزء من الفرع الاسفل مما يلي نقطة الاصل ولكن نهايته عند ح ثم ينحجب طول معين
 من الخزون (وهو الطول الثابت المشار اليه فيما سبق) ولنفرض أنه يمثل بالجزء الواقع بين
 النقطتين ح ٦ د ثم يكون ما يبقى بعد ذلك من الفرع الاسفل من الخزون فعالاً فكان محصلة
 الاهتزازة الحاصلة هى محصلة م ن ٦ م ح ٦ ن د أو بتعبير آخر هى المحصلة الكلية لصدر الموجه
 بعد أن تستخرج منها الاهتزازة الحادثة بفعل الجزء المحصور بين نقطتى ح ٦ د . ولما كان
 اتساع هذه الاهتزازة يمثل بطول المستقيم ح ٦ د يتضح أن محصلة الاهتزازة الحاصلة هى المركبة
 التى اذا حصات مع ح ٦ د تحدث ن ٦ ن . فاذا وصلنا المستقيم ن ٦ ن ورسمنا من ن ٦ المستقيم
 ن ٦ ي (كما هو مبين بالجزء الاسفل من شكل ٢٢٦) موازياً للمستقيم ح ٦ د ويساويه كان
 طول المستقيم ن ٦ ي ممثلاً لتلك المحصلة حيث يلاحظ أن ن ٦ ي ٦ ن ٦ ي يحصلان ن ٦ ن .
 وتأثير الانتقال بالتدريج بعيداً عن و (شكل ٢١٩) فى استقامة ه و ، أن تنزاق النقطتان
 ح ٦ د (مع بقاء البعد بينهما ثابتاً) حول الفرع الاسفل نحو ن . فيكون تأثير ذلك أن المستقيم
 ح ٦ د يتغير اتجاهه بالتدريج ، فرة يكون على امتداد ن ٦ ن وفى اتجاهه ، وأخرى يكون على امتداده
 وفى اتجاه مضاد . واذا يتغير المستقيم ن ٦ ي من طول الى قصر ، فيزداد اتساع المحصلة ويقل

ويلاحظ في كل ما سبق أن شدة الاستضاءة تكون متناسبة ومربع اتساع الاهتزازة

٢٦٤ — ثالثاً الحيود عند فتحة مستطيلة ضيقة

إذا راعينا الاهتزازة الحادثة عند هـ (شكل ٢٢٠) وفرضنا أن الفتحة تكشف الشريط النصف الدورى الاول من كل من النصفين ، فإن هذا يمثل على الحلزون بالقوس مـ ا ، من فرعه الأعلى وبالقوس مـ ن ، من فرعه الأسفل (شكل ٢٢٧) ويكون اتساع الاهتزازة ممثلاً بطول المستقيم ا ، ن . وإذا كشفت الفتحة الشريطين النصفى الدرئين الاول والثانى من كل من نصفى صدر الموجة يكون اتساع الاهتزازة ممثلاً بالمستقيم ا ب بـ وهكذا . ومنه يتضح أنه إذا كان عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من كل من نصفى صدر الموجة عدداً فردياً كان اتساع الاهتزازة اكبر ، وإن كان زوجياً كان اتساعها أصغر . والجزء الذى تكشفه الفتحة من صدر الموجة يمثل بطول ثابت مقيس على الحلزون .



(شكل ٢٢٧)

وبالنسبة الى أية نقطة فى المنطقة الواقعة فى شكل (٢٢٠)

بين و ، و يكون هذا الطول الثابت على الحلزون ممتداً الى فرعيه الأعلى والأسفل . والانتقال من نقطة هـ (شكل ٢٢٠) نحو و ، يمثل على الحلزون بانزلاق واحدة من النقطتين اللتين تحصران بينهما هذا الطول الثابت ، وهى

الموجودة على الفرع الأعلى نحو مـ وانزلاق الأخرى

الموجودة على الفرع الأسفل نحو نـ بحيث يبقى طول الجزء المحصور بينهما من المنحنى ثابتاً .

وهذا الانزلاق يجعل المستقيم الواصل بين هاتين النقطتين يتغير من طول الى قصر . وهكذا

وإذا وصلنا الى نقطة و ، شكل (٢٢٠) وتجاوزناها نحو و . فإن النصف الأعلى من صدر

الموجة يكون محجوباً . واذن يكون الطول الثابت المقيس على الحلزون مقصوراً على فرعه الأسفل

أى تكون النقطتان اللتان تحصران بينهما هذا الطول على هذا الفرع والانتقال نحو و يمثل

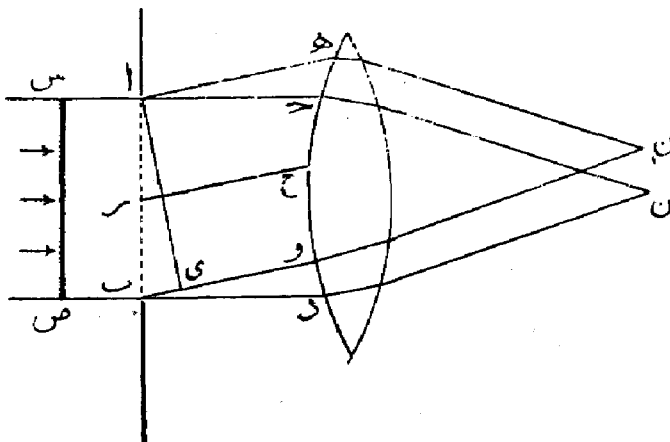
على الحلزون بانزلاق هاتين النقطتين حول فرعه الأسفل نحو نـ مع بقاء طول الجزء المحصور

بينهما من المنحنى ثابتاً . و يترتب على هذا أن المستقيم الواصل بينهما يتغير من طول الى قصر حتى تندمج النقطتان بنقطة ن_٠ و يزول هذا المستقيم بتاتاً
ويلاحظ في كل ما سبق أيضاً أن شدة الاستضاءة تكون متناسبة ومربع اتساع الاهتزازة الحاصلة

٢٦٥ - ظواهر فرونفوفر في الحيود

ظواهر الحيود التي يكون فيها مصدر الضوء على بعد لا نهاية له حيث تكون أشعة الضوء متوازية تسمى كما ذكرنا فيما قبل « ظواهر فرونفوفر » وفيها يراعى تأثير صدر الموجة المستوي في نقطة على بعد لا نهاية له منه . حيث يكون التأثير عندها حادثاً عن تداخل أشعة متوازية بعضها بالآخر . وللحصول عملياً على صدر موجة مستوية يوضع مصدر الضوء على بعد من عدسة لامة يساوى بعدها البؤري . ولكي يتحقق عملياً ما يحدث عن تداخل الأشعة المتوازية بعضها بالآخر يستقبل الضوء بواسطة عدسة لامة فتلم العدسة الأشعة المتوازية في مستواها البؤري . فيحدث عند موضع تجمعها ما يتوافر حدوثه عند تداخلها بعضها بالآخر في ما لا نهاية . وسنراعى فيما يلي حالات خاصة من هذه الظواهر

٢٦٦ - الحيود بفعل فتحة مستطيلة ضيقة - شرح أولى



(شكل ٢٢٨)

لنفرض أن موجة صدرها مستوي
مثل س ص (شكل ٢٢٨) عمودي
على مستوى الورقة تقع على فتحة مستطيلة
ضيقة عمودية على مستوى الورقة اتساعها
ا ب . وزيادة في التوضيح لتكن الموجة
ذات الصدر المستوي حادثة عن وضع
ثقب صغير ضيق مضاء بضء ذي لون

واحد على بعد من عدسة لامة (غير مبينة بالشكل) يساوى بعدها البؤرى فعند انطباق صدر الموجة على مستوى الفتحة تكون كل نقطة من الفتحة مركز اضطراب تنتشر منه موجة وتكون جميع هذه المراکز في طور واحد من الحركة واهتزازاتها ذات اتساع واحد . ولو أن الضوء ينفذ بوجه عام في استقامة abc بعد نفوذه من الفتحة فإن طبيعة الحركة الموجية تتطلب (كما اتضح فيما سبق) أن يحيد بعض الضوء عن هذه الاستقامة فتنتشر حزم من الأشعة في اتجاه يميل على العمود المرسوم على مستوى الفتحة بزاوية تسمى « زاوية الحيود » كالحزمة ahb و المبينة بالشكل

وأشعة الضوء التي تنفذ في استقامتها الاولى كالحزمة abc لا يكون ثمت فرق في المسير بينها فهي اذا تجمعت في مالا نهاية أو اذا ملت بوساطة عدسة لامة (كما هو موضح بالشكل) في بؤرتها ن يحدث من تداخلها أن يقوى بعضها الآخر فيحدث ضياء شديد . أما الأشعة الحائدة كالحزمة ahb وفانه يكون بين الأشعة المختلفة بعضها والآخر فرق في المسير فاذا تجمعت في ن . على المستوى البؤرى للعدسة قد يحدث من تجمعها ضياء وقد يحدث ظلمة تبعاً لفرق المسير بينها فاذا تصورنا الفتحة ab قد قسمت أجزاء تفاضلية نهاية في الصغر في اتجاه مواز لحافتيها وراعينا الأشعة الواقعة في مستوى الورقة فان الحزم الحائدة في الاتجاه الموازى للمستقيم ah والصادرة من هذه الاقسام الصغيرة تكون كل واحدة منها بمثابة شعاع مواز للمستقيم ah . فاذا أسقطنا من العمود ay على b و ففرق المسير بين الشعاع ah والشعاع b ويساوى طول by . فاذا كان هذا الطول مساوياً للطول الموجى للضوء وكانت نقطة منتصف الفتحة يتضح أن فرق المسير بين الشعاع ah الصادر من الجزء التفاضلى من الفتحة عند نقطة a (باعتبارها مبدأ النصف الاعلى من الفتحة ab) وبين الشعاع rch الموازى له والصادر من الجزء التفاضلى من الفتحة عند r باعتبارها مبدأ النصف الاسفل من الفتحة) يكون مساوياً نصف الطول الموجى . واذن يحدث من تداخل هذين الشعاعين ظلمة أو تكون محصلة اهتزازيهما صفراً . كذلك يحدث من تداخل الشعاع rch الصادر من نهاية النصف الاعلى من الفتحة والشعاع b والصادر من نهاية النصف الاسفل منها ظلمة أيضاً . أو بوجه عام يحدث من تداخل الشعاع الصادر من أى جزء تفاضلى

من أحد النصفين والشعاع الصادر من الجزء التفاضلى المقابل له من النصف الآخر ظلمة واذن يكون عند موضع تجمع الحزمة $a\ h\ b$ و كلها ظلمة أى يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة فى هذا الموضع بفعل الفتحة كلها صفراً

وإذا كان فرق المسير بين الشعاعين $a\ h\ b$ و مساوياً ضعف الطول الموجى . كان فرق المسير بين الشعاع $a\ h$ والشعاع الموازى له الصادر من منتصف الفتحة مساوياً الطول الموجى واذن كانت نتيجة تداخل الأشعة الصادرة عن كل نصف من نصفها بعضها بالآخر ظلمة . كذلك إذا كان فرق المسير بين الشعاعين $a\ h\ b$ و مساوياً ثلاثة أمثال الطول الموجى كان فرق المسير بين الشعاع $a\ h$ والشعاع الموازى له الصادر من نقطة تبعد عن a بمقدار ثلث اتساع الفتحة مساوياً الطول الموجى . فيحدث عن تداخل الأشعة الصادرة عن كل ثلث من الأثلاث الثلاثة للفتحة ، بعضها بالآخر ظلمة ، وهكذا

واذن يتبين أنه إذا كان فرق المسير بين الشعاعين $a\ h\ b$ و مساوياً أضعاف الطول الموجى حدث من تداخل الحزمة المتوازية ظلمة

أما إذا كان فرق المسير بين الشعاعين $a\ h\ b$ و مساوياً نصف الطول الموجى . حدث من تداخل هذين الشعاعين وحديهما ظلمة ، حيث تكون الاهتزازة الحادثة بفعل أحدهما ذات طور مضاد لطور الاهتزازة الحادثة بفعل الآخر . ولكن فى هذه الحالة لا يبلغ فرق المسير بين أى شعاعين آخرين موازيين لهما من أشعة الحزمة ، نصف الطول الموجى فلا تكون هناك اهتزازتان أخريان فى طورين متضادين بحيث تعدم محصلتهما . واذن تحدث اهتزازة معينة تكون هى محصلة جميع الاهتزازات ، ولكنها تكون أصغر اتساعاً من الاهتزازة الحاصلة عند ما لا يكون بين أشعة الحزمة فرق فى المسير أى عندما تكون جميع الاهتزازات الحادثة فى النقطة التى تتجمع فيها الأشعة فى طور واحد . وإذا كان فرق المسير بين $a\ h\ b$ و مساوياً ثلاثة أنصاف الطول الموجى ، أمكن اعتبار الفتحة ab مقسمة ثلاثة أقسام متساوية فاذا روى الثلثان الأول والثانى معاً كان فرق المسير بين الشعاع الصادر من مبدئهما وبين الشعاع الصادر من نهايتهما مساوياً الطول الموجى . واذن تعدم الاهتزازة الحاصلة من هذين الثلثين . فيبقى الثلث الأخير ويكون فرق المسير بين الشعاع

