الباب الحادي عشر

الحيـــود

٢٤٥ — المناطق النصف الدورية

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

ولتوضيح هذه الفكرة نفرض ان ا ب (شكل ٢١٠) يمثل صدر موجة مستوية فكل نقطة من صـدر الموجة تكون طبقاً لقاعدة « هيجنز » مركز اضطراب تنتشر منـه مويجة ، ويكون لهذه المويجات تأثير حاصل فى نقطة مثـل هـ . فللتوصل الى معرفة هـذا التأثير نسقط من نقطة هـ العمود هـ حـ على صـدر الموجة ، ونقسم هذا الصـدر مناطق أولها منطقة مستديرة مركزها نقطة حـ ونصف قطرها حـ د$_1$ بحيث يكون

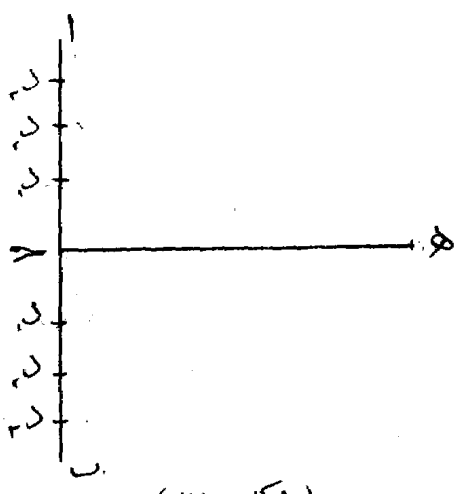
هـ د$_1$ — هـ حـ = $\frac{1}{2}$ ل

باعتبار أن ل رمز للطول الموجى

وحول هـــذه المنطقة المستديرة حلقة سمكها د$_1$ د$_2$ بحيث يكون

هـ د$_2$ — هـ د$_1$ = $\frac{1}{2}$ ل

وحول هذه حلقة سمكها د$_2$ د$_3$ بحيث يكون



(شكل ٢١٠)

$$هـ د_{٣} - هـ د_{٢} = \frac{١}{٢} ل$$

وهكذا

فالمناطق التى يقسمها صدر الموجة بهذه الكيفية تسمى « مناطق نصف دورية »[١] وتسمى نقطة حـ وهى مركز هذه المناطق قطب الموجة بالنسبة الى نقطة هـ ، وقطب الموجة بالنسبة الى نقطة ما مثل هـ هو نقطة على صدر الموجة ، تصل المويجة منها الى نقطة هـ فى أقصر وقت

وجميع النقط التى على صدر الموجة المستوية ا ب فى طور واحد من الحركة . اذن المويجة المبتدئة من حـ باعتبارها مركز المنطقة الأولى والمويجة المبتدئة من د$_{١}$ باعتبارها مبدأ المنطقة الثانية اذا وصلتا الى نقطة هـ يكون بين مسيريهما فرق يساوى نصف الطول الموجى . فهما تتداخلان عند نقطة هـ بحيث تضعف احداهما الأخرى حتى اذا كان اتساع الاهتزازة الحادثة عند هـ بفعل احداهما مساوياً اتساعها بفعل الأخرى عدمت الحركة الاهتزازية عندها. وكذلك تتداخل المويجة الصادرة من نقطة د$_{١}$ باعتبارها نهاية المنطقة الأولى والمويجة الصادرة من نقطة د$_{٢}$ باعتبارها نهاية المنطقة الثانية . وكذلك تتداخل المويجة الصادرة من أية نقطة بين حـ و د$_{١}$ من المنطقة الأولى والمويجة الصادرة من النقطة التى تقابلها من المنطقة الثانية . اذن تتداخل المويجات الصادرة من المنطقة الأولى والمويجات الصادرة من المنطقة الثانية بحيث يضعف بعضها الآخر عند هـ

وبالمثل تتداخل المويجات الصادرة من المنطقة الثالثة والمويجات الصادرة من المنطقة الرابعة بحيث يضعف بعضها الآخر عند هـ وهكذا

فاذا كان اتساع الاهتزازة الحاصلة عند هـ بفعل مويجات المنطقة الاولى مساوياً اتساع الاهتزازة الحاصله عندها بفعل مويجات المنطقة الثانية وهكذا ، كان التداخل تاماً ، وعدمت الحركة الاهتزازية عند هـ .

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

---

(١) Half Period Zones

٢٤٦ – الحاصل بفعل المناطق النصف الدورية

وللبحث فى الحاصل النهائى بفعل هـذه المناطق النصف الدورية نقدر أولا مساحاتها . فاذا رمزنا للبعد بين نقطة ه (شكل ٢١٠) وبين القطب ح بالحرف ع ، ولنصف قطر محيط المنطقة الأولى بالرمز $س_1$ ، كان البعد بين أية نقطة على هذا المحيط وبين ه مساوياً $ع + \frac{1}{2} ل$ وبما أن ه ح عمودى على صدر الموجة يكون

$$(ع + \frac{1}{2} ل)^2 = س_1^2 + ع^2$$

$$\therefore \quad ع^2 + ع ل + \frac{1}{4} ل^2 = س_1^2 + ع^2$$

فاذا أغفلنا الحد الذى يشمل مربع الطول الموجى يكون

$$س_1^2 = ع ل$$

واذن تكون مساحة هذه المنطقة هى

$$ط س_1^2 = ط ع ل$$

أو اذا رمزنا بوجه عام لنصف قطر المحيط الخارجى للمنطقة النونية بالرمز $س_ن$ كان البعد بين أية نقطة على هذا المحيط وبين نقطة ه مساوياً $ع + \frac{1}{2} ن ل$ واذن يكون

$$(ع + \frac{1}{2} ن ل)^2 = س_ن^2 + ع^2$$

واذا أغفلنا الحد الذى يشمل مربع الطول الموجى وهو $\frac{1}{4} ن^2 ل^2$ ، يكون

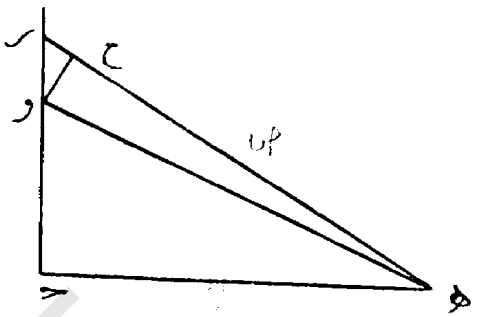
$$س_ن^2 = ن ع ل$$

وكذلك $س_{ن-1}^2 = (ن - 1) ع ل$

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

$$ط س_ن^2 - ط س_{ن-1}^2 = ط ع ل$$

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 ن فلتقدير المساحة الحقيقية للمنطقة النونية نفرض أن سمكها و ر (شكل ٢١١)



(شكل ٢١١)

ونصل ه و ، ه ر ثم نسقط من والعمود و ح على ه ر فالمثلثان و ر ح ، ه ر ح متشابهان

$$\therefore \frac{\text{ر ح}}{\text{ر و}} = \frac{\text{س}}{\text{ر ه}}$$

فاذا رمزنا لبعد المنطقة النونية عن نقطة ه أى للبعد ر ه بالحرف س ومع العلم بأن $\overline{\text{ر ح}} = \frac{1}{2}$ ل ينتج أن

$$\text{ر و} = \frac{1}{2} \frac{\text{ص ل}}{\text{س}}$$

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

$$\frac{1}{2} \frac{\text{ص ل}}{\text{س}} \times ٢ \text{ ط س} = \text{ط ص ل}$$

ومنه يتضح أن مساحات المناطق البعيدة تتناسب وابعادها عن نقطة ه

واذا اعتبرنا المناطق النصف الدورية بمثابة مناطق مضيئة فان شدة الاستضاءة عند نقطة ه تتناسب وعكس مربع البعد وتقل كلما قل ميل سطح المنطقة على المستقيم الواصل بينه و بين نقطة ه ولما كانت شدة الاستضاءة متناسبة ومربع اتساع الاهتزازة (بند ٢٠٥) يكون اتساع الاهتزازة الحادثة عند ه بفعل أية منطقة متناسباً وعكس بعد المنطقة وتقل كلما قل ميل سطح المنطقة على المستقيم الواصل بينه و بين نقطة ه . ولكن اتساع الاهتزازة الحادثة عند ه بفعل أية منطقة تتناسب أيضاً ومساحة هذه المنطقة لان تغير المساحة بنسبة ما يغير عدد مراكز الاضطراب بالنسبة نفسها . فاذا راعينا أولا المناطق المجاورة للقطب دون البعيدة واعتبرنا مساحاتها متساوية فان اتساع الاهتزازة الحادثة عند ه بفعلها يتناسب وعكس البعد و يقل كلما قل ميل المستقيم الواصل بينها و بين نقطة ه 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

فان مساحاتها تتناسب وأبعادها عن نقطة ه ونظراً لأن زيادة المساحة يزيد اتساع الاهتزازة وزيادة البعد يقلله بنسبة واحدة فان 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 أكانت المناطق قريبة من القطب أم بعيدة عنه فان 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 ، وكذلك الاهتزازة بفعل المنطقة الرابعة لا تمحو الاهتزازة بفعل الثالثة وهكذا . فاذا رمزنا لاتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة الأولى بالرمز $ا_1$ ولاتساع الاهتزاة الحادثة بفعل الثانية بالرمز $ا_2$ وهكذا ، يكون اتساع الاهتزازة النهائية الحاصلة بفعل صدر الموجة كله مساوياً

$$ا_1 - ا_2 + ا_3 - ا_4 + ا_5 - ا_6 + \text{الخ}$$

ونظراً لان قيمة هذه الحدود تقل بالتدريج يكون للمتوالية المذكورة قيمة معينة موجبة . ونظراً لأن قيمة الحد الواحد تصير صغيرة جداً اذا 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 فى نقطة ه ، واذن بالنسبة الى نقطة ه يكون الجزء الفعال من صدر الموجة هو الجزء الصغير من المساحة المحيطة بالقطب ، فاذا حجبت هذه المساحة بحاجز ، امتنع تأثير صدر الموجة فى نقطة ه ، أى امتنع وصول الضوء اليها ، وتكون نقطة ه فى منطقة الظل .

بهذه الكيفية استطاع فرسنل التوفيق بين النظرية الموجية وظاهرة انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة

٢٤٧ — تقدير اتساع الاهتزازة الحادثة فى نقطة بفعل المناطق النصف الدورية

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

$$ا_1 - ا_2 + ا_3 - ا_4 + \ldots\ldots\ldots$$

فاذا رمزنا لمجموع ن من حدود هذه المتوالية بالحرف ج و باعتبار $ا_ن$ الحد الاخير فرديا يكون

$$ج = ا_1 - ا_2 + ا_3 - \ldots + ا_{ن-1} - ا_ن + \ldots (١)$$

ولايجاد مجموع [1] هذه المتوالية توضع أولا فى القالب الآتى

$$ج = \frac{ا_1}{2} + \left(\frac{ا_2}{2} - ا_1\right) + \left(\frac{ا_3}{2} + ا_2 - \frac{ا_1}{2}\right) + \left(\frac{ا_4}{2} + ا_3 - \frac{ا_2}{2}\right) + \ldots$$

$$+ \left(\frac{ا_ن}{2} + ا_{ن-1} - \frac{ا_{ن-2}}{2}\right) + \frac{ا_ن}{2} \ldots\ldots (٢)$$

ويتضح من هذا أنه اذا كان الحد من حدود المتوالية الأصلية أصغر من المتوسط العددى للحدين السابق له والتالى أى كان الحد $ا_ن < \frac{ا_{ن-1} + ا_{ن+1}}{2}$ وهكذا فان المقادير المحصورة بين الاقواس فى المتوالية (٢) تكون جميعها موجبة واذن يكون

$$ج > \frac{ا_1}{2} + \frac{ا_ن}{2}$$

ثم توضع المتوالية فى القالب الآتى

$$ج = ا_1 - \frac{ا_2}{2} - \left(\frac{ا_2}{2} - ا_3\right) - \left(\frac{ا_4}{2} + ا_3 - \frac{ا_4}{2}\right) - \left(\frac{ا_6}{2} + ا_5 - \frac{ا_4}{2}\right) - \ldots$$

$$\ldots - \frac{ا_{ن-1}}{2} + ا_ن \ldots\ldots (٣)$$

ومنه يتضح انه اذا كان الحد من حدود المتوالية الأصلية أصغر من المتوسط العددى للحدين السابق له والتالى فان المقادير المحصورة بين الأقواس تكون موجبة واذن يكون

$$ج < ا_1 - \frac{ا_2}{2} + ا_ن + \frac{ا_{ن-1}}{2}$$

واذن يكون مجموع المتوالية مقداراً تقع قيمته حتما بين المقدارين

$$ا_1 - \frac{ا_2}{2} \text{ و } ا_ن + \frac{ا_{ن-1}}{2} + \frac{ا_ن}{2}$$

فاذا كانت حدود المتوالية تنقص بانتظام وتدرج وبطء بحيث لا يكون الفرق بين $ا_1$ و $ا_2$

---

(١) هذه طريقة « شوستر » لجمع المتوالية وهى مأخوذة عن كتاب
The Theory of Optics by Schuster and Nicholson.

أو بين $ن_{ن-١}$ ، $ن_ن$ كبيراً فان المقدارين المذكورين يكادان يتساويان . واذن يمكن اعتبار مجموع المتوالية

$$ج = \frac{ن_١}{٢} + \frac{ن_٢}{٢}$$

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

$$ج > \frac{ن_١}{٢} + \frac{ن_٢}{٢}$$

$$ن_١ + \frac{ن_{١-ن}}{٢} - \frac{ن_٢}{٢} - ا_١ < ع$$

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

$$ج = \frac{ن_١}{٢} + (\frac{ن_١}{٢} - ا_٢ + \frac{ن_٢}{٢}) + (\frac{ن_٣}{٢} + ا_٤ - \frac{ن_٤}{٢}) + (\frac{ن_٥}{٢} + ا_٦ - \frac{ن_٦}{٢}) + \ldots .$$

$$\ldots + \frac{ن_{ن-١}}{٢} - ن_ن \ldots . (٤)$$

وتصير فى قالبها الثانى كما يأتى

$$ج = ا_١ - \frac{ن_٢}{٢} - (\frac{ن_٢}{٢} - ا_٣ + \frac{ن_٤}{٢}) - (\frac{ن_٤}{٢} + ا_٥ - \frac{ن_٦}{٢}) - \ldots .$$

$$\ldots \ldots - \frac{ن_ن}{٢} \ldots . (٥)$$

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

$$ج = \frac{ن_ن}{٢} - \frac{ن_١}{٢}$$

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

$$ج = \frac{1}{2} ا_1$$

أى أن اتساع الاهتزازة الحاصلة من جميع المناطق التى يقسمها صدر الموجة يساوى نصف اتساع الاهتزازة الحاصلة من المنطقة الاولى على حدتها

واذا حجبت المنطقة الأولى فان اتساع الاهتزازة الحاصلة من المناطق الأخرى يكون مساوياً مجموع المتوالية

$$ا_2 - ا_3 + ا_4 - ا_5 + \ldots$$

ويمكن كما سبق بيان أن مجموعها اذا كانت لا نهائية يساوى $\frac{1}{2} ا_2$. فيكون اتساع الاهتزازة الحاصلة مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة الثانية على حدتها وكذلك اذا حجبت المنطقتان الأولى والثانية فان اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل المناطق الأخرى يكون مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة الثالثة على حدتها وهكذا (١)

---

(١) اذا اعتبرنا الحد من حدود المتوالية $ا_1 - ا_2 + ا_3 - ا_4 + ا_5 \ldots$ الخ مساوياً المتوسط العددى للسابق له والتالى أمكن الحصول على مجموع $ن$ من حدود المتوالية بالطريقة الآتية

(أولا) اذا كان العدد $ن$ فردياً يكون مجموع المتوالية مساويا

$$ا_1 - \frac{ا_1 + ا_3}{2} + ا_3 - \frac{ا_3 + ا_5}{2} + \ldots - ا_5 + \frac{ا_{ن-2} + ا_ن}{2} + ا_ن$$

$$= \frac{ا_1}{2} + \frac{ا_ن}{2}$$

(ثانيا) اذا كان العدد زوجيا يكون مجموع المتوالية مساويا

$$ا_1 - \frac{ا_1 + ا_3}{2} + ا_3 - \frac{ا_3 + ا_5}{2} + ا_5 - \ldots + ا_{ن-1} - \frac{ا_{ن-1} + ا_ن}{2}$$

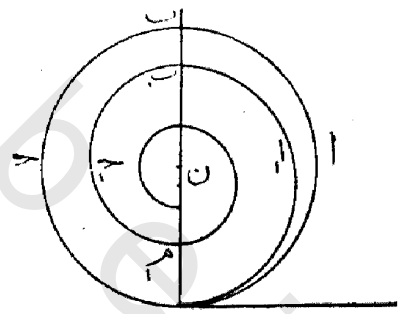
$$= \frac{ا_1}{2} - \frac{ا_ن}{2}$$

$$= \frac{ا_1}{2} - \frac{ا_ن}{2}$$ نظراً لأن $ا_ن = ا_{ن+1}$ بالتقريب

ويتضح أنه اذا كانت المتوالية لا نهائية يصير مجموعها $\frac{ا_1}{2}$

٢٤٨ — توضيح عمل المناطق النصف الدورية بالرسم

سبق فى بنـد (١٨٤) أن محصلة عدد لا نهائى من الحركات الدورية التى فى اتجاه واحد ، ويتغير طورها تغيراً منتظماً ، يمكن ايجادها من منحنى الاهتزازة . فاذا قسم صدر الموجة حلقات ذات سمك تفاضلى مركزها القطب . وكان المستقيم الواصل بين أية نقطة على المحيط الخارجى وبين نقطة هـ التى يراد ايجـاد الاهتزازة الحادثة فيها ، اكبر من المستقيم الواصل بين أية



(شكل ٢١٢)

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

كذلك فمحصلة الاهتزازات التى يتغير طورها من ط الى ٢ ط ، وهى الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الثانيـة يكون اتساعهـا ب مـ ، وطورها مضاد لطور الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الأولى . واذن يكون اتساع المحصلة الحاصلة من المنطقتين الأولى والثانية صفرا .