الصادر من مبدئه وبين الشعاع الصادر من نهايته مساوياً نصف الطول الموجى . فلا تعدم الاهتزازة الحاصلة بفعله ولكن اتساعها يكون ثلث اتساع الاهتزازة الحاصلة فى حالة ما يكون فرق المسير بين الشعاعين a و b و مساوياً نصف الطول الموجى (نظراً لأن عدد مركز الاضطراب المحدثة للاهتزازات يكون قد صار ثلث ما كان) واذن تكون شدة الاستضاءة تسع شدتها فى هذه الحالة . واذا كان فرق المسير بين الشعاعين a و b و مساوياً خمسة أنصاف الطول الموجى أمكن اعتبار الفتحة ab مقسمة خمسة أقسام متتالية فاذا روعيت أربعة أقسام متساوية منها يكون فرق المسير بين الشعاع الصادر من مبدئها وبين الشعاع الصادر من نهايتها مساوياً ضعف الطول الموجى . واذن تعدم الاهتزازة الحاصلة منها ، فيبقى الخمس الاخير ويكون فرق المسير بين الشعاع الصادر من مبدئه ، وبين الشعاع الصادر من نهايته مساوياً نصف الطول الموجى ، فلا تعدم الاهتزازة الحاصلة بفعله ولكن اتساعها يكون خمس اتساع الاهتزازة فى حالة ما يكون فرق المسير بين الشعاعين a و b و مساوياً نصف الطول الموجى ، واذن تكون شدة الاستضاءة جزءاً من خمسة وعشرين جزءاً من شدتها فى هذه الحالة . وهكذا

ويتضح من هذا الشرح أن نقطة ن شكل (٢٢٨) وهى موضع تجمع الحزمة a و b و d الغير الحائدة تكون موضع ضياء شديد ، ولكن نقطة مثل n حيث تتجمع حزمة حائدة مثل a و b و تكون موضع ظلمة اذا كان فرق المسير بين a و b و مساوياً الطول الموجى أو ضعفه أو ثلاثة أمثاله الخ . ويتخلل مواضع الظلمة هذه ضياء ، ولكن شدة الاستضاءة فى المواضع التى يبلغ فيها فرق المسير بين a و b و ، نصف الطول الموجى وثلاثة أنصافه ، وخمسة أنصافه ، وهكذا تكون النسبة بينها كنسبة $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$ الخ

واذن تتكون فى المستوى البورى للعدسة التى تستقبل ضوء الفتحة ab ، هدب تكون المركزية منها مضئة وهى بمثابة الصورة التى تكونها العدسة ، وعلى جانبيها مواضع ظلمة يتخللها ضياء تقل شدته كثيراً كلما بعدنا على الهدبة المركزية

ولرؤية هذه الهدب يهياً سبكتروسكوب من غير الماشور بحيث يكون التلسكوب والمجمع على استقامة واحدة وتضاء فتحته بضوء ذى لون واحد ثم يوضع بين المجمع والتلسكوب فتحة مستطيلة

$$م-ن = ٢ ح ا د م-ب ن$$

$$= ٢ ح ا ١٤ م ا ن$$

فإذا رمزنا للزاوية التي يصنعها المماس عند ن مع المحور السيني وهي الزاوية التي تمثل طور الاهتزازة الأخيرة بالرمز $ه٢$ ، فإن

$$د م ا ن = ه٢$$

$$م-ن = ٢ ح ا ه$$

ولما كان طول القوس م-ن من الدائرة يتناسب وعرض أو اتساع الفتحة ا ب (شكل ٢٢٨) وبالرمز لا تساع هذه الفتحة بالحرف ا وباعتبار أن معامل التناسب الوحدة (أى باعتبار أن طول القوس يساوى اتساع الفتحة) يكون

$$ه٢ = \frac{1}{س}$$

$$\frac{1}{ه٢} = س$$

∴ اتساع المحصلة هو

$$م-ن = \frac{1}{ه} ح ا ه$$

أو بالرمز لا تساع المحصلة بالحرف م يكون

$$م = \frac{1}{ه} ح ا ه \dots\dots\dots (١)$$

وبما أن اختلاف الطور بين الاهتزازتين الحادثتين من نهاية الفتحة هو $\frac{٢}{ن} ط$ ، فإن هذا المقدار يقابل ضعف زاوية ه في المعادلة (١) . واذن يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل الفتحة هو

$$م = ١ - \frac{\frac{٢}{ن} ط}{\frac{٢}{ن} ط} \dots\dots\dots (٢)$$

ويتضح من شكل (٢٢٩) أن الزاوية التي يصنعها م مع المحور السيني تساوى ه واذن تكون زاوية ه في المعادلة (١) هي زاوية طور المحصلة ، واذن تكون زاوية $\frac{٢}{ن} ط$ في المعادلة (٢) هي زاوية طور المحصلة فإذا أرجأنا مؤقتاً الحالة التي تكون فيها قيمة هذه الزاوية صفراً . فإن

قيمة r في المعادلة (٢) وهي اتساع المحصلة تعدم عندما تكون

$$\frac{r}{p} = 2 \text{ أو } 3 \text{ أو } 4 \text{ الخ}$$

أى أن المحصلة تعدم اذا كان

$$r = 2 \text{ أو } 3 \text{ أو } 4 \text{ الخ}$$

أى اذا كان فرق المسير بين الشعاعين a و b و (شكل ٢٢٨) مساوياً الطول الموجى أو أضعافه. وفي هذه الحالات تكون شدة الاستضاءة صفراً أى تباع شدة الاستضاءة نهايتها الصغرى (١)

ولتعيين قيمة r عندما تكون شدة الاستضاءة عند نهايتها العظمى تطبق طريقة حساب التفاضل في تعيين النهايات. فشدة الاستضاءة تتناسب ومربع r . فاذا رمزنا لشدة الاستضاءة بالحرف s واعتبرنا معامل التناسب الوحدة يكون

$$s = \frac{r^2}{2} \dots \dots \dots (3)$$

وباستعمال رمز التفاضل يكون عند النهاية العظمى

$$s = \left[\frac{r^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right] = \frac{r^2}{2}$$

ومنه يتضح أن

$$r = 2$$

واحدى قيمات r التى يتوافر بها هذا الشرط أن تكون r صفراً أما القيمات الاخرى فيمكن تعيينها بطريقة هندسية يستعان فيها بالرسم البيانى. فاذا رسمت الخطوط البيانية للمعادلتين

$$r = 2$$

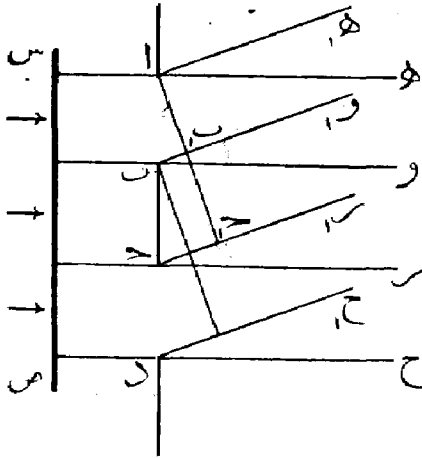
$$r = 3$$

(١) نظراً لان شدة الاستضاءة تتناسب ومربع اتساع الاهتزازة. يلاحظ أن شدة الاستضاءة لا يمكن أن

٢٦٨ - الحيود بفعل فتحتين مستطيلتين ضيقتين متوازيتين متساويتين -

شرح أولى

نفرض أن الفتحتين هما a و b (شكل ٢٣٢) وأن موجة صدرها مستوى مثل $س$ ص



(شكل ٢٣٢)

ومواز لمستوى الفتحتين تقع عليهما

فالظاهرة في هذه الحالة يمكن تقسيمها قسمين يراعى

في القسم الاول الحيود الحادث بفعل كل واحدة من

الفتحتين باعتبارها فتحة على حدتها وهذا يؤدي الى حدوث

هدب كما في الحالة السابقة بحيث اذا كان فرق المسير بين

a و b أو $و$ و $ح$ مساوياً الطول الموجي

أو أضعافه فتجمع الحزمة الحادثة من كل من الفتحتين على

المستوى البؤري للعدسة اللامة التي تستقبل الضوء يؤدي الى حدوث ظلمة ونظراً لتوازي الحزمتين

الحادثتين الصادرتين من الفتحتين فإن العدسة تلهمها في موضع واحد على مستواها البؤري .

فتكون الهدب شبيهة بما يحدث لو كانت هناك فتحة واحدة . ويراعى في القسم الثاني ما يحدث

عن تداخل الضوء الصادر من احدى الفتحتين بالضوء الصادر من الثانية فاذا كان فرق المسير

بين a و b أو بين $و$ و $ح$ أو بين أى شعاع من احدى الفتحتين والشعاع المقابل

له من الأخرى اذا كان فرق المسير هذا مساوياً نصف الطول الموجي أو ثلاثة أنصافه أو خمسة

أنصافه وهكذا حدث من تجمع ضوء الفتحتين على المستوى البؤري للعدسة اللامة ظلمة . أما

اذا كان فرق المسير مساوياً الطول الموجي أو أضعافه حدث ضياء

اذن تحدث مجموعتان من الهدب تغشى الثانية منهما الاولى . وان كانت مواضع الظلمة من

المجموعة الثانية قد تقع على مواضع الضياء من الاولى فانه من المحال أن يحدث ضياء من المجموعة

الثانية في مواضع الظلمة من الاولى . فثلاً اذا فرضنا أن $a = b = ح = د$ وأسقطنا من ا

العمود $ا ب$ ، $ح$ على الشعاعين $و$ و $ح$ ، وكان $ب ب$ ، مساوياً الطول الموجي حدثت

ظلمة عن تجمع الحزمة الحائدة من كل من الفتحتين على حدتها وتكون هي أول ظلمة تلى الضياء المركزى من هذب المجموعة الاولى وما دام ب ب أصغر من الطول الموجى فموضع تجمع الحزمة من كل من الفتحتين يكون موضع ضياء (ولو أنه ليس دائماً الموضع الذى تكون فيه شدة الاستضاءة عند نهايتها العظمى) . اذن نرى أن الهدبة المضئية الاولى من المجموعة الاولى تمتد من موضع تجمع الاشعة التى ليس فرق ما فى المسير بينها الى موضع تجمع الحزمة التى يكون فرق المسير فيها بين الشعاعين من نهايتى الفتحة الواحدة مقدار الطول الموجى . ولكن يلاحظ أنه حين يكون ب ب ربع الطول الموجى يكون > ح > نصف الطول الموجى . واذن يحدث عن تجمع الحزمتين من الفتحتين ظلمة . فالضياء المذكور يغشاه فى هذا الموضع ظلام . أما اذا كان > ح > مساوياً ضعف الطول الموجى فانه ينتظر أول وهلة أن الحزمتين يحدث عن تجمعهما ضياء حيث تقوى احدهما الأخرى ولكن نظراً لأن ب ب فى هذه الحالة يكون مساوياً الطول الموجى فانه يحدث عن تجمع أشعة الحزمة الواحدة على حدتها ظلمة . فيمضى ضوء كل حزمة على حدتها ولا يحدث فى هذا الموضع ضياء أصلاً

٢٦٩ - محزوز الحيود وشرح عمله

والحيود الحادث بفعل عدة فتحات مستطيلة ضيقة متوازية له تطبيق خاص فى جهاز نسميه «محزوز الحيود»^(١) وأبسط أنواعه حاجز مستوى معتم به فتحات مستطيلة ضيقة متوازية متساوية الأبعاد بعضها عن الآخر . ومثل هذا الجهاز صنعه فى مبدى الأمر « فرونهور » من أسلاك دقيقة متوازية متساوية الأبعاد بعضها عن الآخر والفرجة بين الواحد والآخر ضيقة فإذا وقعت على المحزوز موجة مستوية حدث الحيود عند نفوذ الضوء من الفرج التى بين الأسلاك . ويصنع المحزوز فى الوقت الحاضر من لوح من الزجاج تخدش على أحد سطحيه خطوط دقيقة مستقيمة متوازية متقاربة بوساطة سن من الماس فى جهاز خاص يسمى آلة التخطيط^(٢) بحيث يبلغ عدد الخطوط فى السنتيمتر الطولى ستة آلاف خط أو يزيد . فعند وقوع الضوء على أحد سطحيه تعمل

الفرج بين الخطوط المخدوشة عمل الفتحات فينفذ الضوء منها ويكاد لا ينفذ خلال الخدوش نفسها ومحزوزات الحيود التي تصنع بهذه الكيفية مرتفعة الأمان ولذلك تستعمل عادة في التجارب العملية نماذج منها مطبوعة على « السلولويد »^(١) أشهر بصنعها انجائزى يدعى « ثورب »^(٢) وكثيراً ما يطلق عليها « محزوزات ثورب » ويسمى المحزوز الذى ينفذ الضوء خلال فتحاته « المحزوز المنفذ »^(٣) تمييزاً له عن نوع آخر سيأتى ذكره فيما بعد

ولشرح عمل المحزوز فى أبسط صورة نفرض أنه عبارة عن فتحات مستطيلة ضيقة متساوية ومتساوية الأبعاد بعضها عن الآخر ولنفرض أن a و b شكل (٢٣٢) فتحتان متتاليتان منها وأنه يقع على سطح المحزوز موجة مستوية مثل s ص صدرها مواز لسطحها . فالاشعة التي تنفذ من الفتحات فى استقامة مسيرها الأول قبل سقوطها على المحزوز يحدث ضياء عند تجمعها بواسطة عدسة لامة فى مستواها البورى . أما الاشعة التي تحيد عن هذه الاستقامة فانها اذا امت فى المستوى البورى للعدسة قد يحدث عن تجمعها ضياء أو ظلمة تبعاً لفرق المسير بينها . فاذا راعينا الحزم المتوازية التي تحيد فى اتجاه يوازي a (شكل ٢٣٢) وأسقطنا من a العمود a' على الشعاع c ورمزنا للزاوية التي تصنعها هذه الحزم مع العمود على سطح المحزوز وهى التي تسمى زاوية الحيود بالحرف e . كانت الزاوية بين a و a' مساوية e فيكون

$$e = a - a'$$

فاذا رمزنا لاتساع الفتحة (أى للبعد a وهو واحد فى جميع الفتحات) بالحرف b وللبعد b (وهو سمك الحاجز المعتم بين كل فتحتين) بالحرف c فان $a + c = b$ واذن

$$e = b - c$$

ويساوى هذا فرق المسير بين الشعاع a و الشعاع c أو بين أى شعاع من احدى الفتحات والشعاع الذى يقابله من الفتحة التي تليها فاذا كان هذا المقدار مساوياً الطول الموجى أو أضغافه فانه يحدث عند تجمع هذه الحزم فى المستوى البورى للعدسة ضياء . أما اذا كان مساوياً