ولكن (كما تبين فيما سبق) اتساع الاهتزازات الحادثة عند ه بفعل الحلقات ليس واحداً وانما يقل كلما بعدت الحلقة عن القطب . فلا يكون نصف قطر الانحناء فى منحنى الاهتزازة وهو المقدار $\frac{ع^{٢}}{ه}$ (انظر بند ١٨٤) ثابتاً بل ينقص بالتدريج . فتتحول دائرة الاهتزازة الى حلزون كالحلزون مـ$_{١}$ ب$_{١}$ حـ$_{١}$ المبين بشكل (٢١٢) . ويكون اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الأولى مـ ب$_{١}$ واتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الثانية ب$_{١}$ مـ$_{١}$ ويكون طورها مضادا لطور السابقة . واذن يكون اتساع محصلة الاهتزازة الحاصلة من المنطقتين الأولى والثانية مـ مـ$_{١}$ 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$_{١}$ أى يكون اتساع المحصلة النهائية مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل المنطقة النصف الدورية الأولى

٢٤٩ – تحقيق النتائج المتعلقة بالمناطق النصف الدورية عملياً

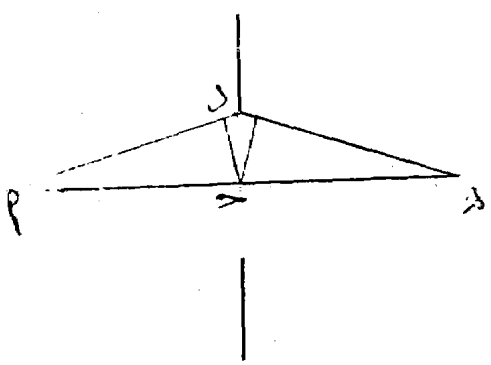
يتضح مما سبق أنه اذا حجبت المناطق النصف الدورية وعرضت المنطقة الأولى وحدها فان اتساع الاهتزازة الحادثة بفعلها عند نقطة ه يكون ضعف اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل صدر الموجة كله . ولما كانت شدة الاستضاءة تتناسب ومربع اتساع الاهتزازة فان كشف المنطقة النصف الدورية الاولى دون غيرها يجعل شدة الاستضاءة فى نقطة ه أربعة امثال شدتها اذا لم تحجب المناطق الأخرى . كذلك لما كان اتساع الاهتزازة الحادثة عند نقطة ه بفعل المنطقتين النصف الدوريتين الاولى 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 الموجى بالحرف ل ولنصف قطر المنطقة النصف الدورية الاولى بالرمز ص$_{١}$ يكون

$$ص_{١}^{٢} = ع \, ل$$

فاذا اعتبرنا متوسط قيمة ل هى ٠,٠٠٠٠٥ من السنتيمتر وجعلنا نقطة ه 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 والضيق ، كالفتحات التى تستعمل فى آلات التصوير أمام عدساتها ، ووضع الحاجز فى مسير حزمة متوازية من الاشعة الضوئية (كالاشعة التى تصدر من مجمع كمجمع السبكترسكوب مستبدل بفتحته ثقب) وعمودياً عليها ، وروعيت نقطة على امتداد المستقيم العمودى 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 ه هى المنطقة النصف الدورية الاولى واذن تكون شدة الاستضاءة فى نقطة ه اكبر مما لو لم يكن الحاجز موجوداً . كما أنه اذا اتسعت الفتحة قليلا قليلا أخذت شدة الاستضاءة عند ه تقل حتى اذا بلغت مساحة الفتحة ضعف مساحتها الاولى ، وكشفت بذلك المنطقتين النصف الدوريتين الأولى والثانية كادت تصل شدة الاستضاءة عند نقطة ه الى العدم

واذا اتخذ ثقب صغير كسم دبوس فى صفيحة معدنية معتمة وجعل من خلفه قوس كهربائى يضيئه ، وجعلت الفتحة القابلة للاتساع والضيق فى منتصف المسافة بين الثقب المضاء وبين النقطة التى نراعيها ، فنظراً لأن مصدر الضوء هو الثقب فصدر الموجة ليس مستوياً ، واذن اذا استعملت فى هذه الحالة الفتحة التى نصف قطرها ١,٤ من المليمتر فانها لاتعرض المنطقة النصف الدورية الأولى لنقطة تبعد عنها بمسافة قدرها أربعة أمتار كما لو كان صدر الموجة مستوياً . فاذا فرضنا أن نقطة ا (شكل ٢١٣) تمثل مصدر الضوء ونقطة ه تمثل النقطة التى نراعيها ووضع الحاجز الذى به الفتحة المستديرة فى منتصف المسافة بينهما وأخذنا نقطة مثل د على المستوى المار بنقطة حـ عمودياً على ا ه بحيث يكون ا د — ا حـ = ½ ل



(شكل ٢١٣)

$$\text{ى د هـ} - \text{حـ هـ} = \frac{1}{2} \text{ل}$$

يتضح أن $\qquad \text{ا د} + \text{د هـ} - \text{ا هـ} = \frac{1}{2} \text{ل}$

واذن يكون فرق المسير بين المويجة التى تصل الى هـ من نقطة حـ وبين المويجة التى تصل الى هـ من نقطة د مساوياً $\frac{1}{2}$ ل وتكون الفتحة التى نصف قطرها حـ د بمثابة المنطقة النصف الدورية الأولى بالنسبة الى نقطة هـ . فاذا رمزنا لنصف قطرها بالرمز س$_1$ وللبعد هـ حـ بالحرف ع يتضح مما سبق أن

$$(ع + \frac{\text{ل}}{4})^2 = \text{س}_1^2 + \text{ع}^2$$

$$\therefore \text{س}_1^2 = \frac{1}{2} \text{ع ل}$$

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

وقد أجرى «وود»[1] على اساس الفكرة المذكورة تجربة جعل فيها الحاجز ذا الفتحة المستديرة القابلة للاتساع والضيق على بعد تسعة أمتار من مصدر الضوء وجعل فى الجانب الآخر منها وعلى بعد أربعة أمتار ونصف متر منها مرآة صغيرة لكى 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 هـ . فجعل قطرة من دهان أبيض على قطعة صغيرة من الزجاج ووضعها بحيث تكون القطرة فى مركز البقعة الضوئية . فاذا وسعت الفتحة بالتدريج أخذ الضوء الواقع على الدهان فى الضعف حتى اذا بلغت مساحتها الضعف زال الضوء واختفت قطرة الدهان الابيض فى الظلام

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

---

(١) Wood

المنطقة الاولى . وقد اتخذت هذه النتيجة عند أول ظهور نظرية فرسنل دليلا على بطلانها لانه ظن أن هذه النتيجة ينقضها الواقع . و يمكن التحقق من صحتها اذا علق قرص صغير كقطعة من النقود الصغيرة فى سبيل الأشعة الصادرة من مصدر كما فى 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 بلغ بعد النقطة التى يختبر عندها الاستضاءة بضعة أمتار من القرص كادت تكون شدة الاستضاءة مساوية شدتها فى هذه النقطة عند عدم وجود القرص فيكون سيان وجوده أو عدمه . واذا وضعت العين فى هذه النقطة رؤيت حافة القرص مضيئة لأنها حلقة من نور

٢٥٠ — اللوح ذو المناطق

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

$$ا_١ + ا_٣ + ا_٥ + ا_٧ + \ldots$$

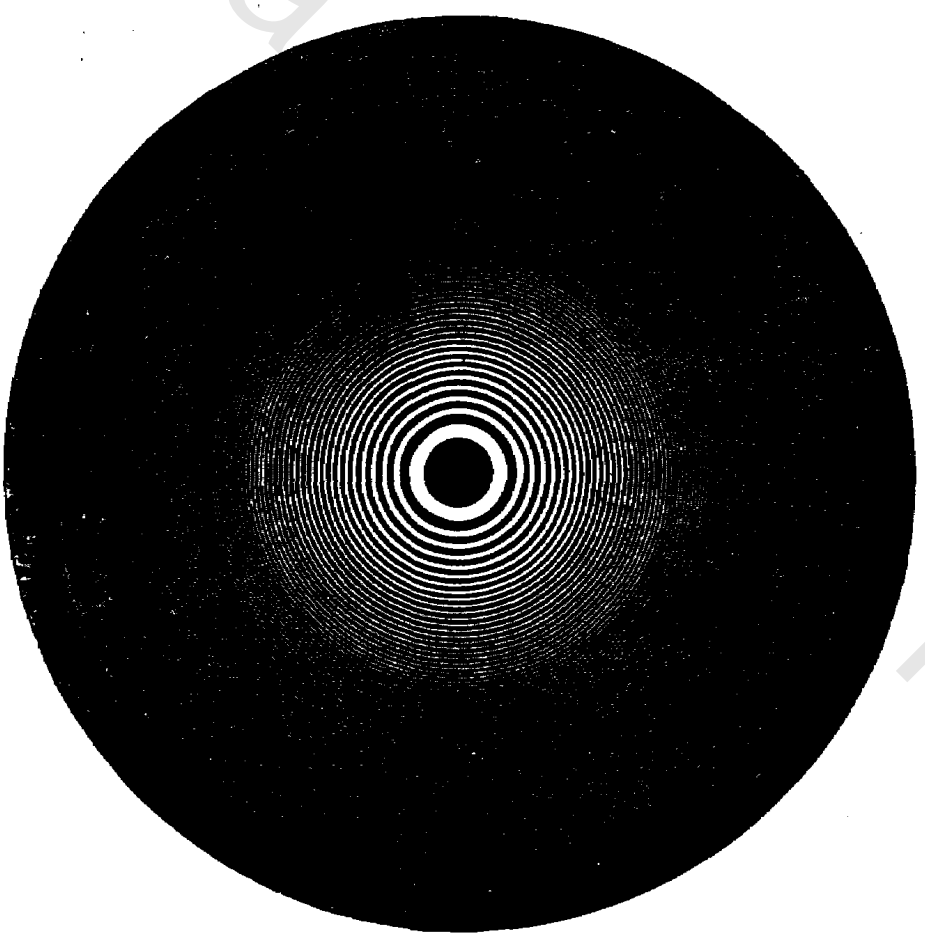
واذن تكون شدة الاستضاءة فى النقطة ه أضعاف شدتها عند ما يعرض صدر الموجة كله فبالرغم من وجود حائل يمنع عن نقطة ه بعض الضوء الواصل اليها ، فان الاستضاءة تكون اكبر . وكذلك يكون الحال اذا حجبت المناطق الفردية دون الزوجية

ومن الطرق التى يمكن بها حجب المناطق الفردية دون الزوجية أو الزوجية دون الفردية ، ان يرسم على صفحة كبيرة من الورق الأبيض دوائر 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 ، فان الصورة الفتوغرافية السالبة تكون فيها الدائرة الوسطى شفافة ، وحولها حلقة معتمة وحول هذه حلقة شفافة وهكذا . فاذا

رمزنا لنصف قطر الدائرة الوسطى بالرمز $س_1$ وفرضنا 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 $ع$ وكان

$$س_1^2 = ع ل$$

باعتبار أن $ل$ رمز للطول الموجى ، فان الدائرة الوسطى الشفافة من الصورة تنطبق على المنطقة النصف الدورية الأولى بالنسبة الى هـذه النقطة والحلقة المعتمة التى حولها تنطبق على المنطقة النصف الدورية الثانية ، وهكذا . وبهـذه الكيفية يتحقق بالنسبة الى النقطة المذكورة كشف المناطق النصف الدورية الفردية وحجب المناطق النصف الدورية الزوجية . وبالمثل اذا كانت الصورة الفتوغرافية موجية بحيث تكون الدائرة الوسطى معتمة والحلقة التى حولها شفافة والتى حول هـذه معتمة وهكذا ، فانه ينحجب بالنسبة الى النقطة المذكورة المناطق



(شكل ٢١٤)

الفردية وتكون المناطق الزوجية مكشوفة فاذا اختبرت شدة الاستضاءة فى النقطة المذكورة كانت فى كلتى 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 بايجاز « اللوح ذا المناطق »[1]

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

وقد أشار « اللورد رايلى » الى أنه اذا كانت المناطق الفردية مثلا من لوح من هذا القبيل مكشوفة وكانت المناطق الزوجية شفافة ليست معتمة ، ولكنها مكسوة بطبقة من مادة شفافة تحدث تخلفاً فى الضوء النافذ منها قدره نصف الطول الموجى فان الاهتزازة (فى 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 فى النقطة التى نراعيها يكون (بالتقريب) ضعف اتساع الاهتزازة فى حالة ما تكون المناطق الزوجية محجوبة واذن تكون شدة الاستضاءة أربعة أمثالها . وقد استطاع « وود »[2] تحقيق هذه الفكرة . ومن تجار به فيما يتعلق بهذا انه جعل لوحاً من الزجاج مكسواً سطحه بطبقة من الجيلاتين تحتوى على ثانى رومات البوتاسيوم بحيث يكون سمكها السمك المناسب لاحداث فرق فى 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 فى 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 فى طبع الصورة مناطقه الفردية معتمة ومناطقه الزوجية مكشوفة حصلنا (على اللوح الزجاجى) على طبقة

---

(١) Zone-Plate

(٢) Physical Optics صفحة (٤٠)

من الجيلاتين فوق المناطق الزوجية دون الفردية ويكون سمكها السمك المناسب لاحداث الفرق المطلوب فى المسير

٢٥١ – اللوح ذو المناطق يعمل عمل العدسة اللامة

يتبين مما سبق انه اذا وقعت على اللوح ذى المناطق موجة مستوية بحيث ينطبق اللوح على صدرها فان شدة الاستضاءة فى نقطة معينة على امتداد العمود المرسوم على اللوح ماراً بمركز الحلقات تكون أكبر كثيراً منها عندعدم وجود اللوح . وأشعة الضوء اذا كان صدر الموجة مستوياً أشعة متوازية واذن اذا وقعت على اللوح ذى المناطق أشعة متوازية فان شدة الاستضاءة فى المنطقة المعينة تكون أكبر مما لو لم يكن اللوح موجوداً . فعمل اللوح مماثل لعمل العدسة اللامة من هذه الوجهة حيث تكون النقطة المعينة المذكورة بمثابة البؤرة التى يتجمع فيها الضوء بفعل اللوح

واذا رمزنا لبعد هذه النقطة عن مركز المناطق المرسومة على اللوح بالحرف ع ورمزنا لنصف قطر المحيط الخارجى للحلقة أو المنطقة النونية بالرمز $س_ن$ فان

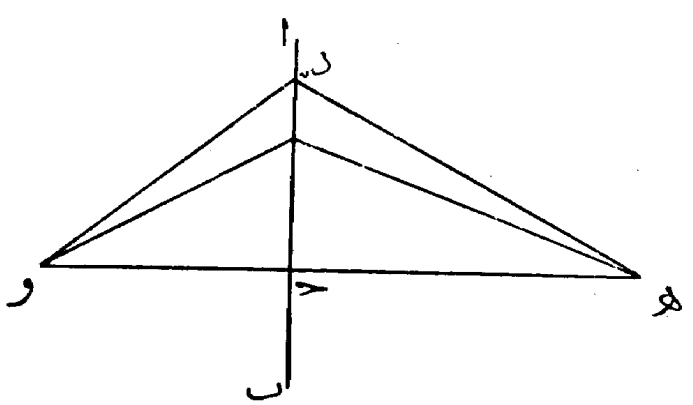
$$ل ع ن = س_ن^{٢}$$

$$\therefore ع = \frac{س_ن^{٢}}{ل ن}$$

ويساوى هذا بعد بؤرة اللوح ذى المناطق عنه

ويمكن بيان التشابه بين عمل اللوح ذى المناطق وعمل العدسة اللامة بالطريقة الآتية

لنفرض أن و (شكل ٢١٥) نقطة مضيئة تصدر عنها موجة كرية وأن ا ب مستوى اسقط عليه العمود و ح وأن هذا المستوى قسم بالنسبة الى نقطة مثل ه على امتداد و ح مناطق نصف دورية مركزها ح بحيث اذا كان



(شكل ٢١٥)

حـ د$_{ن}$ نصف قطر المحيط الخارجى للمنطقة النصف الدورية النونية يكون

$$\overline{\text{و د}_{ن}} - \text{و حـ} + \text{د}_{ن}\text{هـ} - \text{حـ هـ} = \frac{1}{2}\,\text{ل}_{ن}$$

فاذا رمزنا لبعد النقطة المضيئة و عن المستوى بالحرف س ولبعد نقطة هـ عنه بالحرف س فان

$$\overline{\text{و د}_{ن}} - \text{س} + \text{د}_{ن}\text{هـ} - \text{س} = \frac{1}{2}\,\text{ل}_{ن} \quad \ldots\ldots (1)$$

وبالرمز لنصف قطر المحيط الخارجى للمنطقة النونية بالرمز س$_{ن}$ يكون

$$\overline{\text{س}^{2}_{ن}} = \overline{\text{و د}^{2}_{ن}} - \text{س}^{2}$$

$$= (\overline{\text{و د}_{ن}} - \text{س})(\overline{\text{و د}_{ن}} + \text{س})$$

ولما كان الفرق بين طول المستقيم و د$_{ن}$ وبين س لا يتجاوز فى الغالب بضعة أضعاف الطول الموجى أمكن اعتبار

$$\overline{\text{و د}_{ن}} + \text{س} \text{ مساوياً } 2\,\text{س}$$

$$\therefore \quad \overline{\text{و د}_{ن}} - \text{س} = \frac{\text{س}^{2}_{ن}}{2\,\text{س}}$$

وبالمثل يمكن اثبات أن

$$\text{د}_{ن}\text{هـ} - \text{س} = \frac{\text{س}^{2}_{ن}}{2\,\text{س}}$$

فبالتعويض فى المعادلة (١) ينتج أن

$$\frac{\text{س}^{2}_{ن}}{2\,\text{س}} + \frac{\text{س}^{2}_{ن}}{2\,\text{س}} = \frac{1}{2}\,\text{ل}_{ن}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{\text{س}} + \frac{1}{\text{س}} = \frac{\text{ل}_{ن}}{\text{س}^{2}_{ن}} \quad \ldots\ldots (2)$$

ويتضح من هذا انه اذا تعينت قيمة كل من س ، س كانت مربعات انصاف اقطار المناطق المرسومة على المستوى ا ب متناسبة والاعداد ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ الخ فيتوافر اذن الشرط المذكور فى اللوح ذى المناطق

والمعادلة (٢) تشبه تماماً المعادلة الدالة على العلاقة بين بعد الجسم عن العدسة اللامة وبين بعد صورته الحقيقية عنها وهى 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 ، والتى هى 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

$$\frac{\text{ن}^{٢}_{\text{س}}}{\text{ل ن}}$$

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 ٠٫٠٠٠٥ كان البعد البؤرى للوح

$$\frac{٠٫١ \times ١٫٠}{٠٫٠٠٠٥} = ٢٠٠ \text{ سنتمتر}$$

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

$$\overline{\text{ه حـ}} = \text{ل} . \text{ن}^{٢}_{١}$$

$$\text{ل} \frac{١}{٢} = \overline{\text{ه حـ}} - \overline{\text{ه د}_{١}} \quad \text{و}$$

أو بوجه عام

$$س_{ن}^{٢} = \overline{ه حـ} \times ل ن \quad \ldots\ldots \quad (١)$$

$$\text{و} \quad \overline{ه د_{ن}} - \overline{ه حـ} = \frac{١}{٢} ل ن \quad \ldots\ldots \quad (٢)$$

ولكن توجد نقطة بين ه و حـ غير مبينة بالشكل ولتكن $ه_{١}$ ، بحيث يكون

$$س_{١}^{٢} = \overline{ه_{١} حـ} \times ٣ ل$$

$$\text{و} \quad \overline{ه_{١} د_{١}} - \overline{ه_{١} حـ} = \frac{٣}{٢} ل$$

أو بوجه عام

$$س_{ن}^{٢} = \overline{ه_{١} حـ} \times ٣ ن ل \quad \ldots\ldots \quad (٣)$$

$$\text{و} \quad \overline{ه_{١} د_{ن}} - \overline{ه_{١} حـ} = \frac{٣}{٢} ن ل \quad \ldots\ldots \quad (٤)$$

فاذا كانت المناطق الفردية بالنسبة الى نقطة ه شفافة والزوجية معتمة فان الدائرة الشفافة المركزية تكشف بالنسبة الى نقطة $ه_{١}$ لا المنطقة النصف الدورية الاولى فحسب بل المناطق الأولى والثانية والثالثة . والحلقة المعتمة التى حولها تحجب بالنسبة الى نقطة $ه_{١}$ لا المنطقة النصف الدورية الثانية بل المناطق الرابعة والخامسة والسادسة . وهكذا

واذن يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة فى نقطة $ه_{١}$ مساوياً لمجموع المتوالية

$$ا_{١} - ا_{٢} + ا_{٣} - ا_{٤} + ا_{٥} - ا_{٦} + ا_{٧} - ا_{٨} + ا_{٩} + \ldots\ldots$$

واذا قوبلت هذه المتوالية بالمتوالية الآتية

$$ا_{١} - ا_{٢} + ا_{٣} - ا_{٤} + ا_{٥} - ا_{٦} + ا_{٧} - ا_{٨} + ا_{٩} \ldots\ldots \text{الخ}$$

وهى الدالة على اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل جميع المناطق يوجد مجموع الاولى أكبر . واذن يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة عند $ه_{١}$ أكبر مما لو لم يكن اللوح ذو المناطق موجوداً

فكأن نقطة $ه_{١}$ هى أيضاً بمثابة بؤرة ولو أن شدة الاستضاءة فيها تكون أقل منها فى البؤرة ه

ويتضح من مقابلة المعادلة (٣) بالمعادلة (١) أن بعد النقطة $ه_{١}$ عن اللوح هو ثلث بعد النقطة ه عنه