نصف الطول الموجى أو ثلاثة أنصافه أو خمسة أنصافه حدثت ظلمة . واذن شرط حدوث الضياء أن يكون

$$(1 + n) \text{ حـ} = 2 \dots \dots n \dots \dots (1)$$

باعتبار أن n رمز للطول الموجى

ولاختبار مواضع الضياء والظلمة فى هذه الحالة يستعان بسبكتروسكوب يهياً للاستعمال بالطريقة المعتادة وتضاء فتحة المجمع بضوء ذى لون واحد ويجعل التلسكوب على امتداد المجمع ويوضع بينهما (بدلاً من المنشور) المحزوز بحيث تكون خطوطه رأسية موازية لفتحة المجمع وبحيث يكون مستواه عمودياً على محور المجمع ومنطبقاً على المحور الرأسى الذى يدور حوله التلسكوب . فصدر الموجة الساقطة على المحور يكون مستوياً موازياً للمحزوز وتتوافر الظروف التى تؤدى الى ماسبق بيانه . فيرى عند ما يكون التلسكوب على استقامة المجمع صورة لفتحة المجمع تحدث عن تجمع الأشعة النافذة من غير حيود فى المستوى البورى لشبيثة التلسكوب وتكبرها العينية . فاذا أدير التلسكوب قليلاً قليلاً حتى صار محوره مائلاً على العمود على المحزوز بزواية قدرها n بحيث يكون

$$(1 + n) \text{ حـ} = n$$

رؤيت صورة أخرى للفتحة ولكنها أقل ضياء من الأولى . واذا استمر دوران التلسكوب بعد ذلك حتى تبلغ زاوية n قيمة يتوافر بها شرط المعادلة

$$(1 + n) \text{ حـ} = 2n$$

رؤيت صورة ثانية ولكنها تكون أقل ضياء من السابقة وقد تظهر بعدها صورة ثالثة غير أن ضياءها يكون ضعيفاً فلا تكاد ترى وهكذا

واذا أضيئت فتحة المجمع بضوء أبيض فالحزم الغير الحائدة ذات الألوان المختلفة والتى لا يكون ثمت فرق فى المسير بينها يحدث من تجمعها جميعاً فى المستوى البورى للعدسة صورة لالونية ترى عند ما يكون محور التلسكوب على استقامة محور المجمع . ولكن نظراً لان الطول الموجى للضوء البنفسجى أقل منه للاحمر مثلاً فان قيمة n التى يتوافر بها شرط أن يكون $(1 + n) \text{ حـ}$ مساوياً الطول الموجى للبنفسجى تكون أقل من قيمتها التى يتوافر بها شرط أن يكون هذا المقدار

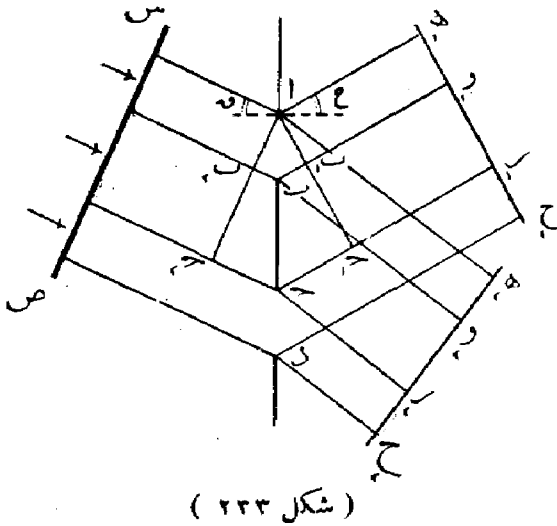
مساوياً الطول الموجي للأحمر مثلاً . واذن يظهر بدلاً من الصورة الأولى التي ترى في الحالة السابقة على أحد جانبي الصورة المركزية طيف يكون طرفه البنفسجي أقرب إلى الصورة اللالونية المركزية وطرفه الأحمر أبعد أى تكون فيه زاوية حيود البنفسجي أصغر من زاوية حيود الأحمر . وإذا استمر دوران التلسكوب بعد ذلك يرى طيف آخر وهكذا

اذن يتكون في حالة الضوء الأبيض أطيف ، أول طيف منها حيث تكون قيمة n في المعادلة

$$n = (1 + \epsilon) \quad \text{حـ ا}$$

هى الوحدة يسمى الطيف ذا المرتبة الأولى . والثانى حيث تكون قيمة n هى ٢ ، يسمى الطيف ذا المرتبة الثانية وهكذا ، أو بوجه عام حيث تتوافر هذه المعادلة يتكون طيف يسمى الطيف ذا المرتبة النونية

وإذا استبدل بالضوء الأبيض أى ضوء آخر ، كالضوء المنبعث من انبوبة الايدروجين مثلاً ، تكونت للضوء الأطياف ذات المراتب المختلفة . فإذا قيست زوايا الحيود لخطوطها الطيفية وعرفت مرتبة الطيف أمكن بتطبيق المعادلة المذكورة إيجاد الأطوال الموجية لهذه الخطوط



(شكل ٢٢٣)

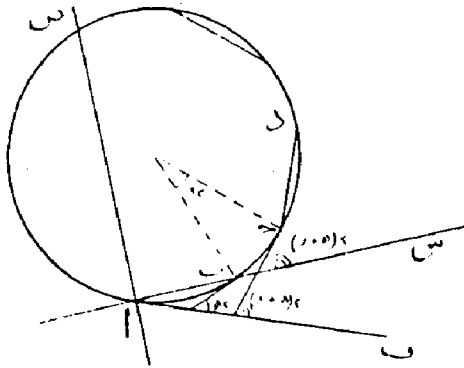
وقد ذهبنا في الشرح السابق الى أن الموجة المستوية الواقعة على المحزوز ، سطحها مواز لسطح المحزوز ، أى أن زاوية سقوط الضوء على المحزوز صفر . أما إذا وقع الضوء بحيث تكون زاوية السقوط n كما هو مبين بشكل (٢٢٣) وأسقطنا من $ا$ العمود $ا ح$ على الشعاع الساقط عند $ب$ ، والعمود $ا ح$ على الشعاع

الحائد عند $ب$ فنظراً لأن جميع النقط الواقعة على $ا ح$ أو امتداده تكون اهتزازاتها في طور واحد لانطباق صدر الموجة المستوية عليه فإن فرق المسير بين الشعاع $ا هـ$ ، $ب$ ، $ح$ يساوى

$$a \sin \theta + b \sin \phi = (1 + \epsilon) \lambda \quad \text{حـ ا}$$

ويتبين أن شرط حدوث الضياء في هذه الحالة أن يكون

فإن محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة δ (شكل ٢٣٣) ، وهى التى تلى الفتحة الاولى
يمثل اتساعها على دائرة الاهتزازة بالوتر δ ويساوى



(شكل ٢٣٤)

الوتر a طولاً . ولما كان فرق المسير بين الشعاعين
 b و c (شكل ٢٣٣) أى بين الشعاع من نهاية
الفتحة الاولى وبين الشعاع من مبدئ الفتحة الثانية
يساوى (كما يتضح من الشكل المذكور)

c ($a + b$) بالرمز للمسافة الفاصلة بين

الفتحتين بالحرف c ، يكون طور الاهتزازة من

مبدئ الفتحة الثانية متخلفاً عن طور الاهتزازة من نهاية الاولى بالمقدار

$$c (a + b) \frac{\pi}{\lambda}$$

فاذا رمزنا لهذا المقدار بالرمز ϕ يتضح أن المماس لدائرة الاهتزازة عند نقطة δ (شكل

٢٣٤) يصنع مع المحور الأفقى a زاوية تساوى ϕ ($a + b$) . وتكون الزاوية التى يصنعها

القوس b عند المركز ϕ . وطور الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة الثانية يمثل على دائرة

الاهتزازة بالزاوية التى يصنعها الوتر δ مع المحور الأفقى a . ولايجاد قيمة هذه الزاوية

يتبين من الشكل أن الزاوية بين المستقيمين الواصلين من منتصفى الوترين a و b ومركز

الدائرة هى ϕ ($a + b$) . فيكون الوتر δ مائلاً على امتداد الوتر a بزاوية قدرها

ϕ ($a + b$) فيكون ميل الوتر δ على المحور الأفقى a مساوياً $\phi + \phi$ ($a + b$)

ويساوى هذا طور محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة الثانية

وبالمثل يمكن بيان أن طور محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الثالثة هو

$$\phi + \phi (a + b)$$

وطور محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة التى بعدها هو

$$\phi + \phi (a + b)$$

وهكذا

ويكون اتساع جميع هذه المحصلات واحداً ويساوى طول أحد الأوتار اب أو حد الخ.
ويتضح من بند (٢٦٧) أنه يكون

$$r = 1 - \frac{h}{h}$$

ولايجاد اتساع المحصلة النهائية الحاصلة بفعل جميع الفتحات . نحلل اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل كل فتحة على حدها الى مركبتين في استقامتين متعامدتين . ونقدر مجموع المركبات في احدى الاستقامتين ثم مجموع المركبات في الاستقامة الأخرى ثم نحصل المجموعين بالطريقة المعتادة ولتسهيل هذه العملية نأخذ محورين متعامدين يمران بنقطة ا (شكل ٢٣٤) أحدهما المحور السيني منطبق على الوتر اب والآخر المحور الصادي عمودى عليه . ولنرمز للمقدار

$$r_2 (h + r) \text{ بالحرف } r$$

فتكون الزاوية بين الوتر اب والمحور السيني صفراً . وبين الوتر ح د والمحور السيني r_1 وبين الوتر الثالث والمحور السيني r_2 وهكذا . وعدد هذه الأوتار يساوى عدد الفتحات في المحزوز . فاذا رمزنا لعددها بالحرف r ، تكون الزاوية بين آخر وتر والمحور السيني $(r - 1) r_1$ فيكون مجموع المركبات السينية هو

$$r_1 + r_2 \text{ حتا } r_2 + \dots + r_1 \text{ حتا } (r - 1) r_1$$

ويكون مجموع المركبات الصادية هو

$$0 + r_1 \text{ حا } r_2 + \dots + r_1 \text{ حا } (r - 1) r_1$$

فاذا رمزنا لاتساع المحصلة النهائية بالحرف ح وللزاوية التي تصنعها مع المحور السيني بالحرف r يكون

$$\begin{aligned} \text{ح حتا } r &= r_1 [1 + \text{حتا } r_2 + \dots + \text{حتا } (r - 1) r_1] \dots (1) \\ \text{ح حا } r &= r_1 [0 + \text{حا } r_2 + \dots + \text{حا } (r - 1) r_1] \dots (2) \end{aligned}$$

ولجمع المتوالية الأولى نضرب طرفي المعادلة (١) في r_2 حا r_1 ، فينتج أن

$$\begin{aligned} 2 \text{ ح حتا } r_2 \text{ حا } r_1 &= r_1 [2 \text{ حتا } r_2 \text{ حا } r_1 + 2 \text{ حتا } r_2 \text{ حا } r_1 + \dots + 2 \text{ حتا } r_2 \text{ حا } r_1] \\ &+ 2 \text{ حتا } (r - 1) r_1 \text{ حا } r_1 \end{aligned}$$

ومن المعلوم في حساب المثلثات أن

$$\text{ح} \alpha + 1 = \text{ح} \alpha - 1 = 2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2}$$

واذن يكون

$$2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{\alpha}{2} - \text{ح} \frac{\alpha}{2}$$

$$2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{\alpha}{2} - \text{ح} \frac{\alpha}{2}$$

$$2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} (1 - \epsilon) = \text{ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{1 - \epsilon^2}{2} - \text{ح} \frac{\epsilon^2 - 1}{2}$$

فبالتعويض في المعادلة (٣) ينتج بعد الاختصار أن

$$2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{\alpha}{2} = \left[\text{ح} \frac{1 - \epsilon^2}{2} + \text{ح} \frac{\epsilon^2}{2} \right]$$

ومن المعلوم في حساب المثلثات أن

$$\text{ح} \alpha + 1 = \text{ح} \alpha - 1 = 2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2}$$

$$\therefore \text{ح} \frac{\alpha}{2} + \text{ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{1 - \epsilon^2}{2} + \text{ح} \frac{\epsilon^2}{2} = 2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2}$$

$$\therefore \text{ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{1 - \epsilon^2}{2} + \text{ح} \frac{\epsilon^2}{2} \dots \dots \dots (4)$$

كذلك لجمع المتوالية (٢) نضرب طرفي المعادلة (٢) في $2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2}$. فينتج أن

$$2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{\alpha}{2} = [0 + 2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} + 2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} + 2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} + \dots \dots \dots]$$

$$+ 2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} (1 - \epsilon) + \dots \dots \dots (5)$$

ومن المعلوم في حساب المثلثات أن

$$\text{ح} \alpha - 1 = \text{ح} \alpha + 1 = 2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots (6)$$

واذن يكون

$$2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{\alpha}{2} - \text{ح} \frac{\alpha}{2}$$

$$2 \text{ ح} \frac{\alpha}{2} = \text{ح} \frac{\alpha}{2} - \text{ح} \frac{\alpha}{2}$$

$$6 \text{ ح } 2 \text{ ح } (1 - \epsilon) \text{ ح } \frac{\epsilon}{2} = \text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} - \text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} \text{ ح } \frac{\epsilon}{2}$$

فبالتعويض في المعادلة (٥) ينتج بعد الاختصار أن

$$2 \text{ ح } 2 \text{ ح } \frac{\epsilon}{2} = \text{ح } 2 \left[\text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} - \text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} \text{ ح } \frac{\epsilon}{2} \right]$$

وبتطبيق الفكرة المتضمنة في معادلة (٦) مرة أخرى يتضح أن

$$\text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} - \text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} \text{ ح } \frac{\epsilon}{2} = \text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} \text{ ح } \frac{\epsilon}{2}$$

واذن يكون

$$2 \text{ ح } 2 \text{ ح } \frac{\epsilon}{2} = \text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} \text{ ح } \frac{\epsilon}{2} \dots (7)$$

وبترتيب كل من المعادلتين (٤) و (٧) وجمع المربعين ينتج أن

$$2 \text{ ح } 2 \text{ ح } \frac{\epsilon}{2} = \text{ح } 2 \frac{1 - \epsilon^2}{2} \text{ ح } \frac{\epsilon}{2}$$

$$\therefore \text{ح } 2 = \frac{2 \text{ ح } 2 \text{ ح } \frac{\epsilon}{2}}{\frac{1 - \epsilon^2}{2} \text{ ح } \frac{\epsilon}{2}} \dots (8)$$

فهذا المقدار يتناسب وشدة الاستضاءة . ويكون اتساع محصلة الاهتزازة النهائية الحاصلة

بفعل جميع الفتحات هو

$$\text{ح } 2 = \frac{2 \text{ ح } 2 \text{ ح } \frac{\epsilon}{2}}{\frac{1 - \epsilon^2}{2} \text{ ح } \frac{\epsilon}{2}} \dots (9)$$

ويتضح بقسمة المعادلة (٧) على المعادلة (٤) أن

$$\text{طا } 2 = \frac{1 - \epsilon^2}{2}$$

فتكون الزاوية التي تصنعها المحصلة مع المحور السيني مساوية $\frac{1 - \epsilon^2}{2}$. ومنه يتضح أن طور

المحصلة النهائية يكون متخلفاً بقدر هذه الزاوية ، عن طور الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة الاولى

٢٧١ - استنباط الحالات التي تبلغ فيها شدة الاستضاءة نهايتها العظمى والصغرى

يتضح من المعادلة (٨) أن شدة الاستضاءة تتغير بتغير $\frac{2}{\epsilon}$ وبتغير $\frac{\epsilon}{2}$ وينشأ عن

تغير المقدار $\frac{2}{\epsilon}$ ظواهر الحيود الحادثة بفعل الفتحة المفردة . فإذا أغفلنا هذا مؤقتاً وراعينا العامل الثاني على حدته نرى أن شدة الاستضاءة تبلغ نهايتها العظمى أو الصغرى عند ما يكون تفاضل المقدار الثاني صفراً . وتفاضل المقدار الثاني هو

$$\frac{\epsilon}{2} \text{ حا } \frac{\epsilon}{2} \frac{\epsilon}{2} \text{ حتا } \frac{\epsilon}{2} - \frac{\epsilon}{2} \text{ حا } \frac{\epsilon}{2} \frac{\epsilon}{2} \text{ حتا } \frac{\epsilon}{2}$$

فإذا كان هذا المقدار صفراً ينتج أن

$$\frac{\epsilon}{2} \text{ حا } \frac{\epsilon}{2} \frac{\epsilon}{2} \text{ حتا } \frac{\epsilon}{2} - \left(\frac{\epsilon}{2} \text{ حا } \frac{\epsilon}{2} \frac{\epsilon}{2} \text{ حتا } \frac{\epsilon}{2} \right) = \text{ صفراً}$$

ومنه يتضح أن شدة الاستضاءة تبلغ نهايتها العظمى أو الصغرى عند ما يكون

$$\frac{\epsilon}{2} \text{ حا } \frac{\epsilon}{2} = \text{ صفراً أو } \epsilon \text{ طا } \frac{\epsilon}{2} = \text{ طا } \frac{\epsilon}{2}$$

ولتوضيح المعاني التي تستنبط من هذا نراعي ما يأتي

(أولاً) الحالات التي يكون فيها $\frac{\epsilon}{2}$ صفراً ، ولكن $\frac{\epsilon}{2}$ ليس كذلك ، فيعدم بسط الكسر في المقدار (٨) دون مقامه ، وتكون شدة الاستضاءة صفراً . ففي هذه الحالات يكون

$$\frac{\epsilon}{2} = \text{ طا } 2 \text{ أو } 3 \text{ أو } \dots \text{ الخ}$$

ويلاحظ استثناء الحالة التي يكون فيها $\frac{\epsilon}{2}$ صفراً ، اذ فيها يكون $\frac{\epsilon}{2}$ صفراً أيضاً

ويلاحظ كذلك ألا تكون قيمة $\frac{\epsilon}{2}$ مساوية ϵ أو أضعاف ϵ

(ثانياً) الحالات التي يكون فيها ϵ طا $\frac{\epsilon}{2}$ مساوياً طا $\frac{\epsilon}{2}$. وهذه نقسمها قسمين

(القسم الأول) حيث يكون $\frac{٥}{٦}$ صفراً أو $\frac{٥}{٦}$ أو $\frac{٥}{٦}$ الخ . وفي هذه الحالات يعدم بسط

الكسر في المقدار (٨) ويعدم مقامه أيضاً . فلتعين قيمة الكسر $\frac{٥}{٦}$ عند ما تبلغ $\frac{٥}{٦}$ هذه

القيمت ، تطبق الطريقة المعروفة في حساب التفاضل فيقسم تفاضل بسط الكسر على تفاضل مقامه ، ويستبدل في خارج القسمة بالمقدار $\frac{٥}{٦}$ قيمته المذكورة . فيكون

$$\frac{\frac{٥}{٦} - \frac{٥}{٦}}{\frac{٥}{٦} - \frac{٥}{٦}} = \frac{\frac{٥}{٦} - \frac{٥}{٦}}{\frac{٥}{٦} - \frac{٥}{٦}}$$

فاذا كانت $\frac{٥}{٦}$ صفراً أو $\frac{٥}{٦}$ أو $\frac{٥}{٦}$ الخ كانت قيمة المقدار المذكور $\pm \frac{٥}{٦}$. واذن يكون قيمة الكسر في المقدار (٨) هي $\pm \frac{٥}{٦}$. فتبلغ شدة الاستضاءة اذن نهايتها العظمى

(القسم الثاني) سائر القيمات الأخرى للمقدار $\frac{٥}{٦}$ التي يتوافر بها شرط تساوى $\frac{٥}{٦}$ ط $\frac{٥}{٦}$ ، أو بتعبير آخر جميع قيمات $\frac{٥}{٦}$ التي يتوافر بها هذا الشرط ما عدا القيمات الآتية وهي صفراً ط $\frac{٥}{٦}$ ط $\frac{٥}{٦}$ الخ فهذه قد سبقت مراعاتها في القسم الأول .

وللاسترشاد الى النتائج الخاصة بهذا ، يستحسن هنا اعتبار مثال عددي تكون فيه قيمة $\frac{٥}{٦}$ ستة . فتحول قيمة $\frac{٥}{٦}$ بالتدريج من صفر الى $\frac{٥}{٦}$ يجعل قيمة $\frac{٥}{٦}$ تتحول بالتدريج من الصفر الى $\frac{٥}{٦}$ الى $\frac{٥}{٦}$ الى $\frac{٥}{٦}$ الى $\frac{٥}{٦}$ الى $\frac{٥}{٦}$ الى $\frac{٥}{٦}$ ، كما يتبين من الجدول الآتي

$$\begin{array}{ll} \frac{٥}{٦} = \text{صفراً} & \text{حيث } \frac{٥}{٦} = \text{صفراً} \\ \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} & \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} \\ \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} & \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} \\ \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} & \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} \\ \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} & \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} \\ \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} & \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} \\ \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} & \frac{٥}{٦} = \frac{٥}{٦} \end{array}$$

وقد تبين فيما سبق أنه حيث يبلغ $\frac{٥}{٦}$ قيمة الصفر أو $\frac{٥}{٦}$ تكون شدة الاستضاءة عند نهايتها

$$\frac{2\epsilon}{\frac{5}{3} \cdot 2\alpha + 1} =$$

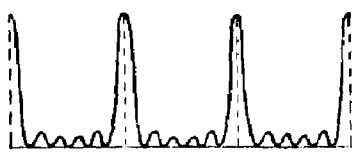
واذن تكون نسبة شدة الاستضاءة عند النهايات العظمى حيث تكون $\frac{5}{3} =$ صفراً أو ϵ أو 2ϵ الى شدتها عند النهايات العظمى الأخرى المحصورة بين كل اثنتين من تلك كنسبة

$$1 : 1 + (1 - 2\epsilon) \frac{5}{3} \cdot 2\alpha$$

فاذا كانت قيمة ϵ كبيرة كانت شدة الاستضاءة عند هذه النهايات صغيرة وعددها كبيرا

وشكل (٢٣٥) يوضح العلاقة بين المقدار $\frac{5}{3} \cdot 2\alpha$ والمقدار ϵ . عندما تكون قيمة ϵ

سنة، ومنه يتضح أن شدة الاستضاءة في النهايات العظمى التي تتكون عندما تبلغ قيمة ϵ صفراً أو ϵ أو 2ϵ الخ أكبر كثيراً منها في النهايات العظمى المحصورة بينها



(شكل ٢٣٥)

واذا زادت قيمة ϵ أى زاد عدد فتحات المحزوز، يزداد عدد

هذه النهايات، وتقل كثيراً قيماتها، بالنسبة الى قيمات الأولى،

وتسمى الأولى حيث يكون ϵ صفراً أو ϵ أو 2ϵ الخ النهايات العظمى الابتدائية. وتسمى

الثانية المحصورة بينها النهايات العظمى الثانوية. فاذا كان عدد فتحات المحزوز كبيرا جدا أمكن

اغفال هذه النهايات الثانوية

$$\text{ونظراً لأن } 2\epsilon = 2(1 + \epsilon) = (1 + \epsilon)(1 + \epsilon + \epsilon^2 + \dots) \text{ فإن}$$

فان النهايات العظمى الابتدائية تتكون عندما يكون

$$(1 + \epsilon)(1 + \epsilon + \epsilon^2 + \dots) = \frac{1}{\epsilon} \text{ صفراً أو } \epsilon \text{ أو } 2\epsilon \text{ الخ}$$

أى عندما يكون

$$n = (1 + \epsilon)(1 + \epsilon + \epsilon^2 + \dots)$$

حيث تأخذ n قيمة الصفر أو 1 أو 2 الخ

فالنهايات العظمى الابتدائية هي التي ورد ذكرها في الشرح الأولى لمحزوز الحيود

وقد راعينا في كل ما سبق تغير شدة الاستضاءة تبعاً لتغير $\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}$. وشدة الاستضاءة

تتغير تبعاً لتغير ٢ أيضاً . فاذا روعي هذا المقدار في تقدير النهايات العظمى الابتدائية أمكن معرفة نسبة شدة الاستضاءة في الاطراف ذات المراتب المختلفة بعضها الى الآخر . فاذا عدنا الى المقدار

$$ح = \frac{\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}}{\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}}$$

فان قيمة الكسر من الطرف الايسر تكون $\pm ع$ عند النهايات العظمى الابتدائية . وبما أن

$$١ = \frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}$$

وباعتبار أن زاوية سقوط الضوء على المحزوز صفر يكون

$$١ = \frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}$$

فيكون

$$١ = \frac{\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}}{\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}}$$

وعند النهايات العظمى الابتدائية يكون $(١ + ٢) ح ٢ ع ٢ = ٢$

$$\frac{\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}}{\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}} = \frac{\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}}{\frac{ح ٢ ع ٢}{ح ٢ ع ٢}} = ١ = ٢$$

فاذا كانت قيمة كل من ١ و ٢ معلومة وقدرت قيمة ٢ هذه عندما يكون $٢ = صفر$

$١٦ ٢٦$ الخ فان نسب مربع هذه القيم تدل بالترتيب على نسبة شدة الاستضاءة في حالة

الصورة المركزية الحادثة من غير حيود (حيث لا يكون بين الاشعة فرق ما في المسير) الى شدتها

في الطيف ذي المرتبة الاولى الى شدتها في الطيف ذي المرتبة الثانية وهكذا .