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

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

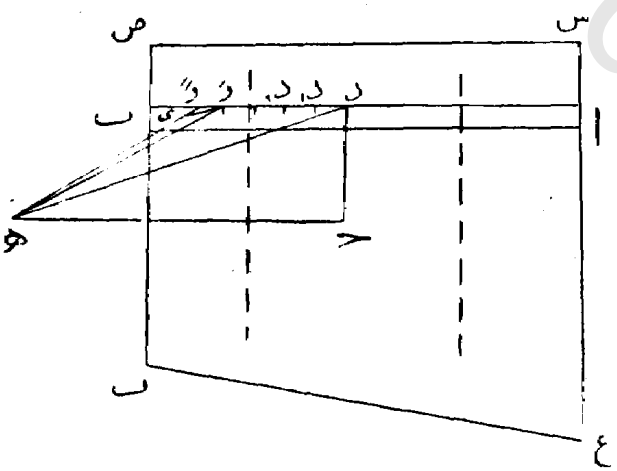
اذن لا يكون للوح ذى المناطق بؤرة واحدة عند هـ بعدها عن اللوح يساوى $\frac{\text{نق}^{٢}}{\text{ل}}$ بل عدة بؤرات أخرى غيرها تكون أبعادها عن اللوح هى بالترتيب

$$\frac{\text{نق}^{٢}}{\text{ل}} \cdot \frac{١}{٣} \quad \frac{\text{نق}^{٢}}{\text{ل}} \cdot \frac{١}{٥} \quad \frac{\text{نق}^{٢}}{\text{ل}} \cdot \frac{١}{٧} \quad \text{وهكذا}$$

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 « فرسنل » ويعرف باسمه وهو خاص بحيود الضوء عند صدوره من مصدر قريب على بعد محدود حيث لا يكون صدر الموجة مستوياً . وقسم درسه « فرونهوفر » 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 مهدين اليها هنا بذكر كيفية أخرى



(شكل ٢١٦)

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

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

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

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 حـ على صدر الموجة كانت نقطة حـ قطب الموجة ثم لنأخذ على الشريط ا ب نقطاً مثل د١ ، د٢ ، د٣ الخ تقسمه عناصر أو أجزاء تفاضلية بحيث يكون

$$\text{هـ د}_{١} - \text{هـ د} = \text{هـ د}_{٢} - \text{هـ د}_{١} = \text{هـ د}_{٣} - \text{هـ د}_{٢} = \ldots\ldots = \text{مقداراً تفاضلياً نرمز له بالحرف ا}$$

فالاهتزازة الحادثة عند ه بفعل هذه الأجزاء التفاضلية التى يقسمها الشريط يختلف بعضها عن الآخر (أولا) فى 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 $\frac{٢\,ط}{ل}$. (وثانياً) فى الاتساع ، فاذا راعينا عنصراً مثل وَ وَ وَ رسمنا وَ ى عموداً على هـ وَ فان المثلثين وَ وَ ى ، هـ وَ د متماثلان . واذن

$$\frac{\text{وَ وَ}}{\text{هـ وَ}} = \frac{\text{وَ ى}}{\text{د وَ}}$$

وبما أن $\text{وَ ى} = ا$

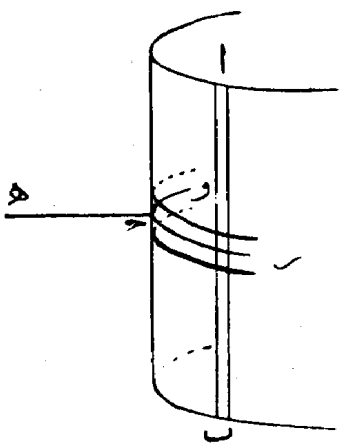
$$\therefore \frac{\text{وَ وَ}}{\text{هـ وَ}} = \frac{ا}{\text{د وَ}}$$

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

$$\frac{\text{وَ وَ}}{\text{هـ وَ}}$$

واذن فهو يتناسب عكسياً والبعد د و ، أى بعد الجزء عن نقطة د وهى قطب الشريط . وفضلا عن هذا فهو يقل أيضاً من جراء عامل الميل . واذن فاتساع 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 جانبى 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



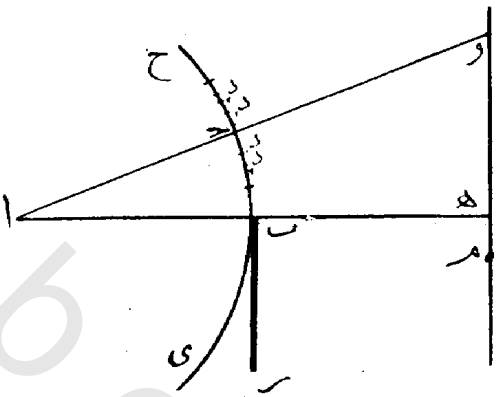
(شكل ٢١٧)

ويمكن تقسيم صدر الموجة الاسطوانية أيضاً شرائط مثل ا ب (شكل ٢١٧) وتكون هذه الشرائط موازية لمحور الاسطوانة . ويكون تأثير الواحد فى نقطة مثل ه مقصوراً على الجزء القريب من قطب الشريط ، ويكون الجزء الفعال من الصدر الكلى للموجة منطقة ضيقة مثل و ح ر وهى أيضاً تكون محدودة ، تمتد حول سطح الاسطوانة من جانبى القطب ح الى مدى قصير ويكون الجزء الفعال من صدر الموجة فى 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 فى سبيل الضوء الصادر منها حاجز معتم ب ر

حرفه عند ب مستقيم حاد مواز للفتحة ، ولنفرض أنه يراد معرفة كيفية توزع الضوء على سطح حاجز أبيض و ه عمودى على مستوى الورقة. فنظراً لان الفتحة ا ضيقة يمكن اعتبارها بمثابة خط مستقيم و يمكن اعتبار صدر الموجة الصادرة منها اسطوانياً محوره هـذا المستقيم . وليكن القوس ح ى ممثلا فى الشكل صدر الموجة الاسطوانية .



[شكل ٢١٨]

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 جانبى ح نقط مثل د١ ، د٢ ، د٣ الخ بحيث يكون

$$و د_١ - و ح = و د_٢ - و د_١ = و د_٣ - و د_٢ \ldots = \frac{١}{٢} ل$$

باعتبار ان ل الطول الموجى للضوء ورسمت عند ح ، د١ ، د٢ ، د٣ 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 د١ ، د٢ ، د٣ 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 جانبى القطب ح الى مدى قصير كما أن الجزء الفعال من صدر الموجة يمتد من نقطة ح فى الاتجاه ح ح أو الاتجاه ح ى الى مدى قصير أيضاً ويكون عرض الشرائط النصف الدورية الموازية للمحور أى تكون المسافات ح د١ ، د١ د٢ ، د٢ د٣ الخ آخذة فى النقص كلما بعدنا عن القطب ح

واذا 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 شىء كانت نقطة و موضع ضياء كما لو لم يكن الحاجز موجوداً . واذا

قربنا بالتدريج نحو نقطة ه تأخذ بعض الشرائط النصف الدورية الفعالة من النصف الأسفل حـ ى من صدر الموجة فى الاختفاء خلف الحاجز المعتم . فتكون الاهتزازة الحاصلة هى محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل النصف الأعلى حـ ح من صدر الموجة والاهتزازة بفعل الأجزاء المكشوفة من النصف الأسفل فاذا كان عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من هذا النصف زوجياً كان اتساع الاهتزازة الحادثة بفعله صغيراً ، واذا 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 نحو ه يغير عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من النصف الاسفل من عدد زوجى الى فردى الى زوجى تتغير الاستضاءة تبعاً لذلك من ضعف الى شدة الى ضعف

واذا رمزنا لاتساع الاهتزازات الحادثة بفعل الشرائط النصف الدورية من أحد نصفى الموجة بالرموز $ا_1 ، ا_2 ، ا_3 ، ا_4$ الخ بالترتيب أمكن كما فى بند (٢٤٧) بيان أن اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل نصف صدر الموجة يساوى $\frac{1}{2} ا_1$ وان اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل الشرائط النصف الدورية المكشوفة من النصف الآخر مساوياً

$$\frac{1}{2} ا_1 \pm \frac{1}{2} ا_{ن}$$

باعتبار أن عددها هو ن حيث تكون الاشارة موجبة اذا كان العدد فردياً وسالبة اذا كان العدد زوجياً . واذن يكون اتساع الاهتزازة عند ما ينكشف من النصف الاسفل من صدر الموجة عدداً من الشرائط النصف الدورية قدره ن هو

$$\frac{1}{2} ا_1 + (\frac{1}{2} ا_1 \pm \frac{1}{2} ا_{ن})$$

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

$$ا_1 = \frac{1}{2} ا_1 + \frac{1}{2} ا_1$$

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

عدد فردى من الشرائط النصف الدورية يكون اكبر منه لو لم يكن الحاجز موجوداً ولوكان صدر الموجة كله مكشوفا ، واذن تكون الاستضاءة فى نقطة و فى مثل هـذه الحالة اكبر منها لو لم يكن الحاجز موجوداً . كذلك فان اتساع الاهتزازة فى نقطة و عند ما ينكشف من النصف الأسفل عدد زوجى من الشرائط النصف الدورية ، يكون اكبر منه بفعل أحد نصفى صدر الموجة على حدته . وتكون شدة الاستضاءة فى مثل هذه الأحوال اكبر منها بفعل نصف صدر الموجة

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

$$\overline{وب} - \overline{وح} = (٢ن + ١)\frac{ل}{٢}$$

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

$$\overline{وب} - \overline{وح} = ٢ن\ ل$$

حيث يكون عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من النصف الاسفل زوجياً

ويلاحظ فى هدب الحيود هذه أنها تختلف عن هدب التداخل . فهدب الحيود لا تكون الهدب المظلمة منها مواضع انمحاء الضوء ، بل هى مواضع تكون فيها شدة الاستضاءة صغيرة بالنسبة اليها فى مواضع الضياء . كذلك فهدب الحيود كلما زادت قرباً 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 هـ ، أى الى حد الظل الهندسى ، فان الاهتزازة فى تلك النقطة تكون هى الحادثة من النصف الأعلى من صدر الموجة ، ويكون اتساعها اذن مساوياً $\frac{١}{٢}$ ا . فيكون فى تلك النقطة ضياء ولو أن شدة الاستضاءة عندها تكون أقل من شدة الاستضاءة فى مواضع

الظلمة التى بين الهدب المضيئة التى تحدث فى خارج منطقة الظل الهندسى . فاذا دخلنا فى منطقة الظل فاننا نصل الى نقطة مثل مـ 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 $\frac{1}{2}$ ١ ٢ . واذا توغلنا فى منطقة الظل الى مدى أكبر نصل الى نقطة يخفى الحاجز المعتم بالنسبة اليها الشريط النصف الدورى الثانى أيضاً ، ويكون اتساع الاهتزازة فيها مساوياً $\frac{1}{2}$ ١ ٣ وهكذا

واذن يقل اتساع الاهتزازة كلما توغلنا فى 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 فى خطوط مستقيمة بمعنى أننا اذا قربنا من بعيد من نقطة و نحو نقطة هـ لا يكون هناك ضوء مستمر يتحول عند هـ فجاءة الى ظلمة وفقاً لظاهرة انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة بل تكون هناك هدب فتتغير الاستضاءة من شدة الى ضعف الى شدة وهكذا ، حتى اذا وصلنا الى نقطة هـ يكون لديها ضياء فاذا تجاوزناها الى داخل الظل تقل شدة الاستضاءة بالتدريج وبسرعة وتزول زوالا تاماً بعد أن نتوغل فى منطقة الظل الى مدى معين

٢٥٥ – تطبيق هدب الحيود الحادثة عند الحرف المستقيم لحاجز معتم لقياس الطول الموجى

وللحصول عملياً على هدب الحيود التى سبق شرحها تهيأ 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 لكى 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 الموجى ، نرمز لبعد مصدر الضوء عن الحاجز المعتم بالحرف س ، ولبعد الحاجز عن موضع حدوث الهدب المرئية (أى عن المستوى البؤرى للعينية) بالحرف ص ولنفرض أن نقطة و شكل (٢١٨) موضع هدبة مضيئة ولنرمز لبعدها عن حد الظل الهندسى (أى عن نقطة هـ) بالحرف ء ، فيكون

$$\text{و ب} = (\text{ء}^{٢} + \text{س}^{٢})^{\frac{١}{٢}} = \text{س}\left(١ + \frac{\text{ء}^{٢}}{\text{س}^{٢}}\right)^{\frac{١}{٢}}$$

$$= \text{س}\left(١ + \frac{١}{٢}\,\frac{\text{ء}^{٢}}{\text{س}^{٢}}\right) \text{ بالتقريب}$$

$$= \text{س} + \frac{\text{ء}^{٢}}{\text{س}}\,\frac{١}{٢}$$

$$\text{و أو} = \left\{\text{ء}^{٢} + (\text{س} + \text{ص})^{٢}\right\}^{\frac{١}{٢}} = (\text{س} + \text{ص})\left\{١ + \frac{\text{ء}^{٢}}{(\text{س} + \text{ص})^{٢}}\right\}^{\frac{١}{٢}}$$

$$= (\text{س} + \text{ص})\left(١ + \frac{١}{٢}\,\frac{\text{ء}^{٢}}{(\text{س}+\text{ص})^{٢}}\right) \text{ بالتقريب}$$

$$= \text{س} + \text{ص} + \frac{\text{ء}^{٢}}{(\text{س}+\text{ص})}\,\frac{١}{٢}$$

ولكن $\overline{\text{حو}} = \overline{\text{اَو}} - \overline{\text{اَح}}$

و $\overline{\text{اَح}} = \text{س}$

$$\therefore \overline{\text{حو}} = \text{س} + \frac{١}{٢}\,\frac{\text{ء}^{٢}}{(\text{س}+\text{ص})}$$

وبما أن نقطة و هى فرضا موضع هدبة مضيئة يكون

$$\overline{\text{ب و}} - \overline{\text{حو}} = (٢ن + ١)\,\frac{\text{ل}}{٢}$$

$$\text{واذن } \text{س} + \frac{١}{٢}\,\frac{\text{ء}^{٢}}{\text{ص}} - \text{س} - \frac{١}{٢}\,\frac{\text{ء}^{٢}}{\text{س}+\text{ص}} = (٢ن + ١)\,\frac{\text{ل}}{٢}$$

$$\therefore \frac{١}{٢}\,\text{ء}^{٢}\left(\frac{١}{\text{ص}} - \frac{١}{\text{س}+\text{ص}}\right) = (٢ن + ١)\,\frac{\text{ل}}{٢}$$

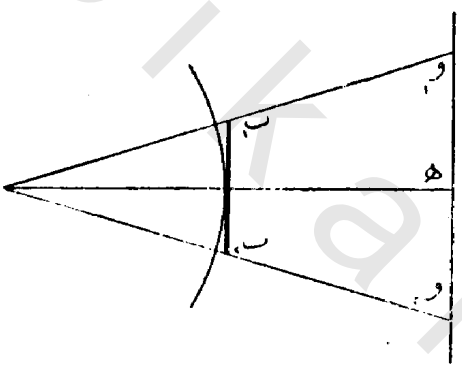
$$\therefore \frac{١}{٢}\,\text{ء}^{٢}\,\frac{\text{س}}{\text{ص}\,(\text{س}+\text{ص})} = (٢ن + ١)\,\frac{\text{ل}}{٢}$$

$$\therefore \text{ء} = \sqrt{\frac{\text{ص}}{\text{س}}\,(\text{س}+\text{ص})\,(٢ن + ١)\,\text{ل}}$$

حيث يلاحظ فى تطبيق هذه المعادلة أن أول هدبة مضيئة تلى الظل الهندسى تكون قيمة ن بالنسبة اليها صفراً . فاذا قيست قيمة ء أمكن بمعرفة س ، ص ، ن استخراج قيمة ل من المعادلة المذكورة

٢٥٦ — الحيود عند حاجز ضيق

لنفرض كما فى الحالة السابقة أن نقطة ا (شكل ٢١٩) تمثل فتحة مستطيلة ضيقة عمودية على مستوى الورقة تضاء بضوء ذى لون واحد . ولنفرض أنه وضع فى سبيل الضوء الصادر منها حاجز معتم ضيق ب١ ب٢ على هيئة مستطيل بحيث يكون موازياً للفتحة ، ولنفرض أنه يراد معرفة كيفية توزع الضوء على سطح حاجز ر١ هـ و٢ عمودى على مستوى الورقة . فصدر الموجة فى هذه الحالة أيضاً يكون اسطوانياً ويمكن تقسيمه بالنسبة الى أية نقطة على الحاجز



(شكل ٢١٩)

الأبيض نصفين متماثلين ، وتقسيم كل نصف منهما شرائط نصف دورية كما فى الحالة السابقة تماماً

فاذا فرضنا أن عرض الحاجز المعتم وهو ب١ ب٢ صغير لا يكفى لحجب الجزء الفعال من صدر الموجة بالنسبة الى نقطة هـ الواقعة على محور الظل الهندسى ولكنه كاف لحجب الجزء الفعال من النصف الاسفل من صدر الموجة بالنسبة الى نقطة و١ الواقعة على الحد الأعلى للظل الهندسى وكاف لحجب الجزء الفعال من النصف الاعلى من صدر الموجة بالنسبة الى نقطة و٢ ، الواقعة على الحد الأسفل للظل الهندسى ، فان المنطقة الواقعة على الحاجز الابيض خارج الظل الهندسى وقريبة منه تحدث فيها هدب حيود كما فى الحالة السابقة . أما بالنسبة الى نقطة هـ فان الحاجز المعتم يحجب من كل من نصفى صدر الموجة ، بعض الشرائط النصف الدورية الاولى ويكشف ما دون ذلك . ويكون اتساع الاهتزازة الحاصلة عند هـ بفعل الشرائط النصف الدورية الفعالة المكشوفة من النصف الاعلى مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل

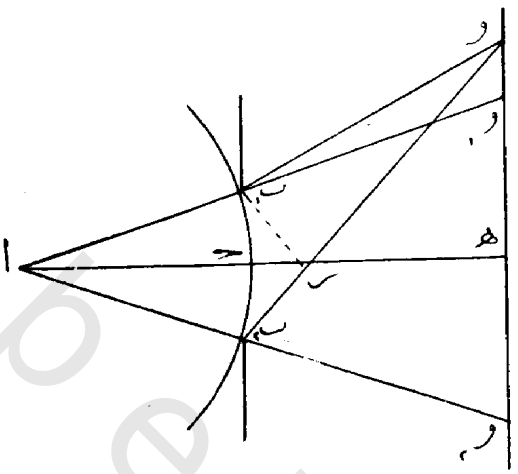
أول شريط نصف دورى مكشوف منها ، والمثل يكون اتساع الاهتزازة عند ه بفعل الشرائط المكشوفة من النصف الاسفل مساوياً نصف اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل أول شريط نصف دورى مكشوف منها . ونظراً لتماثل الشكل بالنسبة الى نقطة ه ، فانه يمكن لسهولة الشرح اعتبار التأثير عند ه كتأثير مصدرى ضوء متشابهين أحدهما عند $ب_1$ والآخر عند $ب_2$ حيث يحدث من تداخل ضوءيهما عند ه ضياء شديد وتكون النقطة ه موضع هدبة مضيئة . أما اذا سرنا من نقطة ه نحو $و_1$ أو نحو $و_2$ حدث بين مسير الضوء الواصل من $ب_1$ وبين مسير الضوء الواصل من $ب_2$ فرق . فاذا بلغ هذا الفرق نصف الطول الموجى حدثت ظلمة . واذا بلغ طولا موجياً حدث ضياء وهكذا . واذن تحدث هدب يمكن اعتبار الهدب القريبة من نقطة ه هدب تداخل ، كهدب 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 ، كابرة رقيقة أو سلك رفيع قطره مليمتر مثلا ، بحيث يكون موازياً للفتحة وعلى بعد بضعة سنتيمترات منها ، ثم نظر اليه من الجانب الآخر بوساطة 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 $ب_1$ والآخر عند $ب_2$ ، فانه اذا رمز لسمك الحاجز (أى البعد) $ب_1 ب_2$ بالحرف ا وللبعد بين الحاجز والمستوى البؤرى للعينية بالحرف ع وللطول الموجى بالحرف ل كان متوسط البعد بين هدبتين منها مساوياً $\frac{ع}{ا}$ ل 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 $ب_1 ب_2$ موازية للاولى . ولنفرض أنه يراد معرفة