وبما تجب ملاحظته هنا أن هذه النسب لا تنطبق الا اذا اعتبرنا المحزوز فتحات في حاجز

معتم وسقط الضوء عمودياً عليه . واعتبار المحزوز مكوناً من فتحات في حاجز معتم لا يتفق تماماً والواقع ، لأن المحزوزات ، كما ذكرنا ، هي عادة ألواح من الزجاج مخدوشة سطوحها بخطوط متوازية ، فالضوء ينفذ الى حتماً من بين الاجزاء المعتمة التي تفصل بين الاجزاء الشفافة من المحزوز

٢٧٢ - تشتت الضوء بواسطة المحزوز

تكون الاطيف ذات المراتب المختلفة بفعل المحزوز ، يعنى أن الضوء يشتت بوساطته . ومن المعروف أنه كلما زاد البعد بين طرقي الطيف ، زاد تبعاً لذلك التشتت أو زاد تبعاً لذلك العامل الذى يحدث التشتت تشتتاً للضوء ، فكلما زاد الفرق بين زاوية حيود الاشعة البنفسجية وبين زاوية حيود الاشعة الحمراء ، كان تشتت المحزوز للضوء اكبر . وتعرف شدة تشتت المحزوز للضوء بمعدل تغير زاوية الحيود بالنسبة الى الطول الموجى . فاذا رمز للطول الموجى بالحرف λ ولزاوية الحيود بالحرف θ . واتبعت اصطلاحات التفاضل ، كانت شدة تشتت المحزوز للضوء ، أو شدة تشتت الضوء بواسطة المحزوز مساوية $\frac{d\theta}{d\lambda}$

وقد سبق أن شرط حدوث الطيف ذى المرتبة النونية ، اذا كان الضوء واقعاً عمودياً على سطح المحزوز هو

$$(n + 1)\lambda = d \sin \theta$$

$$\therefore (n + 1)\lambda \sin \theta = d \sin \theta$$

$$\therefore \frac{n}{(n + 1)\lambda} = \frac{d \sin \theta}{d \sin \theta}$$

ويساوى هذا المقدار شدة التشتت . ومنه يتضح أن شدة التشتت تتناسب ومرتبة الطيف وتتناسب عكسياً والمقدار $(n + 1)$. ومقلوب المقدار $(n + 1)$ يساوى عدد خطوط المحزوز في وحدة الاطوال ، والمحزوزات تشمل في العادة آلاف الخطوط في السنتيمتر الواحد ، فتكون شدة التشتت بفعل المحزوز كبيرة لا سيما في الاطيف ذات المراتب العليا

وإذا كانت زاوية الحيود ϵ صغيرة فإن قيمة $\frac{\epsilon}{\lambda}$ يمكن اعتبارها ثابتة . فيكون الانتقال في الطيف بمقادير متساوية ، مقرونا بتغيرات متساوية في الطول الموجي . ولكن نظراً لأن زاوية الحيود في الاطيف ذات المراتب العليا تكون كبيرة ، فشدة التشتت تزداد في الحقيقة إذا انتقلنا في الطيف من طرفه البنفسجي نحو الطرف الاحمر . ويترتب على ذلك أن يكون الطيف أكثر انبساطاً لدى طرفه الاحمر منه لدى الطرف البنفسجي ومعنى ذلك أن موضعين في الطيف الفرق في الطول الموجي بينهما ثابت يكونان أقرب أحدهما الى الآخر عند الطرف البنفسجي ، وأبعد أحدهما عن الآخر عند الطرف الاحمر . أو بعكس ذلك إذا حددنا عند الطرف البنفسجي موضعين ثم حددنا عند الطرف الاحمر موضعين آخرين البعد بينهما كالبعد بين الاولين ، كان الفرق في الطول الموجي بين الاولين اكبر من الفرق في الطول الموجي بين الآخرين

ويلاحظ في الاطيف الحادثة بفعل المحزوزات ، أنها في المراتب العليا يتعدى بعضها على الآخر ، فيبتدىء الواحد قبل أن ينتهى الذى دونه في المرتبة ، فيقع الطرف البنفسجي للاول داخل حدود الطيف الثانى ، ويتضح هذا لو تذكرنا أن الطول الموجي البنفسجي يكاد يكون نصف الطول الموجي الاحمر فيكاد يبتدىء الطيف ذو المرتبة الثانية حيث ينتهى الطيف ذو المرتبة الاولى ، لأن زاوية حيود الاحمر في الطيف ذى المرتبة الاولى هي زاوية ϵ في المعادلة

$$\epsilon = (n + 1) \lambda$$

باعتبار أن ϵ رمز للطول الموجي الاحمر . وباعتبار أن الضوء يسقط عمودياً على المحزوز . وزاوية حيود البنفسجي في الطيف ذى المرتبة الثانية هي زاوية ϵ_2 في المعادلة

$$\epsilon_2 = (n + 1) \lambda_2$$

باعتبار أن ϵ_2 رمز للطول الموجي البنفسجي ، والضوء يسقط عمودياً على المحزوز . فإذا كان λ_2 يساوى تماماً λ . كانت زاوية ϵ_2 مساوية زاوية ϵ . ولكن لما كانت ϵ_2 أقل قليلاً من ϵ . فقيمة ϵ_2 من المعادلة الاولى أصغر من قيمة ϵ في الثانية . ولكن اذا راعينا الطيف ذا المرتبة الثانية والطيف ذا المرتبة الثالثة فزاوية حيود الاحمر من الاول تكون ϵ في المعادلة

$$\epsilon = (n + 1) \lambda$$

وزاوية حيود البنفسجي من الثاني تكون ϵ_2 في المعادلة

$$(1 + \epsilon) \text{ حـ } \epsilon_2 = \epsilon_3$$

$$\epsilon_3 < \epsilon_2$$

واذن يتبدى الطرف البنفسجي من الطيف ذي المرتبة الثالثة قبل أن ينتهى الطيف ذو المرتبة الثانية .

٢٧٣ - الاطيف المفقودة وأخيلة الاطيف

قد يحدث في بعض المحزوزات ، أن يفتقد بعض الاطيف فلا يوجد له أثر ويسمى الطيف « الطيف المفقود »^(١) . وفقدان الطيف في هذه الحالة ينشأ عن أن الاشعة الصادرة من الفتحة الواحدة من فتحات المحزوز يتداخل بعضها والآخر بحيث يحدث عن تداخلها ظلمة . أى تعدم محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة الواحدة . وقد تقدم في بند (٢٦٦) أن شرط زوال محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة المفردة أن يكون فرق المسير بين الشعاعين المتوازيين من طرفيها مساوياً الطول الموجي أو أضعافه . أى أن يكون

$$\epsilon_2 = (\epsilon \pm \text{حـ})$$

حيث يكون ϵ_2 عدداً اياً كان

وشرط حدوث الطيف ذي المرتبة النونية أن يكون

$$\epsilon_2 = (1 + \epsilon) (\epsilon \pm \text{حـ})$$

فاذا توافر الشرطان معاً فالطيف المعنى في المعادلة الثانية يكون مفقوداً

وقد يرى اذا كان الضوء شديداً اطياف ضئيلة تغشى الاطيف الاصلية . بحيث اذا نظر الى خط طيفي يرى الخط مصحوباً بخطوط ضئيلة تحف به من الجانبين . ودرس « رولند »^(٢) حقيقة هذه الاطيف وتسمى « أخيلة طيفية »^(٣) . وعللها أنها نتيجة خلل في الآلة التي

Ghost spectra (٣)

Rowland (٢)

Lost Spectrum (١)

تستعمل لتخطيط المحزوز يحدث من جرائه عيوب دورية تتكرر على سطح المحزوز . فاذا فرضنا مثلاً أن آلة التخطيط تخط خطأ زائداً في فترات متساوية ، كانت خطوط المحزوز كلها موزعة بانتظام ، لولا هذا الخط الزائد المتكرر على أبعاد متساوية على سطح المحزوز . وتكرره بهذه الكيفية يقسم سطح المحزوز أقساماً متساوية تعمل عمل محزوز آخر تتكون بفعله هذه الاخيلة الطيفية .

٢٧٤ - شدة تحليل المحزوز للضوء

الخطوط الطيفية التي ترى في الطيف مهما كانت دقيقة رفيعة فانها لا تكون خطوطاً هندسية لا سمك لها بل في الحقيقة يمتد الواحد منها من الجانبين الى مدى معلوم . ويتضح هذا من شكل (٢٣٥) حيث يرى أن شدة الاستضاءة تبلغ نهايتها العظمى الابتدائية في مواضع معينة ولكن الضياء يمتد من جانبي النهاية العظمى الى مدى معين قبل ان يعدم . والخط الطيفي للطول الموجي λ يقع حيث تكون زاوية الحيود θ طبقاً للعادلة

$$(1) \quad (a + 1) (\lambda \pm \lambda_0) = n \lambda \quad (1)$$

فاذا فرضنا أن $a > 1$ (شكل ٢٣٦) عرض المحزوز

وأن الحزمة ab θ التي تصنع مع العمود على المحزوز

زاوية قدرها θ هي التي يتكون من تجمعها الخط الطيفي

المذكور كان المقدار (١) دالاً على فرق المسير بين أى

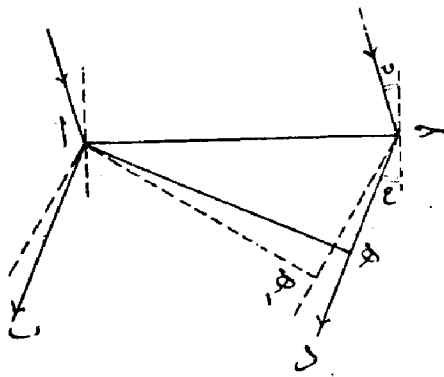
شعاع من إحدى الفتحات والشعاع المقابل له من الفتحة

التي تليها فاذا رمزنا لعدد خطوط المحزوز بالحرف ϵ . كان فرق المسير بين الشعاع a من أحد طرفي المحزوز وبين الشعاع b من الطرف الآخر له هو

$$(2) \quad \epsilon (\lambda \pm \lambda_0) = n \lambda \quad (2)$$

فاذا زادت زاوية الحيود θ بمقدار صغير . زاد تبعاً لذلك فرق المسير بين هذين الشعاعين

فاذا زادت زاوية الحيود بمقدار نرمز له بالرمز Δ بحيث يزداد الفرق في المسير بمقدار Δ فان



(شكل ٢٣٦)

$$\epsilon (1 + \epsilon) [\cos \alpha \pm (\epsilon \Delta + \epsilon) \cos \alpha] = \epsilon \epsilon + \epsilon \epsilon \dots (3)$$

ولكن زيادة فرق المسير بمقدار ϵ يؤدي الى حدوث ظلمة كما يتضح اذا قسمنا المحزوز نصفين اذ يكون قد حدث فرق في المسير بين الشعاع من مبدىء أحد النصفين والشعاع من مبدىء الثاني قدره $\frac{\epsilon}{2}$. وكذلك بين أى شعاع من أحد النصفين وبين الشعاع المقابل له من الآخر. فاذا كانت هذه الاشعة يحدث من تجمعها ضياء شديد من قبل فانها الآن تتداخل ويحدث من تداخلها ظلمة. واذن نرى أن الضياء الشديد الذى يتعين موضعه بقيمة ϵ في المعادلة (١) يمتد من أحد الجانبين امتداداً زاوياً قدره $\epsilon \Delta$ طبقاً للمعادلة (٣). ونظراً لان قيمة $\epsilon \Delta$ صغيرة ينتج من المعادلة (٣) أن

$$\epsilon (1 + \epsilon) (\cos \alpha \pm \epsilon \Delta \cos \alpha) = \epsilon \epsilon + \epsilon \epsilon \dots (4)$$

وبطرح المعادلة (٢) من المعادلة (٤) ينتج أن

$$\epsilon \Delta \cos \alpha = \epsilon \Delta \cos \alpha$$

$$\therefore \epsilon \Delta \cos \alpha = \epsilon \Delta \cos \alpha$$

وبالمثل يتضح أن منطقة الضياء المذكورة تمتد من الجانب الآخر امتداداً زاوياً يساوى هذا أيضاً. اذن تمتد منطقة الضياء من الجانبين امتداداً زاوياً يساوى

$$\frac{\epsilon \Delta \cos \alpha}{\epsilon \Delta \cos \alpha}$$

وقد سبق في شدة التشتت أن

$$\frac{\epsilon \Delta \cos \alpha}{\epsilon \Delta \cos \alpha} = \frac{\epsilon \Delta \cos \alpha}{\epsilon \Delta \cos \alpha}$$

$$\text{أى } \frac{\epsilon \Delta \cos \alpha}{\epsilon \Delta \cos \alpha} = \epsilon \Delta \cos \alpha$$

ومعنى هذه المعادلة أنه اذا وجد خطان طيفيان ، الطول الموجى لاهدهما ϵ وللآخر

$\epsilon + \epsilon$ فان البعد الزاوى بينهما يكون مساوياً

$$\frac{\epsilon \Delta \cos \alpha}{\epsilon \Delta \cos \alpha}$$

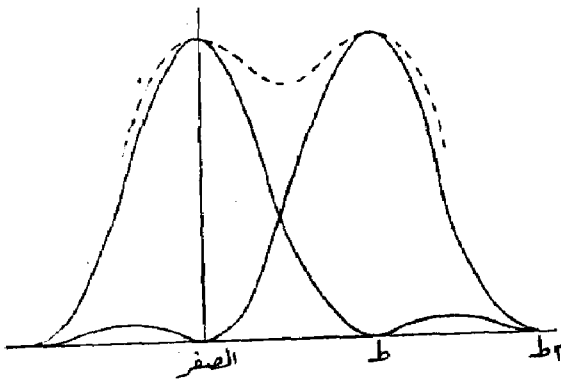
فلكى يرى الخطان منفصلين يجب أن يكون البعد الزاوى بين الخطين ، أكبر من الامتداد الزاوى لمنطقة الضياء فى الواحد ، أو على الأقل مساوياً له . أى يجب على الأقل أن يكون

$$\frac{u_2}{\sin \epsilon} = \frac{u_1}{\sin \epsilon} \quad (5)$$

$$\therefore \frac{u}{\sin \epsilon} = \frac{u_1}{\sin \epsilon} \quad (5)$$

ويسمى المقدار $\frac{u}{\sin \epsilon}$ شدة تحليل المحزوز للضوء ^(١) ، أو شدة تحليل الضوء بواسطة المحزوز ويتضح من المعادلة (٥) أنها تتناسب ومرتبة الطيف وتتناسب أيضاً وعدد خطوط المحزوز وقد بين « اللورد رايلي » أنه يكفى للحكم بانفصال الخطين الطيفيين أن يكون البعد الزاوى بين الخطين مساوياً نصف الامتداد الزاوى لمنطقة الضياء فى الواحد منهما .