كيفية توزع الضوء على سطح حاجز أبيض مواز للحاجز المعتم المذكور. فصدر الموجة كما فى الحالات السابقة يكون اسطوانياً ويمكن تقسيمه بالنسبة الى أية نقطة على الحاجز الابيض شرائط نصف دورية كما سبق بيانه فاذا راعينا نقطة ه الواقعة على محور التماثل من شكل (٢٢٠) كانت نقطة تقابل هذا المحور وصدر الموجة وهى نقطة ح قطب الموجة بالنسبة الى نقطة ه فاذا كان عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من كل نصف



(شكل ٢٢٠)

من نصفى صدر الموجة بالنسبة الى نقطة ه ، فردياً كانت شدة الاستضاءة فى نقطة ه كبيرة واكبر مما لو كان صدر الموجة كله مكشوفاً. فاذا سرنا من ه نحو و١ (أو نحو و٢) حتى يحتجب شريط نصف دورى فردى من النصف الاعلى (أو من النصف الاسفل) وينكشف شريط نصف دورى زوجى من النصف الأسفل (أو من النصف الأعلى) فان شدة الاستضاءة فى تلك النقطة تقل. وتكون أقل مما لو كان صدر الموجة كله مكشوفاً. واذا استمر السير حتى يحتجب شريط نصف دورى زوجى من النصف الأعلى (أو من النصف الاسفل) وينكشف شريط نصف دورى فردى من النصف الأسفل (أو من النصف الأعلى) كانت شدة الاستضاءة فى تلك النقطة أكبر وهكذا. واذن تكون هناك هدب حيود فى المنطقة الواقعة فى الشكل فيما بين المستقيمين ب١ و١ و ب٢ و٢

أما فى المنطقة الخارجة عن هذين المستقيمين كما فى نقطة و مثلا فان النصف الاعلى من صدر الموجة يكون محجوباً ، ويكون من الشرائط النصف الدورية من النصف الأسفل عدد محدود مكشوفاً. وهذا العدد قد يكون زوجياً وقد يكون فردياً. فاذا كان زوجياً كانت شدة الاستضاءة فى النقطة المذكورة ضعيفة واذا كان فردياً كانت شديدة. واذن تكون هناك هدب حيود أيضاً فى هذه المنطقة. ولكنها تختلف عن هدب الحيود فى المنطقة الواقعة فيما بين ب١ و١ و ب٢ و٢ فى أنها (أى الاولى) ضيقة أقرب بعضها الى الآخر، نظراً لان الشرائط المكشوفة بالنسبة الى 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

$$\text{ه ب}_{١} - \text{ه ح} = (٢ن + ١)\frac{\lambda}{٢}$$

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

$$\text{ه ب}_{١} - \text{ه ح} = ٢ن\ \lambda$$

كانت نقطة ه موضع هدبة مظلمة

كذلك فبالنسبة الى نقطة و ، اذا كان

$$\text{و ب}_{٢} - \text{و ب}_{١} = (٢ن + ١)\frac{\lambda}{٢}$$

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

$$\text{و ب}_{٢} - \text{و ب}_{١} = ٢ن\ \lambda$$

كانت نقطة و موضع هدبة مظلمة

ويلاحظ انه اذا كانت الفتحة ب$_{١}$ ب$_{٢}$ 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 عند ه أو بالاحرى بالقرب منها تزول ، وتكون الاستضاءة هناك منتظمة

٢٥٨ — تطبيق هدب الحيود عند الفتحة المستطيلة الضيقة لقياس الطول الموجى

وللحصول على الهدب التى سبق شرحها ، تهيأ فتحة مستطيلة ضيقة تضاء بضوء ذى لون واحد كضوء لهب الصوديوم ، وأخرى موازية لها ذات اتساع مناسب على بعد حوالى ٥٠ سنتمتراً منها . وينظر الى هذه الفتحة من الجانب الآخر خلال قطعة عينية . فاذا كانت الفتحة الثانية ضيقة جداً ، كانت الاضاءة حوالى منتصف المنطقة المحدودة فى شكل (٢٢٠) بالمستقيمين $ب_١ و_١$ ، $ب_٢ و_٢$ منتظمة ليست بها هدب . أما اذا كانت متسعة شيئاً ما رؤيت هناك هدب عريضة غير متساوية البعد ، وترى هدب أخرى ضيقة تكاد تكون متساوية البعد خارج المنطقة المذكورة أى فى منطقة الظل الهندسى بالقرب من حده . أما اذا كانت الفتحة $ب_١ ب_٢$ متسعة جداً ، فان كل شطر من شطريها يعمل عمل الحاجز ذى الحرف المستقيم كما فى بند (٢٥٤)

ويمكن تطبيق الهدب التى تتكون فى منطقة الظل الهندسى بالقرب من حده لقياس الطول الموجى للضوء

فاذا فرضنا أن نقطة و (شكل ٢٢٠) موضع هدبة مظلمة مثلا فان

$$\overline{و ب_٢} - \overline{و ب_١} = ٢ ن$$

فاذا أسقطنا من $ب_١$ العمود $ب_١ ر$ على $و ب_٢$ فنظراً لأن اتساع الفتحة $ب_١ ب_٢$ صغير جداً بالنسبة الى بعد الحاجز عن الفتحة أمكن اعتبار $ب_١ ر$ عمودياً على $حـ و$ ونظراً لان $حـ هـ$ عمودى على $ب_١ ب_٢$ فان المثلثين $ب_١ ب_٢ ر$ ، $حـ و هـ$ متشابهان

$$\therefore \frac{\overline{ر ب_٢}}{\overline{و هـ}} = \frac{\overline{ب_١ ب_٢}}{\overline{حـ و}}$$

$$\therefore \overline{ر ب_٢} = \frac{\overline{ب_١ ب_٢} . \overline{و هـ}}{\overline{حـ و}}$$

فاذا رمزنا للبعد $و هـ$ بالحرف ء ، ولاتساع الفتحة $ب_١ ب_٢$ بالحرف ا ، ولبعد الفتحة عن

مستوى الحاجز الأبيض (أو المستوى البؤرى للعينية عند النظر الى الهدب خلالها) بالحرف ع فنظراً لان البعد و هـ صغير بالنسبة الى حـ هـ أمكن اعتبار حـ و مساوياً ع واذن يكون

$$ر ب_{٢} = \frac{ع}{ا}$$

ولكن $ر ب_{٢} = و ب_{٢} - و ب_{١} = ٢ ن$

اذن $٢ ن = \frac{ع}{ا}$

$$\therefore ع = ا ٢ ن$$

واذن يكون بعد موضع الظلمة التى تلى هذه عن نقطة هـ هو

$$ع_{١} = \frac{ع}{ا}(٢ + ١) ل$$

واذن يكون متوسط البعد بين هدبتين مظلمتين أى متوسط عرض الهدبة المضيئة مساوياً

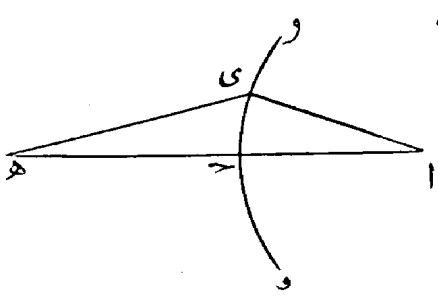
$$\frac{ع}{ا} ل$$

فاذا قيس البعد ع وعرف ا أمكن بقياس متوسط عرض الهدبة المضيئة تقدير الطول الموجى ل

ونظراً لصعوبة قياس اتساع الفتحة وهو المقدار ا فكثيراً ما تطبق هذه الطريقة كوسيلة لايجاد اتساع الفتحة مع العلم بقيمة ل

٢٥٩ – تكاملا فرسنل وحلزون كرنو

تبين فى بند (٢٥٣) أن الجزء الفعال من صدر الموجة الاسطوانية منطقة ضيقة تمتد حول سطح الاسطوانة من جانبي القطب الى مدى قصير. فاذا فرضنا أن وحـ ر (شكل ٢٢١) يمثل الجزء الفعال من صدر الموجة الاسطوانية بالنسبة الى نقطة هـ ، وكان محور السطح الاسطوانى ساراً بنقطة ا عمودياً على سطح الورقة فالجزء الفعال ، ولو أنه فى الحقيقة على هيئة شريط يحيط بالسطح الاسطوانى (أنظر شكل ٢١٧) واذن يمتد فى الاتجاه الموازى لمحور



(شكل ٢٢١)

الاسطوانة ، فامتـداده فى هذا الاتجاه محدود وصغير . فيصح أن نغفل للسهولة الامتداد فى هذا الاتجاه ، ونعد الجزء الفعال قوسا من دائرة كالقوس و حـ ر فى شكل (٢٢١)

فاذا أخذنا نقطة مثل ى على هـذا القوس فالاهتزازة الحادثة عنـد هـ بفعل القطب حـ والاهتزازة الحادثة عندها بفعل النقطة ى ، يكون بين طوريهما اختلاف يمكن تعيينه . فاذا رمز لنصف قطر القوس و حـ ر بالحرف ا وللبعد هـ حـ بالحرف ب ولفرق المسير بين ى هـ ، حـ هـ بالحرف ن ، كان

$$هـ ى = ب + ن$$

وفى المثلث ى هـ ا يكون

$$(ب + ن)^{٢} = (ا + ب)^{٢} + ا^{٢} - ٢ ا (ا + ب) \text{ حتا} \angle ى ا حـ$$

ولما كان طول القوس حـ ى صغيراً ، فاذا رمز الى طوله بالحرف م ، فان

$$\angle ى ا حـ = \frac{م}{ا}$$

واذن حتا $\angle ى ا حـ = ١ - \frac{١}{٢} \frac{م^{٢}}{ا^{٢}}$ بالتقريب

واذن يكون

$$(ب + ن)^{٢} = (ا + ب)^{٢} + ا^{٢} - ٢ ا (ا + ب) (١ - \frac{١}{٢} \frac{م^{٢}}{ا^{٢}})$$

فاذا أغفلنا المقدار $ن^{٢}$ لان فرق المسير لا يتجاوز بضعة أضعاف الطول الموجى ينتج بعد اختصار المقدار المذكور أن

$$٢ ب ن = \frac{ا + ب}{ا} م^{٢}$$

$$\therefore ن = \frac{ا + ب}{ب ا ٢} م^{٢}$$

فهذا المقدار يعين فرق المسير بين ى هـ ، حـ هـ . اذن يكون اختلاف الطور بين الاهتزازة الحادثة عند هـ بفعل ى والاهتزازة الحادثة عندها بفعل حـ مساوياً

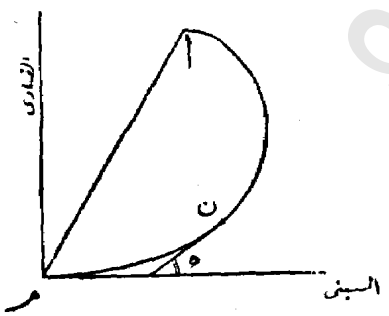
$$\frac{ط}{ل} \cdot \frac{ا + ب}{ب ا} م^{٢}$$

باعتبار أن ل رمز للطول الموجى

أما اتساع الاهتزازة الحادثة عند ه بفعل الأجزاء المختلفة من القوس و حـ ر فانه يمكن اعتباره متناسباً وطول الجزء التفاضلى الذى تراعيه من القوس وذلك لأنه نظرا لقصر طول القوس فأبعاد النقط المختلفة منه عن نقطة ه تكاد تكون واحدة ، وميالها على المستقيم الواصل بينها و بين نقطة ه يكاد هو أيضاً يكون واحدا . فاذا رمزنا لطول الجزء التفاضلى عند ى برمز التفاضل ء م أمكن اعتبار اتساع الاهتزازة الحادثة بفعله متناسباً ومقدار ء م

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

ولما كانت الاهتزازة الحاصلة عند ه بفعل النصف حـ و من الجزء الفعال من صدر الموجة هى محصلة سلسلة متتالية من الاهتزازات تتناسب اتساعاتها والمقدار ء م ويتغير طورها بالتدريج أمكن تمثيلها بمنحنى الاهتزازة . فاذا فرضنا بوجه عام أن المنحنى المرسوم فى شكل (٢٢٢) يمثل منحنى الاهتزازة . وأخذنا أية نقطة مثل ن عليه وكان المماس عند ن يصنع زاوية قدرها ه مع المحور السينى فان ه تمثل طور الاهتزازة التى يمثل اتساعها بطول الجزء التفاضلى من المنحنى عند ن فاذا رمز لطول هذا الجزء التفاضلى بالرمز ء م ورمزنا لاحداثيي نقطة ن بالحرفين س ، ص فان



(شكل ٢٢٢)

$$\text{ء س} = \text{ء م} \quad \text{حتا ه}$$

$$\text{ء ص} = \text{ء م} \quad \text{حا ه}$$

فاذا كانت نقطة ا هى نهاية المنحنى ، فان محصلة الاهتزازات التى يتغير طورها بالتدريج من الصفر الى قيمة الزاوية بين المماس المرسوم عند ا والمحور السينى ، فان هذه المحصلة يكون اتساعها ممثلا بطول المستقيم مـ ا . وبالرمز لاحداثيي نقطة ا بالحرفين س ، ص يكون

$$\text{س} = \int \text{ء س} = \int \text{ء م} \quad \text{حتا ه}$$

$$\Delta ص = \int و_م = \int و_م \text{ حا } ه$$

وبما أن $م\ا^2 = س^2 + ص^2$

يكون مربع اتساع المحصلة النهائية لجميع الاهتزازات مساوياً

$$(\int و_م \text{ حتا } ه)^2 + (\int و_م \text{ حا } ه)^2 \quad \ldots\ldots \quad (١)$$

واذن يمكن ايجاد اتساع الاهتزازة الحاصلة عند نقطة ه (شكل ٢٢١) بفعل النصف حـ و من الجزء الفعال من صدر الموجة الاسطوانية باستبدال المقدار

$$\frac{ط}{ل} \frac{١ + ب}{١ - ب} م^2$$

بدلا من ه فى المقدار (١) وباعتبار أن و م طول الجزء التفاضلى من القوس وحـ ر فيكون مربع اتساع الاهتزازة الحاصلة عند نقطة ه بفعل نصف الجزء الفعال من صدر الموجة مساوياً (١)

$$(\int \text{حتا} \frac{ط}{ل} \frac{١ + ب}{١ - ب} م^2 و_م)^2 + (\int \text{حا} \frac{ط}{ل} \frac{١ + ب}{١ - ب} م^2 و_م)^2 \quad \ldots\ldots \quad (٢)$$

ويستبدل عادة فى المقدار (٢) $و^2$ بالمقدار $٢ \frac{١ + ب}{١ - ب ل} م^2$

فيوضع

$$\int \text{حتا} \frac{ط}{ل} \frac{١ + ب}{١ - ب} م^2 و_م$$

$$= \int \text{حتا} \frac{ط}{٢} و^2 و_م$$

وبما أن $و^2 = \frac{٢(١ + ب)}{١ - ب ل} م^2$

$$\therefore \quad ٢ د و = \frac{٤(١ + ب)}{١ - ب ل} م \, و_م$$

$$\therefore \quad \sqrt{\frac{٢(١ + ب)}{١ - ب ل} م} \, د و = \frac{٢(١ + ب)}{(١ - ب ل)} م \, و_م$$

$$\therefore \quad و_م = \sqrt{\frac{١ - ب ل}{٢(١ + ب)}} \cdot د و$$

$$\therefore \quad \int \text{حتا} \frac{ط}{ل} \frac{١ + ب}{١ - ب} م^2 و_م = \sqrt{\frac{١ - ب ل}{٢(١ + ب)}} \int \text{حتا} \frac{١}{٢} ط \, و^2 \, د و$$

---

(١) نظراً لان اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل الجزء التفاضلى و م يتناسب وقيمة و م وليس هو مساويا لها فربع اتساع الاهتزازة لا يساوى فعلا المقدار (٢) بل يكون متناسبا واياه ولكن للسهولة اعتبر هنا مساويا له

واذن يتحول المقدار (٢) الى الصورة الآتية

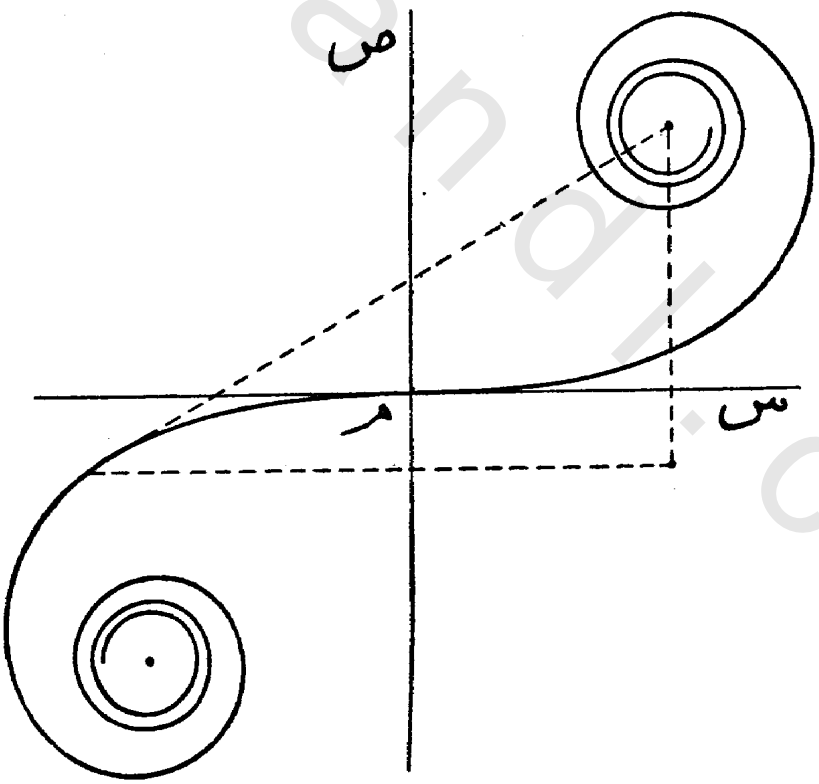
$$\frac{ا - ل}{٢(ا + ب)} \{(\int_{٠} \text{حتا} \frac{١}{٢} ط \, و^{٢} \, ء \, و)^{٢} + (\int_{٠} \text{حا} \frac{١}{٢} ط \, و^{٢} \, ء \, و)^{٢}\} \ldots (٣)$$

ويساوى هذا المقدار ، مربع اتساع الاهتزازة الحاصلة عند ه بفعل نصف الجزء الفعال من صدر الموجة الاسطوانية . ويعرف التكاملان فى المقدار المذكور « بتكاملى فرسنل » [١] ونظراً لان شدة الاستضاءة تتناسب ومربع اتساع الاهتزازة فان المقدار المذكور يمكن أن يتخذ مقياساً لشدة الاستضاءة الحادثة عند ه بفعل نصف صدر الموجة الاسطوانية

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

$$س = \int_{٠} \text{حتا} \frac{١}{٢} ط \, و^{٢} \, ء \, و$$

$$ص = \int_{٠} \text{حا} \frac{١}{٢} ط \, و^{٢} \, ء \, و$$



(شكل ٢٢٣)

---

(١) Fresnel's Integrals

حيث يكون طول المستقيم الواصل بين نقطة الاصل وأية نقطة عليه مساوياً $\sqrt{س^٢ + ص^٢}$ ويتناسب هـذا واتساع محصلة الاهتزازات التى يمثلها الجزء المحصور بين هاتين النقطتين من المنحنى

فاذا أمكن تقدير (١) قيمات عدة لأحد هذين التكاملين ، والقيمات التى تقابلها للتكامل الثانى ورسم المنحنى الدال على علاقة س ، ص ، كان هو منحنى الاهتزازة . ويكون هذا المنحنى حلزونياً كالمبين بشكل (٢٢٣) ويعرف بحلزون « كورنو »(٢) . ويرسم ذا فرعين يمثل أحدهما الاهتزازات الحادثة بفعل أحد نصفى صـدر الموجة ، ويمثل الآخر الأهتزازات الحادثة بفعل النصف الثانى