ويتضح هذا من شكل (٢٣٧) . فإذا وقع منتصف المنطقة المضيئة فى أحد الضوءين عند



(شكل ٢٣٧)

موضع احاء ضوء الآخر ، وقدرت شدة الاستضاءة بجمع الاحداثيات الرأسية ، كان المنحنى المتقطع دالا على تغير شدة الاستضاءة فلو أن الخطين لا يظهران منفصلين بل يتصل ضياء الواحد بضياء الآخر فان المنطقة المضيئة يكون وسطها أقل ضياء . وظهورها

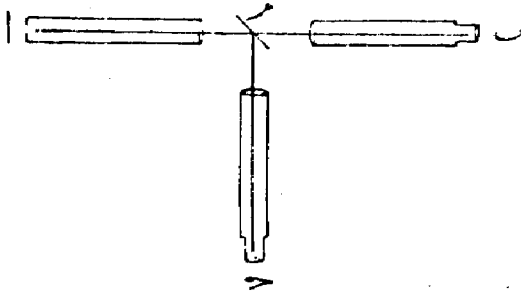
بهذه الكيفية يكون دليلا على وجود الخطين . وشدة التحليل وفقا لهذه الفكرة لا تكون مساوية

$\frac{u}{\sin \epsilon}$ كما تقدم وانما تساوى $\frac{u}{\sin \epsilon}$

٢٧٥ - تطبيق محزوز الحيود المنفذ لايحاء الطول الموجى

لتطبيق محزوز الحيود المنفذ لايحاء الطول الموجى يهيا سبكترسكوب للاستعمال بالكيفية المينة بيند (١٠٧) وتضاء فتحته بالضوء المراد ايجاد طوله الموجى . ثم يوضع محزوز الحيود على

قاعدة الجهاز بحيث تكون خطوطه رأسية وبحيث يكون مستواه عمودياً على الاشعة الواقعة عليه من المجموع . ولتهيئة المحزوز في هذا الوضع يجعل التلسكوب بحيث يكون محوره على استقامة محور المجموع . وبحيث ترى صورة الفتحة منطبقة على الخيط الرأسى أو على نقطة تقاطع الخيطين فى عينية التلسكوب ، وليكن موضعه عند ب كما هو مبين بشكل (٢٣٨) ثم يحدد هذا الوضع



(شكل ٢٣٨)

على الدائرة المدرجة ويدار التلسكوب بمقدار قائمة الى الوضع ح ، ويثبت فى هذا الوضع . ثم يؤتى بالمحزوز ويوضع مكانه على القاعدة وبهياً فى الوضع المبين بالشكل عند م ، حتى ينعكس الضوء عن سطحه نحو التلسكوب . وتتكون

صورة للفتحة ترى منطبقة على الخيط الرأسى أو على نقطة تقاطع الخيطين والتلسكوب فى مكانه عند ح لم يبرحه . ففى هذه الحالة تكون الزاوية بين مستوى المحزوز والاشعة المتوازية الواقعة عليه من المجموع هى ٤٥ درجة . فاذا أديرنا القاعدة الموضوع عليها المحزوز بمقدار ٤٥ درجة فى الاتجاه المناسب أخذ المحزوز الوضع المطلوب بحيث يقع عليه ضوء المجموع عمودياً على سطحه وعند ما يتم تهيئة المحزوز فى هذا الوضع تثبت القاعدة فلا تحرك فى أثناء التجربة . ويعاد التلسكوب الى الوضع ب ، ثم يدار قليلاً قليلاً فى احدى الجهتين مع استمرار النظر خلاله حتى يظهر الطيف ذو المرتبة الاولى . ويرى الخط الطيفى المراد ايجاد طول الموجى . وبهياً التلسكوب حتى ينطبق هذا الخط على الخيط الرأسى أو نقطة تقاطع الخيطين فى العينية ، ويحدد موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة . ثم يدار التلسكوب فى الجهة الأخرى من ب ، وتعاد العملية المذكورة بالنسبة الى الطيف ذى المرتبة الاولى فى الجانب الآخر . فتكون الزاوية بين موضعى التلسكوب فى الحالتين هى ضعف زاوية ح فى المعادلة

$$(١ + ب) ح = د$$

وهى التى تستخرج منها قيمة الطول الموجى د ، حيث يلاحظ أن المقدار (١ + ب)

هو مقلوب عدد الخطوط التى يشملها السنتيمتر الواحد من طول المحزوز

وتعاد هذه العملية بالنسبة الى الطيف ذى المرتبة الثانية حيث يكون

$$(1 + \epsilon) \text{ ح } \epsilon = 2$$

ويلاحظ في اجراء هذه التجربة لايجاد الطول الموجى لضوء لهب الصوديوم أن طيفه الخطى خطان منفصلان متقاربان ، وشدة تحليل المحزوزات المعتادة تكفى لفصل هذين الخطين أحدهما عن الآخر . فيوجد الطول الموجى لكل منهما على حدة من غير خلط بينهما

٢٧٦ - طريقة أخرى لتطبيق محزوز الحيود المنفذ لايجاد الطول الموجى

إذا لم تكن زاوية سقوط الضوء على سطح المحزوز صفراً فزاوية انحراف الأشعة الحائدة تتغير تبعاً لتغير زاوية السقوط . وتبلغ نهاية صغرى كما تبلغ زاوية الانحراف عند نفوذ الضوء خلال المنشور نهاية صغرى في وضع خاص . ومن شكل (٢٣٣) يتضح أن زاوية انحراف الأشعة عن مسيرها الأول هي

$$\epsilon \pm \epsilon = 0$$

فعند النهاية يجب أن يكون

$$0 = \epsilon \pm \epsilon = 0 \text{ صفراً } \dots \dots (1)$$

ولما كان

$$0 = (1 + \epsilon) \text{ ح } \epsilon \pm \epsilon$$

$$\therefore (1 + \epsilon) \text{ ح } \epsilon \pm \epsilon = 0 \text{ جتا } 0 = 0 \text{ صفراً } \dots \dots (2)$$

ومن المعادلتين (١) و (٢) ينتج أن

$$\text{جتا } \epsilon = \text{جتا } 0$$

$$\therefore \epsilon = 0$$

حيث يلاحظ أن كلا منهما لا يتجاوز القائمة

فزاوية انحراف الأشعة الحائدة تبلغ نهايتها الصغرى (١) عندما تكون زاوية السقوط

(١) يمكن اثبات أنها نهاية صغرى بالطريقة المعتادة

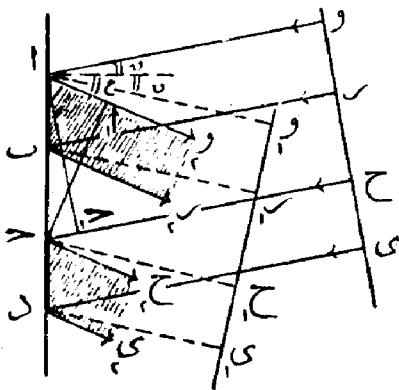
مساوية زاوية الحيود . ونظراً لأن الحالة التي تكون فيها الإشارة في المعادلة (٢) سالبة ، يكون فيها الانحراف صفراً تقتصر على الحالة التي تكون فيها الإشارة موجبة . فاذا وضع المحزوز على قاعدة السبكتروسكوب وهي " بحيث يرى الطيف ذو المرتبة الاولى ، ثم أديرنا القاعدة في الاتجاه المناسب بحيث تقل زاوية انحراف الاشعة الحائدة ، وهي " الجهاز بحيث يرى هذا الطيف وزاوية الانحراف عند نهايتها الصغرى ، وقيست زاوية الحيود في هذه الحالة ، أمكن استخراج قيمة n من المعادلة

$$n = \frac{1}{2} (1 + \sin \theta)$$

وتكون زاوية الحيود θ هي نصف الزاوية الواقعة بين امتداد الاشعة الساقطة وبين الاشعة الحائدة في هذه الحالة

٢٧٧ - المحزوز المستوى العاكس

وقد يستعمل بدلاً من المحزوز المستوى المنفذ محزوز عاكس . فيخطط سطح معدني مستوى بخطوط مستقيمة متوازية دقيقة . فاذا فرضنا كما سبق أن خطوط المحزوز متساوية السمك ومتساوية الابعاد وفرضنا أن ab ح د الخ شكل (٢٣٩) تمثل الأجزاء غير المخدوشة . وهي التي ينعكس عنها الضوء ، وما بينها يمثل ما نعتبره هنا بمثابة أجزاء سوداء غير عاكسة ، وفرضنا أن موجة ذات طول موجي معين ، صدرها مستوى مثل $ورح$ ي تقع على سطح المحزوز



(شكل ٢٣٩)

بزاوية سقوط قدرها n ، فإن الحزم المتوازية التي تنعكس بحيث تكون زاوية السقوط مساوية زاوية الانعكاس كالحزمة $او١ ب١$ لا يكون بين أشعتها بعضها والآخر فرق في المسير ، فاذا لمت بوساطة العدسة اللامعة في مستواها البؤري حدث من تجمعها ضياء ، ويكون هذا الضياء المركزي أما الحزمة المتوازية التي تحيد بزاوية θ لا تساوي n

كالحزمة $او١ ب١$ أو $ح٢ د٢$ ، فانه يحدث من تجمعها ضياء أو ظلمة تبعا لفرق المسير

بينها . فاذا أسقطنا من a العمود a ، على c ومن c العمود c ، على a ، اتضح أن فرق المسير بين a و c يكون مساوياً

$(1 + c) (c - a)$ باعتبار أن a رمز للبعد a و c رمز للبعد c ، ولما كان في الامكان أن تحيد الاشعة في الجانب الآخر من العمود يكون فرق المسير بوجه عام مساوياً

$$(1 + c) (c \pm a)$$

واذن شرط حدوث الضياء أن يكون

$$n = (1 + c) (c \pm a)$$

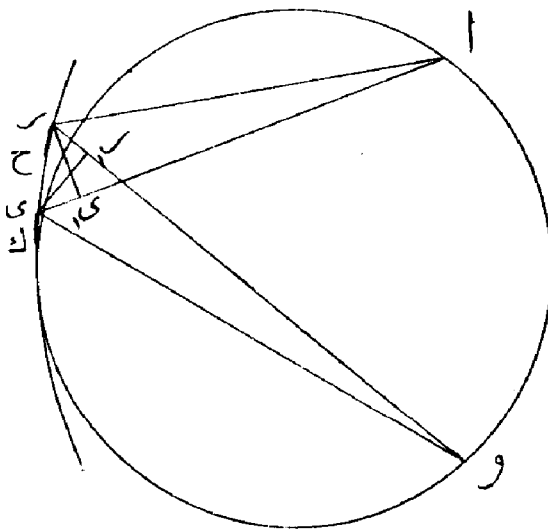
ويكن استعمال المحزوز العاكس في جهاز سبكتروسكوب كما يستعمل المحزوز المنفذ حيث يلاحظ أن الصورة المركزية حيث لا يكون فرق ما في المسير بين الاشعة تتكون من تجمع الاشعة التي تنعكس منقادة لقانوني الانعكاس . واذا كان الضوء أبيض تكون هذه الصورة لالونية . ويكون على جانبها الأطياف ذات المراتب المختلفة

ونظراً لسهولة تخطيط السطوح المعدنية بخطوط متوازية ، اذا قيس ذلك بتخطيط الألواح الزجاجية ، فإن المحزوزات المعدنية العاكسة تفضل أحياناً على الزجاجية المنقذة . ولكن من اكبر عيوبها أن أقل تغيير في درجة الحرارة قد يحدث في أثناء التخطيط يؤدي الى عدم انتظام توزيع الخطوط

وتحدث ظواهر حيود شبيهة بالتي تحدث بفعل المحزوز العاكس عند وقوع الضوء على السطوح المشطبة شطباً دقيقة متقاربة . ومن هذه السطوح ما يوجد في الطبيعة كسطوح الاصداف . فهي ذات تعاريج دقيقة تجعلها كأنها مخططة بخطوط رفيعة متقاربة . فيحدث عن حيود الضوء بفعلها الالوان المختلفة التي تشاهد على سطوح الاصداف . وقد يكفي أحياناً امرار الأصبع وقد بلل قليلاً بالشهق عليه ، على سطح لوح من الزجاج أو على سطح معدني مصقول ، لكي ترى ألوان تحدث عن الحيود بفعل الخطوط الدقيقة التي رسم عليه

في نقطة مثل و على محيط الدائرة . وهذا ينطبق أينما كان موضع كل من نقطتي ح د مادام اتساع المحزوز صغيراً ، واذن تكون زاوية سقوط جميع الأشعة التي في مستوى الورقة وتسقط على المحزوز من نقطة مثل ا على محيط الدائرة تكون زاوية السقوط واحدة لها جميعاً ، كذلك فان جميع الأشعة التي تحيد بزواوية حيود واحدة ، وتكون في مستوى الورقة تتجمع في نقطة مثل و على محيط الدائرة أيضاً

و يكون موضع تجمع الاشعة الحائدة موضع ضياء أو ظلمة تبعاً لفرق المسير بينها . فاذا



(شكل ٢٤١)

فرضنا في شكل (٢٤١) أن رح يمثل عرض أحد الاجزاء العاكسة من سطح المحزوز ، و ي ك يمثل عرض الجزء العاكس الذي يليه و ح ي يمثل عرض الجزء غير العاكس المحصور بينهما وكان رو شعاعاً حائداً من مبدىء الجزء العاكس الاول و ي و شعاعاً حائداً من مبدىء الجزء العاكس الذي يليه . وأسقطنا من ر العمود ر ي ، على الشعاع