٢٦٠ — الطريقة الهندسية لرسم حلزون كورنو

اذا أخذنا أية نقطة على الحلزون ، ورمزنا للزاوية التى يصنعها المماس عند هـذه النقطة مع المحور السينى بالحرف هـ فان نصف قطر الانحناء عند هذه النقطة يساوى $\frac{ع_م}{ع_هـ}$ باعتبار أن م رمز لتفاضل طول المنحنى . فاذا اعتبرنا قيمة المقدار $\frac{ا ب ل}{٢ (ا + ب)}$ الوحدة ، فان $م = ع$

وبما أن

$$هـ = \frac{ط}{ا ب ل} (ا + ب) م^٢$$

يكون

$$هـ = \frac{١}{٢} ط م^٢$$

$$\therefore \quad \frac{ع_م}{ع_هـ} = \frac{١}{ط م} = \text{نصف قطر الانحناء}$$

---

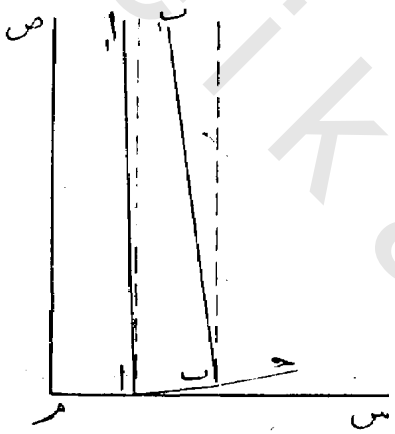
(١) للاطلاع على كيفية تقدير القيمات المختلفة يراجع كتاب Physical Optics by Wood صفحة ٢٤٥ وفيه بصفحة ٢٤٧ جدول يحتوى على قيمات مختلفة لكل من التكاملين

(٢) Cornu's Spiral

فاذا قدر نصف قطر الانحناء فى نقط مختلفة . وقدرت قيمة الزاوية التى يصنعها المماس عند هذه النقط مع المحور السينى أمكن رسم الحلزون

فاذا ابتدأنا بنقطة الأصل حيث يكون م صفراً فان نصف قطر الانحناء يكون مقدارا لانهاية له وتكون قيمة ه صفراً أيضاً . فكأن الجزء التفاضلى من المنحنى يكون عند نقطة الأصل مستقيما منطبقاً على المحور السينى

لذلك نأخذ على المحور السينى نقطة مثل ا (شكل ٢٢٤) تبعد عن نقطة الأصل بمقدار صغير وليكن ٠,١ مثلا ، فهى يمكن أن نعدها نقطة على الحلزون . ويكون طول الجزء مـ ا مساوياً ٠,١ . ويكون ميل المماس للحلزون عندهذه النقطة على المحور السينى مساوياً $\frac{1}{2}$ ط × ٠,٠١ ونصف قطر الانحناء عند هذه النقطة $\frac{1}{\text{ط} \times ٠,١}$. فاذا رسمنا عند ا المستقيم ا ا$_1$ بحيث يميل على المحور الصادى (أو على العمود المرسوم عند ا على المحور السينى) بزاوية قدرها $\frac{1}{2}$ ط × ٠,٠١ وركزنا فى نقطة على هذا المستقيم تبعد عن ا بمقدار $\frac{1}{\text{ط} \times ٠,١}$ ورسمنا قوساً من دائرة نصف قطرها يساوى هذا المقدار وأخذنا على هذا القوس نقطة مثل ب تبعد عن ا بمقدار ٠,١ (مقيساً على القوس) كانت نقطة ب نقطة أخرى على المنحنى . ويكون طول الجزء من المنحنى المحصور بين مـ و ب مساوياً ٠,٢ . واذن نصف قطر الانحناء عند ب يكون $\frac{1}{\text{ط} \times ٠,٢}$. والمماس عندها يصنع مع المحور السينى زاوية قدرها $\frac{1}{2}$ ط × ٠,٠٤ فاذا رسمنا المستقيم ب ب$_1$ بحيث يميل على المحور الصادى (أو على العمود المرسوم عند ب على المحور السينى) بزاوية قدرها هذا المقدار وركزنا فى نقطة عليه تبعد عن ب بمقدار $\frac{1}{\text{ط} \times ٠,٢}$ ورسمنا قوساً من دائرة نصف قطرها يساوى هذا المقدار وأخذنا على هذا القوس نقطة مثل حـ تبعد عن ب بمقدار ٠,١ (مقيساً على القوس) كانت نقطة حـ نقطة أخرى على المنحنى . وبتكرار هذه العملية يمكن رسم الحلزون . وبالجدول الآتى قيمات مختلفة للمقدار م مقدراً بالسنتمتر والمقادير التى تقابلها للزاوية ه مقدرة بالدرجات والمقادير المقابلة لنصف القطر مقدراً بالسنتمتر يمكن استخدامها لرسم



(شكل ٢٢٤)

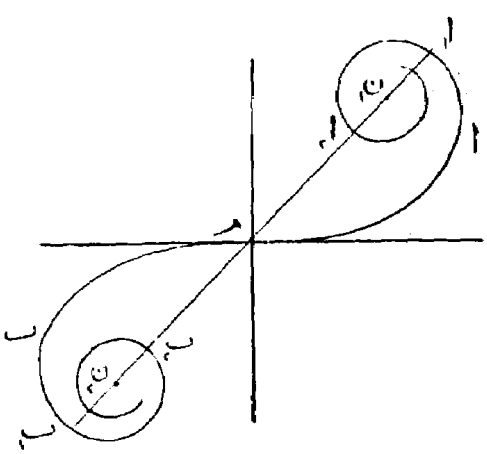
المنحنى بالطريقة المبينة آنفاً

م	ه	س	م	ه	س	م	ه	س
٠,١	٠,٠٥٠	٣,١٨٥	١,١	٠,٦٠٥	٠,٢٨٩٦	٢,١	٢,٢٠٥	٠,١٥١٦
٠,٢	٠,٠٢٠	١,٥٩٢	١,٢	٠,٧٢٠	٠,٢٦٥٤	٢,٢	٢,٤٢٠	٠,١٤٠٢
٠,٣	٠,٠٤٥	١,٠٦٢	١,٣	٠,٨٤٥	٠,٢٤٥٠	٢,٣	٢,٦٤٥	٠,١٣٨٥
٠,٤	٠,٠٨٠	٠,٦٤٢٧	١,٤	٠,٨٨٠	٠,٢٢٧٥	٢,٤	٢,٨٨٠	٠,١٣٢٧
٠,٥	٠,١٢٥	٠,٦٣٦٩	١,٥	١,١٢٥	٠,٢١٢٣	٢,٥	٣,١٢٥	٠,١٢٧٤
٠,٦	٠,١٨٠	٠,٥٣٠٧	١,٦	١,٢٨٠	٠,١٩٩٠	٢,٦	٣,٣٨٠	٠,١٢٢٤
٠,٧	٠,٢٤٥	٠,٤٥٤٩	١,٧	١,٤٤٥	٠,١٨٧٣	٢,٧	٣,٦٤٥	٠,١١٨٠
٠,٨	٠,٣٢٠	٠,٣٩٨١	١,٨	١,٦٢٠	٠,١٧٦٩	٢,٨	٣,٩٢٠	٠,١١٣٨
٠,٩	٠,٤٠٥	٠,٣٥٣٩	١,٩	١,٨٠٥	٠,١٦٧٦	٢,٩	٤,٢٠٥	٠,١٠٩٨
١,٠	٠,٥٠٠	٠,٣١٨٥	٢,٠	٢,٠٠٠	٠,١٥٩٢	٣,٠	٤,٥٠٠	٠,١٠٦٢

ويلاحظ عند رسم الحلزون انه اذا كبر مقياس الرسم عشر مرات مثلا فجعل السنتمتر من المنحنى دالا على طول قدره مليمتر وجب ضرب كل من مقادير م ، س فى الجدول المذكور فى عشرة ونظراً لأن ه تتناسب ومربع م فان مقادير ه يجب ضربها فى مائة

٢٦١ — تطبيق حلزون كورنو لشرح ظواهر فرسنل فى الحيود

المستقيم الواصل بين نقطة الاصل مـ والنقطة ن١ (شكل ٢٢٥) أو ن٢ التى ينقبض اليها فرع الحلزون يمثل اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل نصف صدر الموجة . والمستقيم الواصل بين النقطتين ن١ ، ن٢ (ويمر بنقطة الاصل) يمثل اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل صدر الموجة كله . واذا أخذت أية نقطة مثل ا على أحد فرعى الحلزون



(شكل ٢٢٥)

فأجزاء صدر الموجة التى يمثلها طول القوس مـ ا يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعلها ممثلا

بطول المستقيم مـ ا ويكون اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل الاجزاء الباقية من نصف صدر الموجة ممثلا بالمستقيم ا ن١ حيث يكون مـ ن١ محصلة مـ ا ، ا ن١

وعلى أساس هذه الفكرة يمكن شرح ظواهر فرسنل فى الحيود بالاستعانة بحلزون « كورنو »

٢٦٢ — (أولا) الحيود عند الحرف المستقيم لحاجز

اذا راعينا نقطة هـ (شكل ٢١٨) الواقعة على حد الظل الهندسى حيث يكون أحد نصفى صدر الموجة محجوباً فان اتساع الاهتزازة الحاصلة فيها يمثل على حلزون كورنو بالمستقيم مـ ن١ (شكل ٢٢٥) واذا راعينا نقطة مثل مـ (شكل ٢١٨) داخل منطقة الظل حيث يكون جزء مما يلى القطب من النصف الأعلى من صدر الموجة محجوباً فضلا عن النصف الأسفل فان اتساع الاهتزازة فى تلك النقطة يمثل على الحلزون ، بالمستقيم ا ن١ (شكل ٢٢٥) . والتوغل فى منطقة الظل يمثل على الحلزون ، بتحرك نقطة ا حوله متجهة نحو ن١ ، فيقل اتساع الاهتزازة بالتدريج حتى يعدم متى انطبقت ا على ن١ . أما اذا راعينا نقطة مثل و (شكل ٢١٨) خارج منطقة الظل الهندسى فان النصف الأعلى من صدر الموجة يكون كله مكشوفاً ويكون المستقيم مـ ن١ (شكل ٢٢٥) على الحلزون ممثلا اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعله ، ولكن علاوة على هذا فان جزءاً مما يلى القطب من النصف الأسفل يكون مكشوفاً أيضاً . فاذا كان هذا الجزء ممثلا على الحلزون بالقوس مـ ب من فرعه الأسفل كان اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعله ممثلا بالمستقيم مـ ب واذن يكون اتساع الاهتزازة الكلية الحاصلة بفعل النصف الأعلى والجزء المكشوف من النصف الأسفل ممثلا بالمستقيم ن١ ب . فاذا ابتعدنا عن منطقة الظل كبر الجزء المكشوف من النصف الأسفل مما يلى القطب . فالابتعاد عن منطقة الظل يمثل على الحلزون بتحرك نقطة ب حول فرعه الاسفل فاذا بلغت نقطة ب الموضع ب١ بلغ اتساع الاهتزازة الحاصلة نهاية عظمى يمثلها طول المستقيم ن١ ب١ . واذا بلغت نقطة ب الموضع ب٢ بلغ اتساعها نهاية صغرى يمثلها طول المستقيم ن١ ب٢ . وهكذا

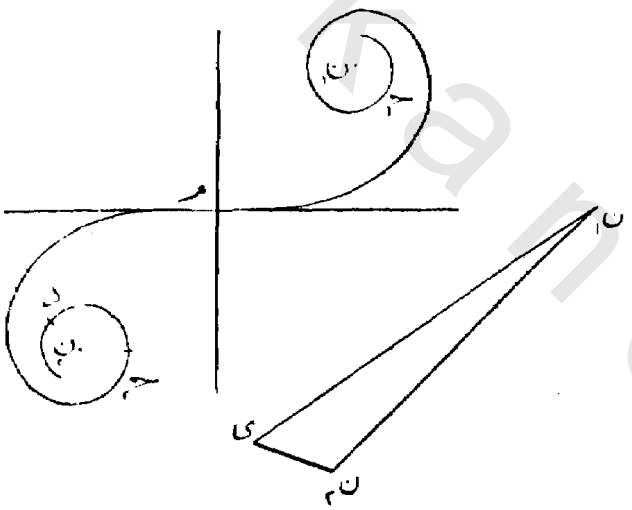
ويلاحظ أن النهاية العظمى لاتساع الاهتزازة تكون اكبر من اتساع الاهتزازة الحاصلة

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 فى أية نقطة تمثل بمربع اتساع الاهتزازة

٢٦٣ – ثانياً الحيود عند حاجز ضيق

فى 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 ه (شكل ٢١٩) داخل منطقة الظل فالجزء المحجوب من صدر الموجة يمثل على الحلزون بالطول المحصور بين نقطتين مثل ح١ ، ح٢ (شكل ٢٢٦) واذن يكون المستقيم ن١ ح١ ممثلا لاتساع الاهتزازة الحاصلة من الجزء المكشوف من النصف الأعلى من صدر الموجة ويكون المستقيم ن٢ ح٢ ممثلا لاتساع الاهتزازة الحاصلة من الجزء المكشوف من النصف الأسفل فاذا كان الحاجز عريضاً شيئاً ما فانه



(شكل ٢٢٦)

يحجب جزءاً ليس بالقليل من صدر الموجة فتكون نقطة ح١ على الحلزون قريبة من ن١ ونقطة ح٢ قريبة أيضاً من ن٢ حيث يكون طول المنحنى المحصور بينهما كبيراً . فاذا كان الامر كذلك يكاد يكون ن١ ح١ مساوياً ن٢ ح٢ فاذا كان طور الاهتزازة الحاصلة من الجزء المكشوف من أحد النصفين مضاداً لطور الاهتزازة الحاصلة من الجزء المكشوف من الآخر كانت محصلتهما صفراً . أما اذا كان الطوران متحدين كان اتساع المحصلة ضعف اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل الجزء المكشوف من أحد النصفين . والانتقال من نقطة ه (شكل ٢١٩) الى حد منطقة الظل الهندسى يمثل على الحلزون بانزلاق الطول الثابت بين نقطتى ح١ ، ح٢ عليه ، فاذا كان الانتقال

نحو نقطة و$_{١}$ (شكل ٢١٩) فان نقطة ح$_{١}$ على الحلزون تنتقل نحو مـ ونقطة ح$_{٢}$ تنتقل نحو ن$_{٢}$ فيزداد المكشوف من النصف الأعلى ويزداد المحجوب من النصف الأسفل . ولكن الاستمرار فى هذه الحركة يزيد بالتدريج طول ن$_{١}$ ح$_{١}$ وينقص بالتدريج طول ن$_{٢}$ ح$_{٢}$ فلا تعدم محصلة الاهتزازة الحاصلة من الجزءين المكشوفين من نصفى صدر الموجة عندما تكون الاهتزازتان فى طورين متضادين وتكون نتيجة هذا أن الهدب التى تحدث بالقرب من نقطة هـ (شكل ٢١٩) وهى هدب تداخل (أو تكاد تكون كذلك) تتحول الى هدب حيود كلما قربنا من حد منطقة الظل الهندسى

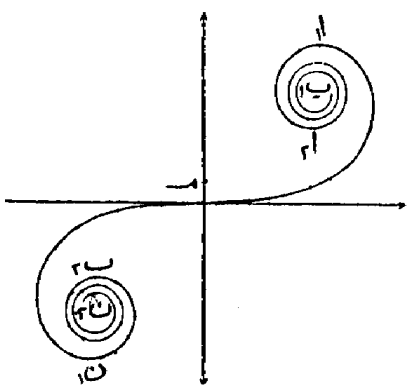
واذا تجاوزنا منطقة الظل الهندسى الى نقطة أبعد من و$_{١}$ (شكل ٢١٩) فان النصف الاعلى من صدر الموجة ينكشف كله وينكشف أيضاً جزء مما يلى القطب من النصف الاسفل ولكن يلى هذا جزء من النصف الاسفل يحجبه الحاجز ويلى هذا جزء قريب من نهاية الجزء الفعال من النصف الاسفل يكون مكشوفاً . وتمثيل ذلك على الحلزون أن يكون الفرع الأعلى كله فعالا ثم جزء من الفرع الاسفل مما يلى نقطة الاصل ولتكن نهايته عند ح$_{٢}$ ثم ينحجب طول معين من الحلزون (وهو الطول الثابت المشار اليه فيما سبق) ولنفرض أنه يمثل بالجزء الواقع بين النقطتين ح$_{٢}$ ، د ثم يكون ما يبقى بعد ذلك من الفرع الاسفل من الحلزون فعالا فكأن محصلة الاهتزازة الحاصلة هى محصلة مـ ن$_{١}$ ، مـ ح$_{٢}$ ، ن$_{٢}$ د أو بتعبير آخر هى المحصلة الكلية لصدر الموجة بعد أن تستخرج منها الاهتزازة الحادثة بفعل الجزء المحصور بين نقطتى ح$_{٢}$ ، د . ولما كان اتساع هذه الاهتزازة يمثل بطول المستقيم ح$_{٢}$ د يتضح أن محصلة الاهتزازة الحاصلة هى المركبة التى اذا حصلت مع ح$_{٢}$ د تحدث ن$_{١}$ ن$_{٢}$. فاذا وصلنا المستقيم ن$_{١}$ ن$_{٢}$ ورسمنا من ن$_{٢}$ المستقيم ن$_{٢}$ ى (كما هو مبين بالجزء الأسفل من شكل ٢٢٦) موازياً للمستقيم ح$_{٢}$ د ويساويه كان طول المستقيم ن$_{١}$ ى ممثلا لتلك المحصلة حيث يلاحظ أن ن$_{١}$ ى ، ى ن$_{٢}$ يحصلان ن$_{١}$ ن$_{٢}$

وتأثير الانتقال بالتدريج بعيداً عن و$_{١}$ (شكل ٢١٩) فى استقامة هـ و$_{١}$ أن تنزلق النقطتان ح$_{٢}$ ، د (مع بقاء البعد بينهما ثابتاً) حول الفرع الاسفل نحو ن$_{٢}$. فيكون تأثير ذلك أن المستقيم ح$_{٢}$ د يتغير اتجاهه بالتدريج ، فمرة يكون على امتداد ن$_{١}$ ن$_{٢}$ وفى اتجاهه ، وأخرى يكون على امتداده وفى اتجاه مضاد . واذن يتغير المستقيم ن$_{١}$ ى من طول الى قصر ، فيزداد اتساع المحصلة ويقل

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

٢٦٤ — ثالثاً الحيود عند فتحة مستطيلة ضيقة

اذا راعينا الاهتزازة الحادثة عند ه (شكل ٢٢٠) وفرضنا أن الفتحة تكشف الشريط النصف الدورى الاول من كل من النصفين ، فان هذا يمثل على الحلزون بالقوس مـ ا١ من فرعه الأعلى وبالقوس مـ ن١ من فرعه الأسفل (شكل ٢٢٧) ويكون اتساع الاهتزازة ممثلا بطول المستقيم ا١ ن١ . واذا كشفت الفتحة الشريطين النصفى الدوريين الاول والثانى من كل من نصفى صدر الموجة يكون اتساع الاهتزازة ممثلا بالمستقيم ا٢ ب٢ وهكذا . ومنه يتضح أنه اذا كان عدد الشرائط النصف الدورية المكشوفة من كل من نصفى صدر الموجة عدداً فردياً كان اتساع الاهتزازة اكبر ، وان 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 و١ و و٢ يكون هذا الطول الثابت على الحلزون ممتداً الى فرعيه الأعلى والأسفل . والانتقال من نقطة ه (شكل ٢٢٠) نحو و١ 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 ن٢ بحيث يبقى طول الجزء المحصور بينهما من المنحنى ثابتاً . وهذا الانزلاق يجعل المستقيم الواصل بين هاتين النقطتين يتغير من طول الى قصر . وهكذا

واذا وصلنا الى نقطة و١ شكل (٢٢٠) وتجاوزناها نحو و . فان 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 الاسفل نحو ن٢ مع بقاء طول الجزء المحصور

بينهما من المنحنى ثابتاً . ويترتب على هذا أن المستقيم الواصل بينهما يتغير من طول الى قصر حتى تندمج النقطتان بنقطة ن٢ و يزول هذا المستقيم بتاتاً