الساقط اى . ومن ي العمود ي ر ، على الشعاع الحائد رو كان فرق المسير بين الشعاعين الحائدين مساوياً

$$ي ي - ر ر$$

ونظراً لان زاويتي السقوط عند ر و ي واحدة ، وزاويتي الحيود عندهما واحدة أيضاً

فالرمز للاولى بالحرف ن وللثانية بالحرف ح . ولسمك الجزء العاكس رح بالحرف ا ولسمك الجزء غير العاكس ح ي بالحرف ع . يمكن بسهولة بيان أن

$$ي ي - ر ر = (١ + ع) (ح ا - ح ع)$$

واذن شرط حدوث الضياء عند و أن يكون

$$ن ا = (١ + ع) (ح ا - ح ع)$$

ونظراً لأنه إذا كانت نقطة و في الجانب الآخر من نقطة ه يكون فرق المسير

$$(1 + \epsilon)(\epsilon + \epsilon)$$

كما يمكن بيانه بسهولة ، فإن شرط حدوث الضياء بوجه عام أن يكون

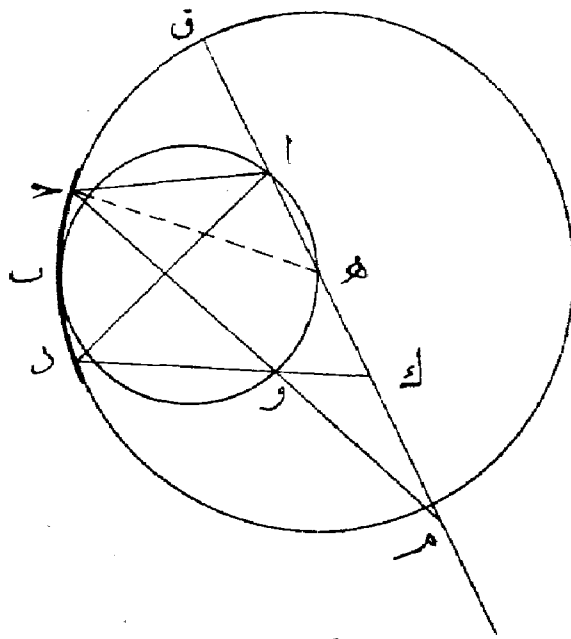
$$(1 + \epsilon)(\epsilon + \epsilon) = \epsilon$$

فاذا كانت نقطة ا نقطة ثابتة على محيط الدائرة كانت زاوية ه ثابتة أيضاً ، فتكون على محيط الدائرة حيث تبلغ ع القيمة التي يتوافر بها شرط المعادلة المذكورة مواضع ضياء ، حيث يلاحظ أنه في حالة ما تكون قيمة ه صفراً ، يكون فرق المسير معدوماً ، فيكون الضياء الحادث هو الصورة التي تحدث بالانعكاس المعتاد عن السطح المقعر ، وتكون مواضع الضياء الاخرى على جانبيها ، واذا كان الضوء الصادر من نقطة ا أبيض تكونت الاطياف ذات المراتب المختلفة على جانبي الصورة اللالونية الوسطى التي تتكون حيث يعدم فرق المسير

ويمكن اذا حركت نقطة ا حول محيط الدائرة ، الحصول على الاطياف ذات المراتب المختلفة في نقطة ثابتة على المحيط مثل و . حيث تكون زاوية الحيود ع في المعادلة السابقة ثابتة ويتغير فرق المسير تبعاً لتغير ه

وقد اقتصرنا في الشرح السابق على الاشعة الموجودة في مستوى الورقة ، والحقيقة أن الاشعة التي تسقط من نقطة ا حزمة مخروطية الشكل . وليان ما يحدث عند مراعاة الحزمة المخروطية نسترشد بما سبق بيانه في بند (١٤٦) . فالاشعة التي تسقط من ا على سطح المخزوز تسقط بزواية سقوط كبيرة . فاذا راعينا حالة ما يكون فرق المسير معدوماً وهي الحالة التي تكون فيها الاشعة الحائدة هي الاشعة المنعكسة الانعكاس المعتاد ، فإن الحزمة المنعكسة عن السطح تكون حزمة لانقطعية تمر بخطين بؤريين أحدهما (وهو المار بالنقطة التي تمثلها نقطة و) عمودى على مستوى الورقة ، والآخر واقع في مستواها . وشكل (٢٤٢) يوضح هذا . ففيه الشعاع الذى يسقط من نقطة ا عمودياً على السطح الكرى الذى يعتبر سطح المخزوز جزءاً منه ، هو الشعاع ه ا الذى نقطة سقوطه على السطح هي نقطة ق فتكون هذه النقطة اذن بمثابة القطب . وتكون مواضع سقوط الحزمة ا ح د بعيدة عن القطب فاذا كانت هذه الحزمة ضيقة وتتقابل أشعتها الواقعة في

مستوى الورقة بعد الانعكاس في نقطة وأدير الشكل كله حول المحور ه ا ق بزاوية صغيرة تكون من دوران ح د سطح المحزوز العاكس ، ومن دوران ا ح د الحزمة المنحروية



(شكل ٢٤٢)

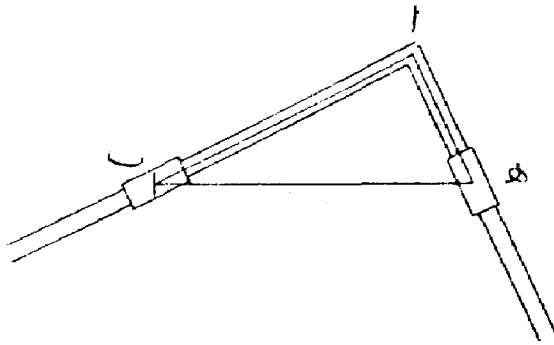
الساقطة عليه ومن دوران نقطة و الخط البؤرى الاول العمودى على مستوى الورقة ، ويكون م ك هو ما سبق أن سميناه الخط البؤرى الثانى .

فيتضح من هذا أن الصورة التى تتكون بالانعكاس المعتاد عند و للنقطة ا لا تكون نقطة ، وانما تكون خطاً بؤرياً عمودياً على مستوى الورقة . وبالمثل تكون مواضع الضياء الحادثة بالحيود . خطوطاً قصيرة

عمودية على مستوى الورقة واقعة على محيط الدائرة ، التى قطرها يساوى نصف قطر تكور المحزوز . فاذا استبدلت بالنقطة ا شكل (٢٤٢) فتحة مستطيلة ضيقة عمودية على مستوى الورقة كان ذلك أدعى الى زيادة هذه الخطوط ضياء ووضوحاً

٢٧٩ — طريقة رولند لاستعمال المحزوز المقعر العاكس

لاستعمال المحزوز المقعر على أتم وجه ، اتخذ رولند عارضين متعامدين من الخشب المتين



(شكل ٢٤٣)

ا ب ه ا ه (شكل ٢٤٣) مثبت عليهما قضبان تزلق عليهما عجلات تحمل أنبوبة من الحديد ب ه طولها يساوى نصف قطر تكور المحزوز ، والمحزوز مثبت عند أحد طرفي الانبوبة وليكن الطرف ب بحيث تكون

خطوطه عمودية على مستوى الورقة وبحيث يكون مركز تكوره عند الطرف الآخر للانبوبة وهو الطرف ه حيث يوجد عند هذا الطرف قطعة عينية اذا أريد رؤية الطيف

بالعين . أو يوضع عنده لوح فتوغرافي اذا أريد تصويره . أما الفتحة المستطيلة الضيقة فوضعها عند a وتكون عمودية على مستوى الورقة

فنقطة h تمثل موضع تكون الطيف ونظراً لأن h عمودى على سطح المحزوز ، فإن الاشعة الحائدة الى h تكون زاوية حيودها صفراً . واذن معادلة المحزوز تتحول الى الصورة الآتية

$$n = (n + 1) \sin \theta$$

حيث يلاحظ أن n هي زاوية السقوط وتساوى زاوية a . فاذا أضيئت الفتحة بضوء ذى لون واحد وأخذت الانبوبة b تزلق على ضلعي القائمة بحيث تزداد زاوية n من الصغر بالتدريج حتى تبلغ القيمة التى يتوافر بها شرط المعادلة

$$n = (n + 1) \sin \theta$$

ظهر الخط الطيفى ذو المرتبة الاولى عند الطرف h للانبوبة ، واذا زادت n حتى تبلغ القيمة التى يتوافر بها شرط المعادلة

$$n = (n + 1) \sin \theta$$

ظهر الخط الطيفى ذو المرتبة الثانية عند الطرف نفسه للانبوبة ، وهكذا . ويمكن رؤية الخطوط الطيفية رأساً ، بالنظر خلال القطعة العينية الموضوعة عند h ولما كان b يساوى h وكان المقدار h متناسباً والطول الموجى يتبين ان بعد h عن a حين يرى خط طيفى يتناسب والطول الموجى لهذا الخط . كما أن هذا البعد للخط الواحد فى الاطراف ذات المراتب المختلفة يتناسب ومرتبة الطيف . كذلك يمكن تدريج الذراع a بحيث يدل موضع العينية حين يرى اى خط طيفى ، على الطول الموجى لهذا الخط . ويلاحظ أن البعد بين أى خطين طيفيين (مقيساً على امتداد a) يكون متناسباً والفرق بين طوليهما الموجيين . واذن تكون الابعاد المتساوية فى الطيف الذى يتكون بفعل المحزوز دالة على فروق متساوية فى الطول الموجى . ويسمى الطيف من جراء ذلك بالطيف العيارى^(١)

ولتصوير الطيف يستبدل بالعينية لوح فتوغرافي مثنى على شكل قوس من الدائرة التي قطرها يساوى نصف قطر المحزوز ويبها الطرف ه للانبوبة بحيث يتكون عنده الجزء المراد تصويره من الطيف . ويعرض عندئذ اللوح الفتوغرافي . وإذا كان الطيف المراد تصويره طويل الامتداد كالطيف الشمسي مثلاً فانه يصور أجزاء كل جزء منها على حدة ، ثم تظم هذه الاجزاء بعضها الى الآخر لكي يمكن الحصول على صورة الطيف بتمامه والاطياف المصورة بهذه الكيفية تكون أطيافاً عيارية أيضاً

ولتصوير الاطياف استخدم « رولند » ألواحاً فتوغرافية رقيقة يبلغ طول الواحد ٢٠ بوصة ويبلغ عرضه بوصتين يتسنى ثنيها بسهولة حول قوس من الدائرة التي قطرها يساوى نصف قطر المحزوز

ويصنع المحزوز عادة بحيث يكون نصف قطر تكوره حوالى ٢٩ قدماً ونصف قدم وبحيث يحتوى على عشرة آلاف خط أو عشرين الف خط في البوصة

ومن أكثر مزايا المحزوز المقعر امكان تطبيقه لقياس الأطوال الموجية في الأجزاء المسبعدة البنفسجية أو الماقبل الحمراء من الطيف ، وفي حالة الأشعة الماقبل الحمراء يستبدل بالقطعة العينية أو باللوح الفتوغرافي ترمويل حساس أو بلومتر^(١) يستدل به على الاشعاع

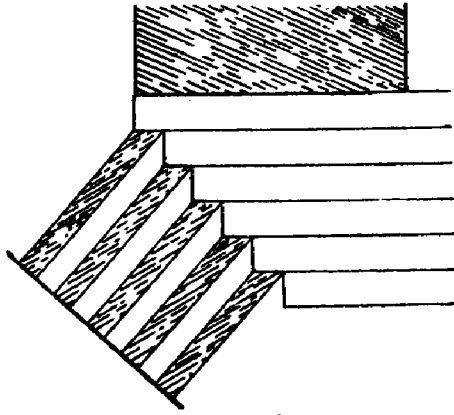
٢٨. — الاشلون — الكتيبة المدرجة

تبين في بند (٢٧٤) ان شدة تحليل المحزوز للضوء تناسب وعدد الخطوط وتناسب أيضاً ومرتبة الطيف . والاسترسال في مضاعفة عدد الخطوط دونه عقبات عملية ليس من السهل التغلب عليها . وشدة الاستضاءة في الطيف تقل كلما زادت المرتبة . واذن فشدة تحليل المحزوز للضوء تقف عند حد تستلزمه المقتضيات العملية

وقد اخترع « ميكلسن » جهازاً يصلح لاحداث أطياف حيود ، ذات مراتب عالية جداً وتكون شدة تحليله للضوء كبيرة جداً . والجهاز يتركب من عدة ألواح من الزجاج قد عني

(١) أنظر الباب الرابع عشر

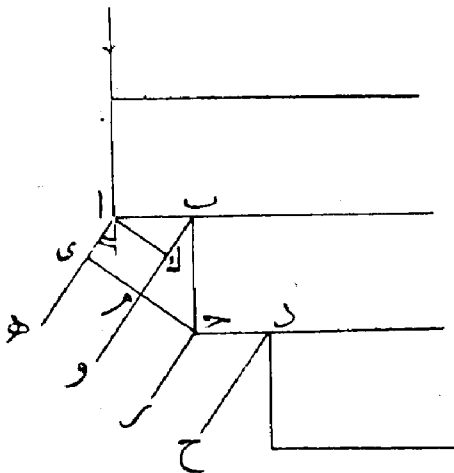
بان يكون سمكها جميعاً واحداً ، وبأن يكون سطحها كل لوح منها مستويين متوازيين . وهذه الألواح ترتب على هيئة كتيبة مدرجة بالكيفية الموضحة بشكل (٢٤٤) بحيث يكون تنوء كل لوح عن الذى يليه واحداً فيها جميعاً ، ولذلك يسمى الجهاز « الاشلون » (١)