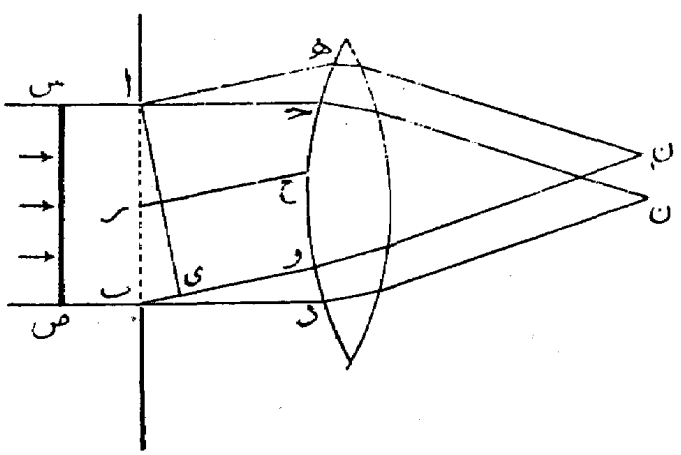
ويلاحظ فى كل ما سبق أيضاً أن شدة الاستضاءة تكون متناسبة ومربع اتساع الاهتزازة الحاصلة

٢٦٥ – ظواهر فرونهوفر فى الحيود

ظواهر الحيود التى يكون فيها مصدر الضوء على بعد لا نهاية له حيث تكون أشعة الضوء متوازية تسمى كما ذكرنا فيما قبل « ظواهر فرونهوفر » وفيها يراعى تأثير صدر الموجة المستوى فى 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 البؤرى . ولكى يتحقق عملياً مايحدث عن تداخل الأشعة المتوازية بعضها بالآخر يستقبل الضوء بوساطة عدسة لامة فتلم العدسة الأشعة المتوازية فى مستواها البؤرى . فيحدث عند موضع تجمعها ما يتوافر حدوثه عند تداخلها بعضها بالآخر فى ما لانهاية . وسنراعى فيما يلى حالات خاصة من هذه الظواهر

٢٦٦ – الحيود بفعل فتحة مستطيلة ضيقة – شرح أولى

لنفرض أن موجة صدرها مستوى مثل س ص (شكل ٢٢٨) عمودى على مستوى الورقة تقع على فتحة مستطيلة ضيقة عمودية على مستوى الورقة اتساعها ا ب . وزيادة فى التوضيح لتكن الموجة ذات الصدر المستوى حادثة عن وضع ثقب صغير ضيق مضاء بضوء ذى لون



(شكل ٢٢٨)

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

وأشعة الضوء التى تنفذ فى استقامتها الاولى كالحزمة ا حـ ب د لا يكون ثمت فرق فى المسير بينها فهى اذا تجمعت فى مالا نهاية أو اذا لمت بوساطة عدسة لامة (كما هو موضح بالشكل) فى بؤرتها ن يحدث من تداخلها أن يقوى بعضها الآخر فيحدث ضياء شديد . أما الأشعة الحائدة كالحزمة ا هـ ب و فانه يكون بين الاشعة المختلفة بعضها والآخر فرق فى المسير فاذا تجمعت فى ن ، على المستوى البؤرى للعدسة قد يحدث من تجمعها ضياء وقد يحدث ظلمة تبعاً لفرق المسير بينها

فاذا تصورنا الفتحة ا ب قد قسمت أجزاء تفاضلية نهاية فى الصغر فى اتجاه موازٍ لحافتيها وراعينا الاشعة الواقعة فى مستوى الورقة فان الحزم الحائدة فى الاتجاه الموازى للمستقيم ا هـ والصادرة من هذه الاقسام الصغيرة تكون كل واحدة منها بمثابة شعاع موازٍ للمستقيم ا هـ . فاذا أسقطنا من ا العمود ا ى على ب و ففرق المسير بين الشعاع ا هـ والشعاع ب و يساوى طول ب ى . فاذا كان هذا الطول مساوياً الطول الموجى للضوء وكانت نقطة ر منتصف الفتحة يتضح أن فرق المسير بين الشعاع ا هـ الصادر من الجزء التفاضلى من الفتحة عند نقطة ا (باعتبارها مبدأ النصف الاعلى من الفتحة ا ب) وبين الشعاع ر ح الموازى له والصادر من الجزء التفاضلى من الفتحة عند ر باعتبارها مبدأ النصف الاسفل من الفتحة) يكون مساوياً نصف الطول الموجى . واذن يحدث من تداخل هذين الشعاعين ظلمة أو تكون محصلة اهتزازتيهما صفراً . كذلك يحدث من تداخل الشعاع ر ح الصادر من نهاية النصف الاعلى من الفتحة والشعاع ب و الصادر 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 ا هـ ب و كلها ظلمة أى يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة فى هذا الموضع بفعل الفتحة كلها صفراً

واذا كان فرق المسير بين الشعاعين ا هـ ى ب و مساوياً ضعف الطول الموجى . كان فرق المسير بين الشعاع ا هـ والشعاع الموازى له الصادر من منتصف الفتحة مساوياً الطول الموجى واذن كانت نتيجة تداخل الاشعة الصادرة عن كل نصف من نصفيها بعضها بالآخر ظلمة . كذلك اذا كان فرق المسير بين الشعاعين ا هـ ى ب و مساوياً ثلاثة أمثال الطول الموجى كان فرق المسير بين الشعاع ا هـ والشعاع الموازى له الصادر من نقطة تبعد عن ا 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 اذا كان فرق المسير بين الشعاعين ا هـ ى ب و مساوياً أضعاف الطول الموجى حدث من تداخل الحزمة المتوازية ظلمة

أما اذا كان فرق المسير بين الشعاعين ا هـ ى ب 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 . واذا كان فرق المسير بين ا هـ ى ب و مساوياً ثلاثة أنصاف الطول الموجى ، أمكن اعتبار الفتحة ا ب مقسمة ثلاثة أقسام متساوية فاذا روعى 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 ا هـ ، ب 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 ا هـ ، ب و مساوياً خمسة أنصاف الطول الموجى أمكن اعتبار الفتحة ا ب 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 ا هـ ، ب 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 ا حـ ب د الغير الحائدة تكون موضع ضياء شديد ، ولكن نقطة مثل ن ، حيث تتجمع حزمة حائدة مثل ا هـ ب و تكون موضع ظلمة اذا كان فرق المسير بين ا هـ ، ب 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 ا هـ ، ب و ، نصف الطول الموجى وثلاثة أنصافه ، وخمسة أنصافه ، وهكذا تكون النسبة بينها كنسبة ١ : $\frac{١}{٩}$: $\frac{١}{٢٥}$ الخ

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

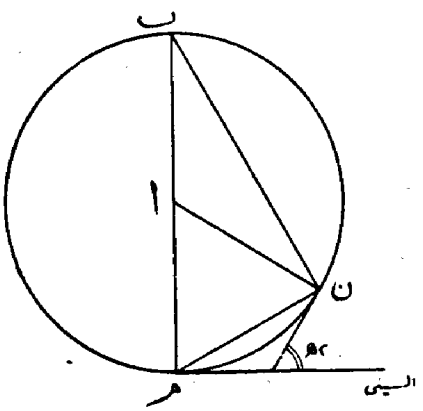
ولرؤية هذه الهدب يهيأ سبكترسكوب من غير المنشور بحيث يكون التلسكوب والمجمع على استقامة واحدة وتضاء فتحته بضوء ذى لون واحد ثم يوضع بين المجمع والتلسكوب فتحة مستطيلة

ضيقة موازية لفتحة المجمع . فتحدث الهدب فى المستوى البؤرى لشيئية التلسكوب ورى مكبرة خلال القطعة العينية . وأبسط من هذا أن توضع فتحة مستطيلة ضيقة وينظر خلالها والعين قريبة منها الى فتحة أخرى تضاء بضوء ذى لون واحد موازية لها وعلى بعد كبير جداً منها . فتعمل العين عمل العدسة اللامة وتتكون الهدب على الشبكية فيمكن رؤيتها

ويلاحظ انه اذا استبدل بالضوء ذى اللون الواحد ضوء أبيض تكون الهدب ملونة الا الوسطى أو المركزية فانها لا لونية . ويلاحظ فى ترتيب الالوان أن البنفسجية تكون أقرب الى الهدبة الوسطى . وقد يكفى لرؤية الهدب فى مثل هذه الحالة أن ينظر الى مصباح كهربائى بعيد خلال الفرجة الضيقة بين أصبعين متضامين والعين قريبة من الفرجة

٢٦٧ — تطبيق منحنى الاهتزازة لشرح الحيود بفعل الفتحة المستطيلة الضيقة

ويمكن تطبيق منحنى الاهتزازة لشرح الحيود بفعل الفتحة المستطيلة الضيقة . فمحصلة الاهتزازة الحاصلة بفعل الحزمة الضوئية الحائدة كالحزمة ا هـ ب و (شكل ٢٢٨) عند تجمعها بوساطة عدسة لامة فى نقطة على مستواها البؤرى هى محصلة عدد لانهاية له من الاهتزازات المتساوية الاتساع والتى يتغير طورها بانتظام وتدرج فاذا اعتبرنا طور الاهتزازة الحادثة بفعل المويجة الصادرة من ا صفراً ورمزنا لفرق المسير بين الشعاعين ا هـ ب و بالحرف ط ، كان طور الاهتزازة الحادثة بفعل المويجه من ب مساوياً $\frac{٢}{ل}$ ط ، باعتبار أن ل رمز للطول الموجى



(شكل ٢٢٩)

ونظراً لان اتساع الاهتزازات كلها واحد وفرق الطور يزداد بالتدريج فمنحنى الاهتزازة (بند ١٨٤) يكون دائرة فاذا فرضنا أن الدائرة بشكل (٢٢٩) تمثل دائرة الاهتزازة كان المستقيم هـ ن الواصل بين نقطة هـ وأية نقطة ن على الدائرة ممثلا اتساع محصلة الاهتزازات التى يتغير طورها من الصفر حتى يبلغ الطور قيمة الزاوية المحصورة بين المماس عند نقطة ن والمحور السينى . فاذا رمزنا لنصف قطر الدائرة بالرمز س فان اتساع المحصلة يكون

$$\text{مـ ن} = ٢ \text{ س حا} \angle \text{مـ ب ن}$$

$$= ٢ \text{ س حا} \tfrac{١}{٢} \angle \text{مـ ا ن}$$

فاذا رمزنا للزاوية التى يصنعها المماس عند ن مع المحور السينى وهى الزاوية التى تمثل طور الاهتزازة الاخيرة بالرمز ٢ هـ ، فان

$$\angle \text{مـ ا ن} = ٢ \text{ هـ}$$

$$\therefore \quad \text{مـ ن} = ٢ \text{ س حا هـ}$$

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

$$٢ \text{ هـ} = \frac{\text{ا}}{\text{س}}$$

$$\therefore \quad \text{س} = \frac{\text{ا}}{٢ \text{ هـ}}$$

∴ اتساع المحصلة هو

$$\text{مـ ن} = \frac{\text{ا}}{\text{هـ}} \text{ حا هـ}$$

أو بالرمز لاتساع المحصلة بالحرف ر يكون

$$\text{ر} = \frac{\text{ا}}{\text{هـ}} \text{ حا هـ} \quad \ldots\ldots \quad (١)$$

وبما أن اختلاف الطور بين الاهتزازتين الحادثتين من نهاية الفتحة هو $\frac{٢ \text{ ط}}{\text{ل}}$ د ، فان هذا المقدار يقابل ضعف زاوية هـ فى المعادلة (١) . واذن يكون اتساع الاهتزازة الحاصلة بفعل الفتحة هو

$$\text{ر} = \text{ا} \frac{\text{حا} \frac{\text{ط د}}{\text{ل}}}{\frac{\text{ط د}}{\text{ل}}} \quad \ldots\ldots \quad (٢)$$

ويتضح من شكل (٢٢٩) أن الزاوية التى يصنعها ن مـ مع المحور السينى تساوى هـ واذن تكون زاوية هـ فى المعادلة (١) هى زاوية طور المحصلة ، واذن تكون زاوية $\frac{\text{ط د}}{\text{ل}}$ فى المعادلة (٢) هى زاوية طور المحصلة فاذا أرجأنا مؤقتاً الحالة التى تكون فيها قيمة هذه الزاوية صفراً . فان

قيمة ر فى المعادلة (٢) وهى اتساع المحصلة تعدم عندما تكون

$$\frac{ط_{ء}}{ل} = ط \text{ أو } ٢ط \text{ أو } ٣ط \text{ الخ}$$

أى أن المحصلة تعدم اذا كان

$$د = ل \text{ أو } ٢ل \text{ أو } ٣ل \text{ الخ}$$

أى اذا كان فرق المسير بين الشعاعين ا هـ ، ب و (شكل ٢٢٨) مساوياً الطول الموجى أو أضعافه . وفى هـذه الحالات تكون شدة الاستضاءة صفراً أى تبلغ شدة الاستضاءة نهايتها الصغرى (١)

ولتعيين قيمة هـ عنـد ما تكون شدة الاستضاءة عند نهايتها العظمى تطبق طريقة حساب التفاضل فى تعيين النهايات . فشدة الاستضاءة تتناسب ومربع ر . فاذا رمزنا لشدة الاستضاءة بالحرف سـ واعتبرنا معامل التناسب الوحدة يكون

$$سـ = ا^{٢} \frac{حا^{٢} هـ}{هـ^{٢}} \quad \ldots \quad (٣)$$

وباستعمال رمز التفاضل يكون عند النهاية العظمى

$$\frac{ء سـ}{ء هـ} = ا^{٢} \left[\frac{٢ حا هـ حتا هـ}{هـ^{٢}} - \frac{٢ حا^{٢} هـ}{هـ^{٣}} \right] = \text{صفراً}$$

ومنه يتضح أن

$$طا هـ = هـ$$

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

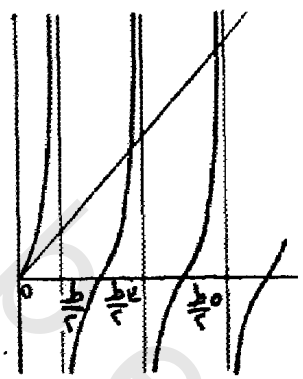
$$ص = طا س$$

$$ص = س$$

---

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

فان نقطة تقابل المستقيم الدال على المعادلة الثانية بخطوط المعادلة الأولى تعين قيمة س عند ما يكون طا س مساوياً س . ويتضح من شكل (٢٣٠) أن نقطة الأصل هى احدى نقط التقابل وقيمة س للنقطة الثانية قريبة من $\frac{٣}{٢}$ ط وللثالثة قريبة من $\frac{٥}{٢}$ ط وهكذا ولكنها الى $\frac{٥}{٢}$ ط فى الثالثة أقرب منها الى $\frac{٣}{٢}$ ط فى الثانية وهكذا



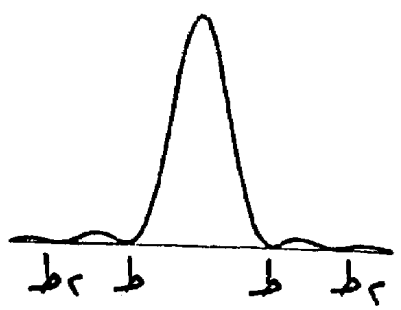
(شكل ٢٣٠)

واذن فان شدة الاستضاءة تبلغ نهايتها العظمى عند ما تكون ه مساوية بالتقريب

$$\frac{٣}{٢}\text{ ط أو } \frac{٥}{٢}\text{ ط الخ}$$

وبما أن $\frac{٢\text{ ط ء}}{\text{ل}} = ٢$ ه ينتج أن شدة الاستضاءة تبلغ نهايتها العظمى عند ما يكون فرق المسير ء مساوياً بالتقريب $\frac{٣}{٢}$ ل أو $\frac{٥}{٢}$ ل وهكذا

ويمكن رسم المنحنى الدال على المعادلة (٣) وهو يدل على العلاقة بين شدة الاستضاءة والزاوية ه وهو كالمبين بشكل (٢٣١) حيث تقاس شدة الاستضاءة على المحور الرأسى والزاوية على المحور الافقى ومنه يتضح أن شدة الاستضاءة عند الهدبة المركزية كبيرة وتقل فى الهدب المضيئة الأخرى وتعدم بعد بضع هدب . وقيمة شدة الاستضاءة عندما تكون زاوية ه صفراً لا يمكن تعيينها بالتعويض فى المعادلة (٣) وانما تعين بالطريقة المعروفة فى حساب التفاضل[1] حيث يمكن اثبات أنها تساوى ١



(شكل ٢٣١)

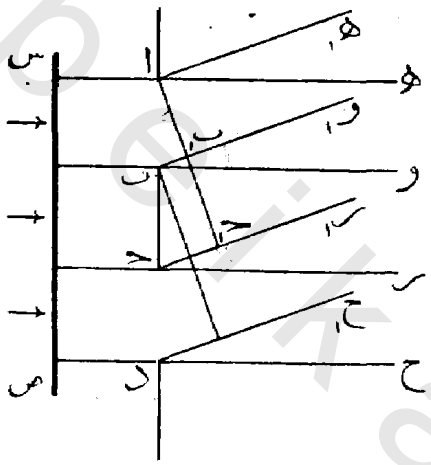
---

(١) $\frac{\frac{\text{ء}}{\text{ء ه}}\text{ حا}^{٢}\text{ ه}}{\frac{\text{ء}}{\text{ء ه}}\text{ ه}^{٢}} = \frac{٢\text{ حا ه حتا ه}}{٢\text{ ه}}$ ∴ $\frac{\frac{\text{ء}^{٢}}{\text{ء ه}^{٢}}\text{ حا}^{٢}\text{ ه}}{\frac{\text{ء}^{٢}}{\text{ء ه}^{٢}}\text{ ه}^{٢}} = \text{حتا}^{٢}\text{ ه} - \text{حا}^{٢}\text{ ه}$

فاذا وضعت قيمة ه صفراً كان المقدار المذكور مساوياً الوحدة . واذن عندما تكون ه صفراً يكون المقدار $\frac{\text{حا}^{٢}\text{ ه}}{\text{ه}^{٢}}$ مساوياً الوحدة فتكون شدة الاستضاءة فى هذه الحالة مساوية ١

٢٦٨ – الحيود بفعل فتحتين مستطيلتين ضيقتين متوازيتين متساويتين – شرح أولى

نفرض أن الفتحتين هما ا ب ، ح د (شكل ٢٣٢) وأن موجة صدرها مستوى مثل س ص ومواز لمستوى الفتحتين تقع عليهما



(شكل ٢٣٢)

فالظاهرة فى هذه الحالة يمكن تقسيمها قسمين يراعى فى القسم الاول الحيود الحادث بفعل كل واحدة من الفتحتين باعتبارها فتحة على حدتها وهذا يؤدى الى حدوث هدب كما فى الحالة السابقة بحيث اذا كان فرق المسير بين ا هـ ، ، ب و ، أو ح ر ، ، د ح ، مساوياً الطول الموجى أو أضعافه فتجمع الحزمة الحائدة من كل من الفتحتين على المستوى البؤرى للعدسة اللامة التى تستقبل الضوء يؤدى الى حدوث ظلمة ونظراً لتوازى الحزمتين الحائدتين الصادرتين من الفتحتين فان العدسة تلهمها فى موضع واحد على مستواها البؤرى . فتكون الهدب شبيهة بما يحدث لو كانت هناك فتحة واحدة . و يراعى فى القسم الثانى ما يحدث عن تداخل الضوء الصادر من احدى الفتحتين بالضوء الصادر من الثانية فاذا كان فرق المسير بين ا هـ ، ، ح ر ، أو بين ب و ، ، د ح ، أو بين أى شعاع من احدى الفتحتين والشعاع المقابل له من الأخرى اذا كان فرق المسير هذا مساوياً نصف الطول الموجى أو ثلاثة أنصافه أو خمسة أنصافه وهكذا حدث من تجمع ضوءى الفتحتين على المستوى البؤرى للعدسة اللامة ظلمة . أما اذا كان فرق المسير مساويا الطول الموجى 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 فى مواضع الظلمة من الاولى . فمثلا اذا فرضنا أن ا ب = ب ح = ح د وأسقطنا من ا العمود ا ب ، ح ، على الشعاعين ب و ، ، د ح ، وكان ب ب ، مساوياً الطول الموجى حدثت