(شكل ٢٤٤)

فاذا فرضنا أن موجات متتالية ذات طول موجى معين وصدورها مستوية موازية لسطوح الألواح ، تقع على المجموعة كما هو مبين بالشكل فان الحزم المتوازية التى تحيد فى الاتجاه المبين بالشكل اذا ملت بوساطة عدسة لامة ، يحدث من تجمعها فى المستوى البورى ، ضياء أو ظلمة تبعاً لفرق المسير بينها

فاذا راعينا حزمتين متجاورتين من الاشعة الحائدة كالحزمتين اه ب و و ح د (شكل ٢٤٥) ، وأسقطنا من ح العمود حى على اه ، قطعاً ب و فى نقطة م اتضح أن فرق المسير بين الشعاع اه والشعاع ح ر يساوى التخلف الحادث من جراء اختراق الضوء سمكاً من الزجاج قدره ب ح منقوصاً منه التخلف الحادث من مسير الضوء فى الهواء مسافة اى



(شكل ٢٤٥)

فاذا رمزنا لسمك اللوح ب ح بالحرف م ولعامل انكسار الضوء فى مادة اللوح بالحرف ن ، فان مسير الضوء مسافة قدرها م فى الزجاج يعادل مسيره مسافة قدرها م ن فى الهواء ، واذن يكون فرق المسير بين الشعاعين (مقيساً فى الهواء) هو
م ن - اى

ويساوى هذا فرق المسير بين الشعاعين ب و ح

دح أو بين شعاع من الحزمة الاولى وبين الشعاع المقابل له من الحزمة الثانية . فاذا ساوى هذا الفرق فى المسير أضعاف الطول الموجى ، حدث ضياء من تجمع الحزم فى المستوى البورى للعدسة

اللامه التي تستخدم لهذه الغاية . فاذا رمزنا لزاوية الحيود كالزاوية ح ب م بالحرف ح ولا تساع الدرجة في الاشلون أى للبعد ا ب أو خ د بالحرف م وأسقطنا من العمود ا ك على ب و ، يتضح من الشكل أن

$$\overline{اى} = \overline{ك م}$$

$$\text{وبما أن } \overline{ب م} = \overline{م حتا ح}$$

$$\text{ب ك} = \overline{م حا ح}$$

$$\text{اذن } \overline{ك م} = \overline{م حتا ح} - \overline{م حا ح} = \overline{اى}$$

فيكون فرق المسير بين الشعاعين المذكورين مساوياً

$$\overline{م م} - \overline{م حتا ح} + \overline{م حا ح}$$

واذن شرط حدوث الضياء أن يكون

$$\overline{م م} - \overline{م حتا ح} + \overline{م حا ح} = n \lambda \quad (١)$$

وفرق المسير مقدار كبير اذا قيس بالطول الموجى فمثلا اذا راعينا حالة ما تكون زاوية الحيود صفراً ففرق المسير يكون مساوياً م (م - ١) . فاذا اعتبرنا أن سمك اللوح ستمتر واحد ومعامل انكسار الضوء فيه ١,٥ فان هذا الفرق فى المسير يساوى نصف ستمتر ، فاذا اعتبرنا متوسط الطول الموجى ٥٠٠٠٠٠ م من الستمتر ، فان فرق المسير يساوى عشرة آلاف مرة الطول الموجى ، فتكون مرتبة الطيف الذى يتكون فى هذه الحالة هى المرتبة العشرة الآلاف ويتبين من المعادلة (١) أن زيادة زاوية الحيود من الصفر ، يزيد فرق المسير ، ويزيد اذن مرتبة الطيف . فكأن أقل فرق فى المسير يحدث هو الحادث عندما تكون زاوية ح صفراً ويكون الطيف الحادث فى هذه الحالة هو أول طيف يتكون . ولأن الجزء الاكبر من الضوء ينفذ فى استقامة الاشعة الساقطة على الاشلون ، فان شدة الاستضاءة فى هذا الطيف تكون كبيرة ولا استعمال الاشلون ، يستخدم سبكتروسكوب يهياً للاستعمال كالمعتاد . ويوضع الاشلون على القاعدة المعدة لحمل المنشور ، ويهياً الجهاز بحيث تقع الاشعة المتوازية الخارجة من المجمع (وقد اضيئت فتحة الرأسية بضوء ذى لون واحد) عمودياً على الاشلون كما هو مبين بشكل (٢٤٤)

فاذا وضع التلسكوب على امتداد المجمع رؤى أول طيف يتكون بوساطة الجهاز . ونظراً لأن قيمة n في المعادلة (١) كبيرة فقد يكون

$$n \approx n_0$$

حيث يكون n طولاً موجياً آخر . واذن يظهر الطيف ذو المرتبة النونية للضوء ذي الطول الموجي n واقعاً على الطيف ذي المرتبة n_0 للضوء ذي الطول الموجي n_0 ، فإلم يكن الضوء بسيطاً جداً ، اختلطت الأطياف ذات المراتب المختلفة التي تتكون للاضواء ذات الأطوال الموجية المختلفة بعضها بالآخر . ومن أجل هذا لا يصلح الاشلون الا لدراسة امكان تحليل الاضواء البسيطة جداً ، أى للبحث في حقيقة أحادية الخطوط الطيفية ، ويصالح لدراسة ظاهرة هامة سيأتى ذكرها في موضع آخر من الكتاب (١) . ويستعمل مع الاشلون في العادة منشور يفضل أن يكون مشتتاً غير حار . ويمكن وضعه بين الاشلون وبين التلسكوب . فالخطوط الطيفية التي قد تكون خطوطاً ذات أطوال موجية مختلفة ومن أطياف ذات مراتب مختلفة قد اختلط بعضها بالآخر ، هذه الخطوط ينفصل بعضها عن الآخر من جراء التشتت الحادث بفعل المنشور

٢٨١ - شدة تشتت الاشلون وشدة تحليله للضوء

يمكن إيجاد شدة التشتت وشدة التحليل بالكيفية التي سبق اتباعها فالمعادلة (١) في البند السابق تتحول الى الصورة الآتية اذا كانت زاوية الحيود θ صغيرة . وهي

$$m(1 - \cos \theta) = \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta \quad (1)$$

فبإجراء عملية التفاضل بالنسبة الى θ ، ونظراً لأن معامل الانكسار m يتغير بتغير الطول الموجي ينتج أن

$$\frac{dm}{d\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda^2} \sin \theta$$

$$\therefore \frac{1}{m} \left(m - \lambda \frac{dm}{d\lambda} \right) = \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta \quad (2)$$

وقد سبق أن فرق المسير عند ما تكون قيمة θ صفراً ، يساوى $(1 - m)$ ، ومرتبة الطيف

(١) هي ظاهرة زين (الباب الرابع عشر)

في هذه الحالة هي $\frac{m}{n}(1-m)$. ويمكن اعتبار قيمة n في المعادلة (٢) مساوية هذا المقدار نظراً

لصغر زاوية الحيود. فبالتعويض في المعادلة (٢) ينتج أن

$$\frac{m}{n} = \frac{m}{n} \left(\frac{1-m}{n} - \frac{1-m}{n} \right)$$

$$= \frac{m}{n} (1-m) \left(\frac{1-m}{n} - \frac{1-m}{n} \right) \dots \dots \dots (٣)$$

وبالرمز للمقدار المحصور بين القوسين بالحرف 1 ، تكون شدة تشتيت الاشلون للضوء هي

$$\frac{m}{n} = \frac{m}{n} 1 \dots \dots \dots (٤)$$

ومن هذه المعادلة يتضح أنه اذا وجد طولان موجيان n و $n + n$ ، فالانفصال الزاوى

بين خطيهما في الطيف هو

$$\frac{m}{n} = \frac{m}{n} 1 \dots \dots \dots (٥)$$

ولاجساد شدة التحليل، نفرض أن عدد ألواح الاشلون E . فاذا ضربنا طرفي المعادلة (١)

في E ينتج أن

$$E = E + (1-m)E \dots \dots \dots (٦)$$

ويساوى هذا الفرق في المسير بين أى شعاع من أول درجة من درجات الاشلون وبين الشعاع

المقابل له من الدرجة الاخيرة عند حدوث الطيف. فاذا زادت زاوية الحيود E بمقدار صغير

ΔE بحيث يكون

$$E + \Delta E = (1-m)E + E \dots \dots \dots (٧)$$

عدم الضياء، كما تبين في بند (٢٧٤). واذن يكون ΔE المدى الزاوى الذى يمتد اليه ضياء

الخط الطيفي من أحد جانبيه. وبطرح المعادلة (٦) من المعادلة (٧) ينتج أن

$$\Delta E = E \Delta E$$

$$\Delta E = E \Delta E \dots \dots \dots (٨)$$

فيكون المدى الزاوى الذى يمتد اليه الضياء من جانبيه مساوياً $\frac{\Delta E}{E}$. فلكي يرى الخطان

الطيفيان n و $n + n$ منفصلين يجب أن يكون الانفصال الزاوى بينهما وهو المقدار E في

المعادلة (٥)، مساوياً على الاقل المدى الذى يمتد اليه الضياء من الجانبين، فيكون

قدرها ϵ ، من احدى درجات الاشلون (أو من جميع درجاته) متناسبة والمقدار

$$\frac{\text{حاج } \frac{\pi}{n} \text{ س } \epsilon}{2 \left(\frac{\pi}{n} \text{ س } \epsilon \right)}$$

ويبلغ هذا المقدار نهاية عظمى اذا كانت ϵ صفراً . وهو يعدم اذا كان $\text{س } \epsilon = \pm n$ أو $\pm \frac{n}{2}$ الخ كما تقدم في بند (٢٦٧) وقد تبين في هذا البند أيضاً أن اكثر الضوء محصور في المنطقة الزاوية المحدودة بين $\epsilon = \text{صفراً}$ وبين $\pm \pi$ ، واذن يمكن اعتبار الضياء الحادث بفعل الاشلون محصوراً بين الاتجاه الذى تكون فيه قيمة ϵ صفراً ، وبين الاتجاه الذى تكون فيه قيمتها $\pm \frac{n}{2}$ اذن هذه المنطقة تمتد على جانبي العمود على الاشلون (باعتبار أن الضوء يقع عليه عمودياً) بزاوية قدرها $\frac{n}{2}$

فالذا عدنا الى المعادلة (١) في بند (٢٨١) وفرضنا أن زاوية الجود ϵ زادت بمقدار $\Delta \epsilon$ بحيث يكون

$$\text{س } \epsilon + \text{س } \Delta \epsilon = (\text{س } \epsilon + \Delta \epsilon) \text{س } + (1 - \text{س}) \text{س}$$

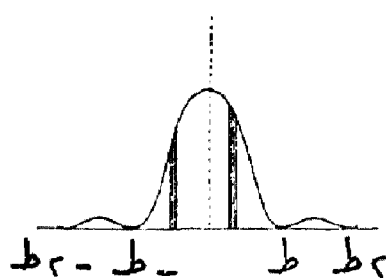
يكون $\Delta \epsilon$ الانفراج الزاوى بين الطيفين اللذين أحدهما مرتبته ϵ والآخر مرتبته $(1 + \epsilon)$

وبطرح المعادلة (١) في بند (٢٨١) من المعادلة السابقة ينتج أن

$$\text{س } \Delta \epsilon = \Delta \epsilon \text{س}$$

$$\Delta \epsilon = \Delta \epsilon \text{س}$$

اذن الانفراج الزاوى بين طيفين متتاليين وهو $\frac{n}{2}$ يساوى نصف الامتداد الزاوى الذى



(شكل ٢٤٦)

نعتبر الضياء محصوراً فيه . فالمنطقة التى ينحصر فيها الضياء تشمل عادة طيفين الفرق بين مرتبتهما الوحدة ، والبعد بينهما يساوى نصف اتساع هذه المنطقة وشكل (٢٤٦) يوضح هذه الفكرة . فالمنطقة التى ينحصر فيها الضوء تمتد من ط الى ط وعند المنتصف يبلغ الضياء أشده وتكون زاوية الجود صفراً

وعند ط — ط وعند ط حيث يعدم الضياء تكون زاوية الحيود $\frac{\pi}{2}$. فاذا حدث خط طيني وزاوية ϵ صغيرة وكانت قيمة ϵ في هذه الحالة ممثلة على الرسم البياني بموضع الشريط الرأسى الموجود على يمين المحور الرأسى المرسوم نقطاً في الشكل ، فإن شدة استضاءة هذا الخط تمثل بطول هذا الشريط . ويكون الخط الطيفى الآخر على بعد منه يساوى نصف البعد بين النقطتين — ط و ط

وان كانت زاوية ϵ حيث يحدث الخط الطيفى ذو المرتبة n لها قيمة معينة متى تحدد وضع الاشلون بالنسبة الى اتجاه الضوء الواقع عليه ، فإن ادارة الاشلون قليلاً بحيث تسقط عليه الاشعة بزاوية سقوط تختلف قليلاً عن الصفر تحدث فرقاً في المسير يترتب عليه أن قيمة ϵ حيث يحدث الطيف تتغير قليلاً ، فيتغير تبعاً لذلك موضع الشريط الرأسى على الرسم البياني في شكل (٢٤٦) .

فاذا انطبق موضعه على نقطة المنتصف بين — ط و ط بلغت شدة استضاءة أحد الخطين نهايتها العظمى وزال الخط الآخر واذا كان موضعاً الشريطين على بعدين متساويين من تلك النقطة ظهر الخطان الطيفيان بشدة واحدة ويسمى الموضع الأول موضع المرتبة النونية المفردة (١) ويسمى الثانى موضع المرتبة النونية المزدوجة (٢)