ظلمة عن تجمع الحزمة الحائدة من كل من الفتحتين على حدتها وتكون هى أول ظلمة تلى الضياء المركزى من هدب المجموعة الاولى وما دام ب ب١ 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 المضيئة 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 ب١ ربع الطول الموجى يكون ح ح١ نصف الطول الموجى . واذن يحدث عن تجمع الحزمتين من الفتحتين ظلمة . فالضياء المذكور يغشاه فى هذا الموضع ظلام . أما اذا كان ح ح١ مساوياً ضعف الطول الموجى فانه ينتظر أول وهلة أن الحزمتين يحدث عن تجمعهما ضياء حيث تقوى احداهما الأخرى ولكن نظراً لأن ب ب١ فى هذه الحالة يكون مساوياً الطول الموجى فانه يحدث عن تجمع أشعة الحزمة الواحدة على حدتها ظلمة . فيمحى ضوء كل حزمة على حدتها ولا يحدث فى هذا الموضع ضياء أصلا

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 الابعاد بعضها عن الآخر . ومثل هذا الجهاز صنعه فى مبدئ الأمر « فرونهوفر » من أسلاك دقيقة متوازية متساوية الأبعاد بعضها عن الآخر والفرجة بين الواحد والآخر ضيقة فاذا وقعت على المحزوز موجة مستوية حدث الحيود عند نفوذ الضوء من الفرج التى بين الاسلاك . 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

(١) Diffraction Grating (٢) Ruling Machine

الفرج بين الخطوط المخدوشة عمل الفتحات فينفذ الضوء منها و يكاد لا ينفذ خلال الخدوش نفسها ومحزوزات الحيود التى تصنع بهذه الكيفية مرتفعة الأثمان ولذلك تستعمل عادة فى التجارب العملية نماذج منها مطبوعة على « السلولويد »(١) اشتهر بصنعها انجليزى يدعى « ثورب »(٢) وكثيراً ما يطلق عليها « محزوزات ثورب » و يسمى 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 الابعاد بعضها عن الآخر ولنفرض أن ا ب ، حـ د شكل (٢٣٢) فتحتان متتاليتان منها وانه يقع على سطح المحزوز موجة مستوية مثل س ص صدرها موازٍ لسطحه . فالاشعة التى تنفذ من الفتحات فى استقامة مسيرها الاول قبل سقوطها على المحزوز يحدث ضياء عند تجمعها بوساطة عدسة لامة فى مستواها البؤرى . أما الاشعة التى تحيد عن هذه الاستقامة فانها اذا لمت فى المستوى البؤرى للعدسة قد يحدث عن تجمعها ضياء أو ظلمة تبعاً لفرق المسير بينها . فاذا راعينا الحزم المتوازية التى تحيد فى اتجاه يوازى ا هـ١ (شكل ٢٣٢) وأسقطنا من ا العمود ا حـ١ على الشعاع حـ ر١ ورمزنا للزاوية التى تصنعها هذه الحزم مع العمود على سطح المحزوز وهى التى تسمى زاوية الحيود بالحرف ع . كانت الزاوية بين ا حـ١ ، ا حـ مساوية ع فيكون

$$حـ حـ_{١} = ا حـ \ حا ع$$

فاذا رمزنا لاتساع الفتحة (أى للبعد ا ب وهو واحد فى جميع الفتحات) بالحرف ا وللبعد ب حـ (وهو سمك الحاجز المعتم بين كل فتحتين) بالحرف ب فان ا حـ = ا + ب واذن

$$حـ حـ_{١} = (ا + ب) \ حا ع$$

و يساوى هذا فرق المسير بين الشعاع ا هـ١ والشعاع حـ ر١ أو بين أى شعاع من احدى الفتحات والشعاع الذى يقابله من الفتحة التى تليها فاذا كان هذا المقدار مساوياً الطول الموجى أو أضعافه فانه يحدث عند تجمع هذه الحزم فى المستوى البؤرى للعدسة ضياء . أما اذا كان مساوياً

---

(١) Celluloid

(٢) Thorp

(٣) Transmitting Grating

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

$$(١ + ب) \text{ حا } ع = ن \text{ د} \quad \ldots\ldots (١)$$

باعتبار أن د رمز للطول الموجى

ولاختبار مواضع الضياءوالظلمة فى هذه الحالة يستعان بسبكترسكوب يهيأ للاستعمال بالطريقة المعتادة وتضاء فتحة المجمع بضوء ذى لون واحد و يجعل التلسكوب على امتداد المجمع و يوضع بينهما (بدلا من المنشور) المحزوز بحيث تكون خطوطه رأسية موازية لفتحة المجمع و بحيث 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 البؤرى لشيئية التلسكوب وتكبرها العينية . فاذا أدير التلسكوب قليلا قليلا حتى صار محوره مائلا على العمود على المحزوز بزاوية قدرها ع بحيث يكون

$$(١ + ب) \text{ حا } ع = \text{د}$$

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

$$(١ + ب) \text{ حا } ع = ٢ \text{ د}$$

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 الالوان المختلفة والتى لايكون ثمت فرق فى المسير بينها يحدث من تجمعها جميعاً فى المستوى البؤرى للعدسة صورة لا لونية ترى عند ما يكون محور التلسكوب على استقامة محور المجمع . ولكن نظراً لان الطول الموجى للضوء البنفسجى أقل منه للاحمر مثلا فان قيمة ع التى يتوافر بها شرط أن يكون (١ + ب) حا ع مساوياً الطول الموجى للبنفسجى تكون أقل من قيمتها التى يتوافر بها شرط أن يكون هذا المقدار

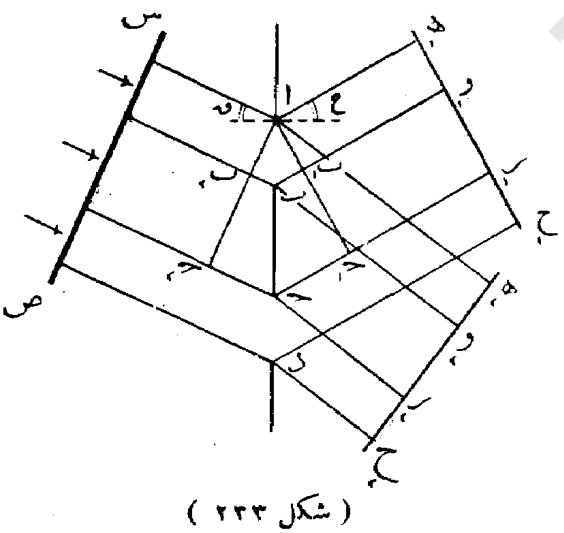
مساوياً الطول الموجى للاحمر مثلا . واذن يظهر بدلا من الصورة الاولى التى ترى فى الحالة السابقة على أحد جانبى الصورة المركزية طيف يكون طرفه البنفسجى أقرب الى الصورة اللالونية المركزية وطرفه الاحمر أبعد أى تكون فيه زاوية حيود البنفسجى أصغر من زاوية حيود الاحمر . واذا استمر دوران التلسكوب بعد ذلك يرى طيف آخر وهكذا

اذن يتكون فى حالة الضوء الأبيض أطياف ، أول طيف منها حيث تكون قيمة ن فى المعادلة

$$(ا + ب) \text{حا} ع = ن \, ل$$

هى الوحدة يسمى الطيف ذا المرتبة الاولى . والثانى حيث تكون قيمة ن هى ٢ ، يسمى الطيف ذا المرتبة الثانيـة وهكذا ، أو بوجه عام حيث تتوافر هذه المعادلة يتكون طيف يسمى الطيف ذا المرتبة النونية

واذا استبدل بالضوء الأبيض أى ضوء آخر ، كالضوء المنبعث من انبوبة الايدروجين مثلا ، تكونت للضوء الاطياف ذات المراتب المختلفة. فاذا قيست زوايا الحيود لخطوطها الطيفية وعرفت مرتبة الطيف أمكن بتطبيق المعادلة المذكورة ايجاد الأطوال الموجية لهذه الخطوط



(شكل ٢٣٣)

وقد ذهبنا فى الشرح السابق الى أن الموجة المستوية الواقعة على المحزوز ، سطحها مواز لسطح المحزوز ، أى أن زاوية سقوط الضوء على المحزوز صفر . أما اذا وقع الضوء بحيث تكون زاوية السقوط ع كما هو مبين بشكل (٢٣٣) وأسقطنا من ا العمود ا حـ٢ على الشعاع الساقط عند حـ ، والعمود ا حـ١ على الشعاع الحائد عند حـ فنظراً لأن جميع النقط الواقعة على ا حـ٢ أو امتداده تكون اهتزازاتها فى طور واحد لانطباق صدر الموجة المستوية عليه فان فرق المسير بين الشعاع اهـ١ ، حـ ر١ يساوى

$$\text{حـ ر}_١ + \text{حـ حـ}_٢ = (ا + ب)(\text{حا} ع + \text{حا} ن)$$

ويتبين أن شرط حدوث الضياء فى هذه الحالة أن يكون

$$(ا + ب)(حاع + حاد) = ن ع د$$

واذا كانت الحزم حائدة فى الجانب الآخر من العمود كالحزم اهـ ، ب و ، ق حـ ، د ح ، الخ تتحول المعادلة المذكورة الى الصورة الآتية

$$(ا + ب)(حاع - حاد) = ن ع د$$

فتكون المعادلة بوجه عام هى

$$(ا + ب)(حاع \pm حاد) = ن ع د$$

ويلاحظ أنه اذا كانت د صفراً تتحول المعادلة الى صورة المعادلة (١) السابقة

٢٧٠ — نظرية المحزوز

لبيان النظرية العامة للمحزوز بطريقة اجمالية نفرض كما سبق أنه يتركب من فتحات مستطيلة ضيقة متوازية متساوية ، تفصلها مسافات متساوية أيضاً ، وانها جميعاً فى مستوى واحد . فمحصلة الاهتزازة الحادثة بفعل أية فتحة منها (عند تجمع الأشعة المتوازية الصادرة منها بوساطة عدسة لامة فى مستواها البؤرى) يمكن ايجادها من دائرة الاهتزازة . فاذا عدنا الى شكل (٢٣٣) يتضح أن فرق المسير بين الشعاعين اهـ ، ق ب و ، وهما الحائدان من نهايتى احدى الفتحات ، يساوى

$$ا (حاع + حاد)$$

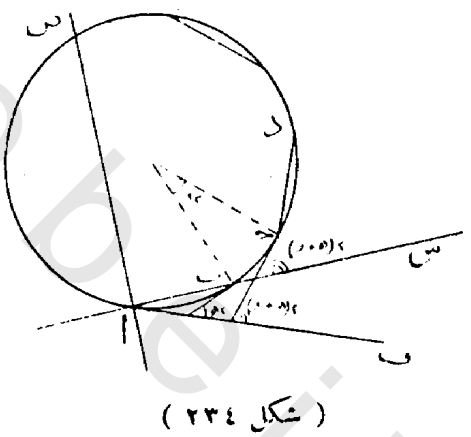
بالرمز لاتساع الفتحة بالحرف ا

فاذا قسمت الفتحة أقساماً تفاضلية موازية لحديها ، واعتبر طور الاهتزازة بفعل الجزء التفاضلى عند ا صفرا كان طور الاهتزازة بفعل الجزء التفاضلى الأخير أى الذى عند ب هو

$$ا (حاع + حاد) \frac{٢ ط}{ل} \quad \ldots\ldots \quad (١)$$

فاذا زمزنا لهذا المقدار بالرمز ٢ هـ فان محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة يمثل اتساعها على دائرة الاهتزازة بالوتر ا ب (شكل ٢٣٤) حيث تكون الزاوية بين المماس عند ب والمحور الافقى ا ف مساوية ٢ هـ و الزاوية بين ا ب وهذا المحور وهى تساوى هـ تكون طور هذه المحصلة وحيث يكون طول القوس ا ب من الدائرة متناسباً واتساع الفتحة ولنعتبره مساوياً أياه كذلك

فان محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة حـ د (شكل ٢٣٣) ، وهى التى تلى الفتحة الاولى يمثل اتساعها على دائرة الاهتزازة بالوتر حـ د ويساوى الوتر ا ب طولا . ولما كان فرق المسير بين الشعاعين ب و ، ٥ حـ ر (شكل ٢٣٣) أى بين الشعاع من نهاية الفتحة الأولى و بين الشعاع من مبدىء الفتحة الثانية يساوى (كما يتضح من الشكل المذكور)


(شكل ٢٣٤)

ـ (حا ع + حا ن) بالرمز للمسافة الفاصلة بين الفتحتين بالحرف ـ ، يكون طور الاهتزازة من مبدىء الفتحة الثانية متخلفاً عن طور الاهتزازة من نهاية الأولى بالمقدار

$$\frac{٢\ ط}{ل}\ ـ\ (\text{حا ع} + \text{حا ن})$$

فاذا رمزنا لهذا المقدار بالرمز ٢ ، يتضح أن المماس لدائرة الاهتزازة عند نقطة حـ (شكل ٢٣٤) يصنع مع المحور الأفقى ا ف زاوية تساوى ٢ (ه + و) . وتكون الزاوية التى يصنعها القوس ب حـ عند المركز ٢ و . وطور الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة الثانية يمثل على دائرة الاهتزازة بالزاوية التى يصنعها الوتر حـ د مع المحور الأفقى ا ف . ولايجاد قيمة هـذه الزاوية يتبين من الشكل أن الزاوية بين المستقيمين الواصلين من منتصفى الوترين ا ب ، حـ د ومركز الدائرة هى ٢ (ه + و) . فيكون الوتر حـ د مائلا على امتـــداد الوتر ا ب بزاوية قدرها ٢ (ه + و) فيكون ميل الوتر حـ د على المحور الأفقى ا ف مساوياً ه + ٢ (ه + و) ويساوى هذا طور محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة الثانية

وبالمثل يمكن بيان أن طور محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الثالثة هو

$$ه + ٤ (ه + و)$$

وطور محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة التى بعدها هو

$$ه + ٦ (ه + و)$$

وهكذا

ويكون اتساع جميع هذه المحصلات واحداً و يساوى طول أحد الاوتار ا ب أو ح د الخ.
ويتضح من بند (٢٦٧) أنه يكون

$$\frac{\text{حا } \theta}{\theta} = ١ = \nu$$

ولايجاد اتساع المحصلة النهائية الحاصلة بفعل جميع الفتحات . نحلل اتساع الاهتزازة الحادثة بفعل كل فتحة على حدتها الى مركبتين فى استقامتين متعامدتين . ونقدر مجموع المركبات فى احدى الاستقامتين ثم مجموع المركبات فى الاستقامة الأخرى ثم نحصل المجموعين بالطريقة المعتادة

ولتسهيل هذه العملية نأخذ محورين متعامدين يمران بنقطة ا (شكل ٢٣٤) أحدهما المحور السينى منطبق على الوتر ا ب والآخر المحور الصادى عمودى عليه . ولنرمز للمقدار

$$٢ (\theta + \omega)$$ بالحرف ء

فتكون الزاوية بين الوتر ا ب والمحور السينى صفراً . وبين الوتر ح د والمحور السينى ى وبين الوتر الثالث والمحور السينى ٢ ى وهكذا . وعدد هذه الأوتار يساوى عدد الفتحات فى المحزوز. فاذا رمزنا لعددها بالحرف ع ، تكون الزاوية بين آخر وتر والمحور السينى (ع — ١) ى فيكون مجموع المركبات السينية هو

$$\nu + \nu \text{ حتا ى} + \nu \text{ حتا } ٢ \text{ ى} + \ldots\ldots + \nu \text{ حتا } (ع - ١) \text{ ى}$$

ويكون مجموع المركبات الصادية هو

$$٠ + \nu \text{ حا ى} + \nu \text{ حا } ٢ \text{ ى} + \ldots\ldots + \nu \text{ حا } (ع - ١) \text{ ى}$$

فاذا رمزنا لاتساع المحصلة النهائية بالحرف ح وللزاوية التى تصنعها مع المحور السينى بالحرف ة يكون

$$\text{ح حتا ة} = \nu [١ + \text{حتا ى} + \text{حتا } ٢ \text{ ى} + \ldots\ldots + \text{حتا } (ع - ١) \text{ ى}] \ldots (١)$$

$$\text{ح حا ة} = \nu [٠ + \text{حا ى} + \text{حا } ٢ \text{ ى} + \ldots\ldots + \text{حا } (ع - ١) \text{ ى}] \ldots (٢)$$

ولجمع المتوالية الأولى نضرب طرفى المعادلة (١) فى ٢ حا $\frac{\text{ى}}{٢}$ ، فينتج أن

$$٢ \text{ ح حتا ة حا } \frac{\text{ى}}{٢} = \nu [٢ \text{ حا } \frac{\text{ى}}{٢} + ٢ \text{ حتا ى حا } \frac{\text{ى}}{٢} + ٢ \text{ حتا } ٢ \text{ ى حا } \frac{\text{ى}}{٢} + \ldots$$

$$+ ٢ \text{ حتا } (ع - ١) \text{ ى حا } \frac{\text{ى}}{٢}]$$

ومن المعلوم فى حساب المثلثات أن

$$\text{حا}(\text{ا} + \text{ب}) - \text{حا}(\text{ا} - \text{ب}) = ٢ \text{ حتا ا حا ب}$$

واذن يكون

$$٢ \text{ حتا ى حا} \frac{\text{ى}}{٢} = \text{حا} \frac{٣}{٢} \text{ى} - \text{حا} \frac{١}{٢} \text{ى}$$

$$\text{و } ٢ \text{ حتا ٢ ى حا} \frac{\text{ى}}{٢} = \text{حا} \frac{٥}{٢} \text{ى} - \text{حا} \frac{٣}{٢} \text{ى}$$

$$\text{و } ٢ \text{ حتا } (\text{ع} - ١) \text{ ى حا} \frac{\text{ى}}{٢} = \text{حا} \frac{٢\text{ع} - ١}{٢} \text{ى} - \text{حا} \frac{٢\text{ع} - ٣}{٢} \text{ى}$$

فبالتعويض فى المعادلة (٣) ينتج بعد الإختصار أن

$$٢ \text{ ح حتا ه حا} \frac{\text{ى}}{٢} = \text{ر} \left[\text{حا} \frac{\text{ى}}{٢} + \text{حا} \frac{٢\text{ع} - ١}{٢} \text{ى} \right]$$

ومن المعلوم فى حساب المثلثات أن

$$\text{حا}(\text{ا} - \text{ب}) + \text{حا}(\text{ا} + \text{ب}) = ٢ \text{ حا ا حتا ب}$$

$$\therefore \quad \text{حا} \frac{\text{ى}}{٢} + \text{حا} \frac{٢\text{ع} - ١}{٢} \text{ى} = ٢ \text{ حا} \frac{\text{ع ى}}{٢} \text{ حتا} \frac{\text{ع} - ١}{٢} \text{ى}$$

$$\therefore \text{ ح حتا ه حا} \frac{\text{ى}}{٢} = \text{ر حا} \frac{\text{ع ى}}{٢} \text{ حتا} \frac{\text{ع} - ١}{٢} \text{ى} \quad \ldots\ldots \quad (٤)$$

كذلك لجمع المتوالية (٢) نضرب طرفى المعادلة (٢) فى ٢ حا $\frac{\text{ى}}{٢}$. فينتج أن

$$٢ \text{ ح حا ه حا} \frac{\text{ى}}{٢} = \text{ر} \left[٠ + ٢ \text{ حا ى حا} \frac{\text{ى}}{٢} + ٢ \text{ حا ٢ ى حا} \frac{\text{ى}}{٢} + \ldots\ldots \right.$$

$$\left. + ٢ \text{ حا } (\text{ع} - ١) \text{ ى حا} \frac{\text{ى}}{٢} \right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٥)$$

ومن المعلوم فى حساب المثلثات أن

$$\text{حتا}(\text{ا} - \text{ب}) - \text{حتا}(\text{ا} + \text{ب}) = ٢ \text{ حا ا حا ب} \quad \ldots\ldots \quad (٦)$$

واذن يكون

$$٢ \text{ حا ى حا} \frac{\text{ى}}{٢} = \text{حتا} \frac{\text{ى}}{٢} - \text{حتا} \frac{٣}{٢} \text{ى}$$

$$\text{و } ٢ \text{ حا ٢ ى حا} \frac{\text{ى}}{٢} = \text{حتا} \frac{٣}{٢} \text{ى} - \text{حتا} \frac{٥}{٢} \text{ى}$$

$$\text{ى}\ ٢\ \text{حا}(\text{ع}-١)\ \text{ى}\ \text{حا}\frac{\text{ى}}{٢} = \text{حتا}\frac{\text{ع}\ ٢ - ٣}{٢}\ \text{ى} - \text{حتا}\frac{\text{ع}\ ٢ - ١}{٢}\ \text{ى}$$

فبالتعويض فى المعادلة (٥) ينتج بعد الاختصار أن

$$٢\ \text{ح}\ \text{حا}\ \text{ة}\ \text{حا}\frac{\text{ى}}{٢} = \text{ر}\left[\text{حتا}\frac{\text{ى}}{٢} - \text{حتا}\frac{\text{ع}\ ٢ - ١}{٢}\ \text{ى}\right]$$

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

$$\text{حتا}\frac{\text{ى}}{٢} - \text{حتا}\frac{\text{ع}\ ٢ - ١}{٢}\ \text{ى} = ٢\ \text{حا}\frac{\text{ع}}{٢}\ \text{ى}\ \text{حا}\frac{\text{ع} - ١}{٢}\ \text{ى}$$

واذن يكون

$$\text{ح}\ \text{حا}\ \text{ة}\ \text{حا}\frac{\text{ى}}{٢} = \text{ر}\ \text{حا}\frac{\text{ع}\ \text{ى}}{٢}\ \text{حا}\frac{\text{ع} - ١}{٢}\ \text{ى} \quad \ldots\ (٧)$$

وبتربيع كل من المعادلتين (٤) ، (٧) وجمع المربعين ينتج أن

$$\text{ح}^{٢}\ \text{حا}^{٢}\frac{\text{ى}}{٢} = \text{ر}^{٢}\ \text{حا}^{٢}\frac{\text{ع}\ \text{ى}}{٢}$$

$$\therefore\ \text{ح}^{٢} = \text{ر}^{٢}\ \frac{\text{حا}^{٢}\frac{\text{ع}\ \text{ى}}{٢}}{\text{حا}^{٢}\frac{\text{ى}}{٢}} \quad \ldots\ (٨)$$

فهذا المقدار يتناسب وشدة الاستضاءة . ويكون اتساع محصلة الاهتزازة النهائية الحاصلة بفعل جميع الفتحات هو

$$\text{ح} = \text{ر}\ \frac{\text{حا}\frac{\text{ع}\ \text{ى}}{٢}}{\text{حا}\frac{\text{ى}}{٢}} \quad \ldots\ (٩)$$

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

$$\text{طا}\ \text{ة} = \text{طا}\frac{\text{ع} - ١}{٢}\ \text{ى}$$

فتكون الزاوية التى تصنعها المحصلة مع المحور السينى مساوية $\frac{\text{ع} - ١}{٢}$ ى . ومنه يتضح أن طور المحصلة النهائية يكون متخلفاً بقدر هذه الزاوية ، عن طور الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة الاولى

٢٧١ — استنباط الحالات التى تبلغ فيها شدة الاستضاءة نهايتيها العظمى والصغرى

يتضح من المعادلة (٨) أن شدة الاستضاءة تتغير بتغير $ر^{٢}$ وبتغير $\frac{حا^{٢}\frac{ع ى}{٢}}{حا^{٢}\frac{ى}{٢}}$ وينشأ عن تغير المقدار $ر^{٢}$ ظواهر الحيود الحادثة بفعل الفتحة المفردة . فاذا أغفلنا هذا مؤقتاً وراعينا العامل الثانى على حدته نرى أن شدة الاستضاءة تبلغ نهايتها العظمى أو الصغرى عند ما يكون تفاضل المقدار الثانى صفراً . وتفاضل المقدار الثانى هو

$$\frac{ع\ حا\frac{ع ى}{٢}\ حتا\frac{ع ى}{٢}}{حا^{٣}\frac{ى}{٢}} - \frac{حا^{٢}\frac{ع ى}{٢}\ حتا\frac{ى}{٢}}{حا^{٣}\frac{ى}{٢}}$$

فاذا كان هذا المقدار صفراً ينتج أن

$$\frac{حا\frac{ع ى}{٢}}{حا^{٣}\frac{ى}{٢}}\left(ع\ حتا\frac{ع ى}{٢}\ حا\frac{ى}{٢} - حا\frac{ع ى}{٢}\ حتا\frac{ى}{٢} \right) = صفراً$$

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

$$حا\frac{ع ى}{٢} = صفراً \quad أو \quad ع\ طا\frac{ى}{٢} = طا\frac{ع ى}{٢}$$

ولتوضيح المعانى التى تستنبط من هذا نراعى ما يأتى

(أولا) الحالات التى يكون فيها $حا\frac{ع ى}{٢}$ صفراً ، ولكن $حا\frac{ى}{٢}$ ليس كذلك ، فيعدم بسط الكسر فى المقدار (٨) دون مقامه ، وتكون شدة الاستضاءة صفراً . ففى هذه الحالات يكون

$$\frac{ع ى}{٢} = ط \text{ أو } ٢ط \text{ أو } ٣ط \text{ الخ}$$

ويلاحظ استثناء الحالة التى يكون فيها $\frac{ع ى}{٢}$ صفراً ، اذ فيها يكون $\frac{ى}{٢}$ صفراً أيضاً

ويلاحظ كذلك ألا تكون قيمة $\frac{ى}{٢}$ مساوية ط أو أضعاف ط

(ثانياً) الحالات التى يكون فيها $ع\ طا\frac{ى}{٢}$ مساوياً $طا\frac{ع ى}{٢}$. وهذه نقسمها قسمين

(القسم الأول) حيث يكون $\frac{ى}{٢}$ صفراً أو ط أو ٢ ط الخ . وفى هذه الحالات يعدم بسط الكسر فى المقدار (٨) ويعدم مقامه أيضاً . فلتعيين قيمة الكسر $\frac{حا\frac{ع\,ى}{٢}}{حا\frac{ى}{٢}}$ عند ما تبلغ $\frac{ى}{٢}$ هذه القيمات ، تطبق الطريقة المعروفة فى حساب التفاضل فيقسم تفاضل بسط الكسر على تفاضل مقامه ، ويستبدل فى خارج القسمة بالمقدار $\frac{ى}{٢}$ قيماته المذكورة . فيكون

$$\frac{\frac{د}{د\,ى}\left(حا\frac{ع\,ى}{٢}\right)}{\frac{د}{د\,ى}\left(حا\frac{ى}{٢}\right)} = \frac{ع\,حتا\frac{ع\,ى}{٢}}{حتا\frac{ى}{٢}}$$

فاذا كانت $\frac{ى}{٢}$ صفراً أو ط أو ٢ ط الخ كانت قيمة المقدار المذكور $\pm$ ع . واذن يكون قيمة الكسر فى المقدار (٨) هى $ع^{٢}$. فتبلغ شدة الاستضاءة اذن نهايتها العظمى

(القسم الثانى) سائر القيمات الأخرى للمقدار $\frac{ى}{٢}$ التى يتوافر بها شرط تساوى ع طا $\frac{ى}{٢}$ ، ع طا $\frac{ع\,ى}{٢}$ ، أو بتعبير آخر جميع قيمات $\frac{ى}{٢}$ التى يتوافر بها هذا الشرط ما عدا القيمات الآتية وهى صفر ، ط ، ٢ ط الخ فهذه قد سبقت مراعاتها فى القسم الاول .

وللاسترشاد الى النتائج الخاصة بهذا ، يستحسن هنا اعتبار مثال عددى تكون فيه قيمة ع ستة . فتحول قيمة $\frac{ى}{٢}$ بالتدريج من صفر الى ط يجعل قيمة ٦ $\frac{ى}{٢}$ تتحول بالتدريج من الصفر الى ط الى ٢ ط الى ٣ ط الى ٤ ط الى ٥ ط الى ٦ ط ، كما يتبين من الجدول الآتى

٦ $\frac{ى}{٢}$	= صفراً	حيث $\frac{ى}{٢}$	= صفراً
٦ $\frac{ى}{٢}$	= ط	»	= $\frac{١}{٦}$ ط
٦ $\frac{ى}{٢}$	= ٢ ط	»	= $\frac{٢}{٦}$ ط
٦ $\frac{ى}{٢}$	= ٣ ط	»	= $\frac{٣}{٦}$ ط
٦ $\frac{ى}{٢}$	= ٤ ط	»	= $\frac{٤}{٦}$ ط
٦ $\frac{ى}{٢}$	= ٥ ط	»	= $\frac{٥}{٦}$ ط
٦ $\frac{ى}{٢}$	= ٦ ط	»	= ط

وقد تبين فيما سبق أنه حيث يبلغ $\frac{ى}{٢}$ قيمة الصفر أو ط تكون شدة الاستضاءة عند نهايتها

العظمى ، وهى التى تتعين بالمقدار ع^{٢} أى ٢٦ فى المثال العددى الذى نحن بصدده . وحيث تكون قيمة ٦ $\frac{ى}{٢}$ مساوية ط أو ٢ ط أو ٣ ط أو ٤ ط أو ٥ ط (مع استثناء ٦ ط ، لأن عندها تكون قيمة $\frac{ى}{٢}$ مساوية ط) تبلغ شدة الاستضاءة قيمة الصفر . فيتضح أنه عند ما تتغير شدة الاستضاءة من نهايتها العظمى حيث يكون $\frac{ى}{٢}$ صفراً ، الى نهايتها العظمى حيث يكون $\frac{ى}{٢}$ مساوياً ط ، فان شدة الاستضاءة تتحول فى أثناء ذلك الى العدم خمس مرات . ولكى تتحول الى العدم خمس مرات ، كان حتما أن تبلغ نهاية عظمى فى أثناء ذلك أربع مرات

وبالمثل اذا كان عدد الفتحات فى المحزوز ع فانه عند ما تتحول قيمة $\frac{ى}{٢}$ من الصفر الى ط تتحول شدة الاستضاءة الى العدم (ع — ١) مرة وتمر فى أثناء ذلك بنهاية عظمى (ع — ٢) مرة . ويتكرر هذا عند ما تتحول قيمة $\frac{ى}{٢}$ من ط الى ٢ ط ، أو من ٢ ط الى ٣ ط ، وهكذا

ولايجاد قيمة شدة الاستضاءة فى النهايات العظمى المحصورة بين قيمتى الصفر ، ط أو ط ، ٢ ط الخ للمقدار $\frac{ى}{٢}$ ، نقدر قيمة الكسر فى المقدار (٨) عند ما يتوافر شرط تساوى ع طا $\frac{ى}{٢}$ ، طا $\frac{ع ى}{٢}$ فالمقدار

$$\frac{\frac{١}{\frac{ع ى}{٢}\text{طا}^{٢}+١}-١}{\frac{١}{١+\text{طا}^{٢}\frac{ى}{٢}}-١}=\frac{١-\text{حتا}^{٢}\frac{ع ى}{٢}}{١-\text{حتا}^{٢}\frac{ى}{٢}}=\frac{\text{حا}^{٢}\frac{ع ى}{٢}}{\text{حا}^{٢}\frac{ى}{٢}}$$

$$=\frac{\text{طا}^{٢}\frac{ع ى}{٢}\cdot(١+\text{طا}^{٢}\frac{ى}{٢})}{\text{طا}^{٢}\frac{ى}{٢}\cdot(١+\text{طا}^{٢}\frac{ع ى}{٢})}$$

ونظراً لأن طا^{٢} $\frac{ع ى}{٢}$ = ع^{٢} طا^{٢} $\frac{ى}{٢}$ يكون المقدار المذكور مساوياً

$$\frac{ع^{٢}}{\text{حتا}^{٢}\frac{ى}{٢}+ع^{٢}\text{حا}^{٢}\frac{ى}{٢}}=\frac{\frac{١}{\text{حتا}^{٢}\frac{ى}{٢}}ع^{٢}}{\frac{\text{حا}^{٢}\frac{ى}{٢}}{\text{حتا}^{٢}\frac{ى}{٢}}ع^{٢}+١}=\frac{ع^{٢}(١+\text{طا}^{٢}\frac{ى}{٢})}{ع^{٢}\text{طا}^{٢}\frac{ى}{٢}+١}$$

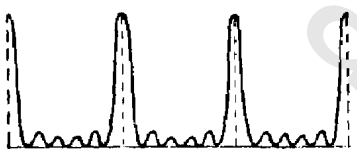
$$= \frac{ع^{٢}}{١ + (ع^{٢} - ١)\, حا^{٢} \frac{ى}{٢}}$$

واذن تكون نسبة شدة الاستضاءة عند النهايات العظمى حيث تكون $\frac{ى}{٢}$ = صفراً أو ط أو ٢ ط الخ الى شدتها عند النهايات العظمى الأخرى المحصورة بين كل اثنتين من تلك كنسبة

$$١ : ١ + (ع^{٢} - ١)\, حا^{٢} \frac{ى}{٢}$$

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

وشكل (٢٣٥) يوضح العلاقة بين المقدار $\frac{حا^{٢} \frac{ع ى}{٢}}{حا^{٢} \frac{ى}{٢}}$ ى المقدار $\frac{ى}{٢}$. عندما تكون قيمة ع ستة ، ومنه يتضح أن شدة الاستضاءة فى النهايات العظمى التى تتكون عند ما تبلغ قيمة $\frac{ى}{٢}$ صفراً أو ط أو ٢ ط الخ أكبر كثيراً منها فى النهايات العظمى المحصورة بينها



(شكل ٢٣٥)

واذا زادت قيمة ع أى زاد عدد فتحات المحزوز ، يزداد عدد هذه النهايات ، وتقل كثيرا قيماتها ، بالنسبة الى قيمات الأولى ، وتسمى الأولى حيث يكون $\frac{ى}{٢}$ صفراً أو ط أو ٢ ط الخ النهايات العظمى الابتدائية . وتسمى الثانية المحصورة بينها النهايات العظمى الثانوية . فاذا كان عدد فتحات المحزوز كبيرا جدا أمكن اغفال هذه النهايات الثانوية

ونظرا لأن $٢ ى = ٢ (هـ + ء) = (١ + ب)(حا ع + حا ن)\, \frac{٢ ط}{ل}$

فان النهايات العظمى الابتدائية تتكون عندما يكون

$(١ + ب)(حا ع + حا ن)\, \frac{ط}{ل}$ = صفرا أو ط أو ٢ ط الخ

أى عندما يكون

$$(١ + ب)(حا ع + حا ن) = ن ن$$

حيث تأخذ ن قيمة الصفر أو ١ أو ٢ الخ

فالنهايات العظمى الابتدائية هى التى ورد ذكرها فى الشرح الأولى لمحزوز الحيود

وقد راعينا فى كل ما سبق تغير شدة الاستضاءة تبعاً لتغير $\frac{\text{حا}^{٢}\frac{ع ى}{٢}}{\text{حا}^{٢}\frac{ى}{٢}}$. وشدة الاستضاءة تتغير تبعاً لتغير $ر^{٢}$ أيضاً . فاذا روعى هذا المقدار فى تقدير النهايات العظمى الابتدائية أمكن معرفة نسبة شدات الاستضاءة فى الاطياف ذات المراتب المختلفة بعضها الى الآخر . فاذا عدنا الى المقدار

$$ح = ر \frac{\text{حا}\frac{ع ى}{٢}}{\text{حا}\frac{ى}{٢}}$$

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

$$ر = ١ \frac{\text{حا}\, هـ}{هـ}$$

وباعتبار أن زاوية سقوط الضوء على المحزوز صفر يكون

$$هـ = \frac{ط}{ل} ١ \text{ حا } ع$$

فيكون

$$ر = ١ \frac{\text{حا}\frac{ط}{ل} ١ \text{ حا } ع}{\frac{ط}{ل} ١ \text{ حا } ع}$$

وعند النهايات العظمى الابتدائية يكون $(١ + ب) \text{ حا } ع = ن ل$

$$\therefore ر = ١ = \frac{\text{حا}\frac{ط}{ل} ١ \frac{ن ل}{ب + ١}}{\frac{ط}{ل} ١ \cdot \frac{ن ل}{ب + ١}} ١ = \frac{\text{حا}\frac{ط}{ب + ١} ١ ن}{\frac{ط}{ب + ١} ١ ن}$$

فاذا كانت قيمة كل من $١ ، ب$ معلومة وقدرت قيمة $ر$ هذه عند ما يكون $ن = ٠$ صفرا $، ١ ، ٢$ الخ فان نسب مربع هذه القيمات تدل بالترتيب على نسبة شدة الاستضاءة فى حالة الصورة المركزية الحادثة من غير حيود (حيث لا يكون بين الاشعة فرق ما فى المسير) الى شدتها فى الطيف ذى المرتبة الاولى الى شدتها فى الطيف ذى المرتبة الثانية وهكذا .

ومما تجب ملاحظته هنا أن هذه النسب لا تنطبق الا اذا اعتبرنا المحزوز فتحات فى حاجز

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

٢٧٢ — تشتت الضوء بوساطة المحزوز

تكوّن الاطياف ذات المراتب المختلفة بفعل المحزوز ، يعنى أن الضوء يتشتت بوساطته . ومن المعروف أنه كلما زاد البعد بين طرفى الطيف ، زاد تبعاً لذلك التشتت أو زاد تبعاً لذلك العامل الذى يحدث التشتت تشتيتاً للضوء ، فكلما زاد الفرق بين زاوية حيود الاشعة البنفسجية وبين زاوية حيود الاشعة الحمراء ، كان تشتيت المحزوز للضوء اكبر . وتعرف شدة تشتيت المحزوز للضوء بمعدل تغير زاوية الحيود بالنسبة الى الطول الموجى . فاذا رمز للطول الموجى بالحرف د ولزاوية الحيود بالحرف ع . واتبعت اصطلاحات التفاضل ، كانت شدة تشتيت المحزوز للضوء ، أو شدة تشتت الضوء بوساطة المحزوز مساوية $\frac{وع}{ود}$

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

$$د \, ن = ع \, حا \, (ب + ١)$$

$$\therefore \quad د \, ن \, وع = ع \, حتا \, ع \, وع \, (ب + ١)$$

$$\therefore \quad \frac{ن}{(ب + ١) \, حتا \, ع} = \frac{وع}{ود}$$

ويساوى هذا المقدار شدة التشتت . ومنه يتضح أن شدة التشتت تتناسب ومرتبة الطيف وتتناسب عكسيا والمقدار (١ + ب) . ومقلوب المقدار (١ + ب) يساوى عدد خطوط المحزوز فى وحدة الاطوال ، والمحزوزات تشمل فى العادة آلاف الخطوط فى السنتمتر الواحد ، فتكون شدة التشتت بفعل المحزوز كبيرة لا سيما فى الاطياف ذات المراتب العليا

واذا كانت زاوية الحيود ع صغيرة فان قيمة $\frac{\text{ع}}{\text{ن}}$ يمكن اعتبارها ثابتة . فيكون الانتقال فى الطيف بمقادير متساوية ، مقرونا بتغيرات متساوية فى الطول الموجى . ولكن نظراً لان زاوية الحيود فى الاطياف ذات المراتب العليا تكون كبيرة ، فشدة التشتت تزداد فى الحقيقة اذا انتقلنا فى الطيف من طرفه البنفسجى نحو الطرف الاحمر . ويترتب على ذلك أن يكون الطيف اكثر انبساطا لدى طرفه الاحمر منه لدى الطرف البنفسجى ومعنى ذلك أن موضعين فى الطيف الفرق فى الطول الموجى بينهما ثابت يكونان أقرب أحدهما الى الآخر عند الطرف البنفسجى ، وأبعد أحدهما عن الآخر عند الطرف الاحمر . أو بعكس ذلك اذا حددنا عند الطرف البنفسجى موضعين ثم حددنا عند الطرف الاحمر موضعين آخرين البعد بينهما كالبعد بين الاولين ، كان الفرق فى الطول الموجى بين الاولين اكبر من الفرق فى الطول الموجى بين الآخرين

ويلاحظ فى الاطياف الحادثة بفعل المحزوزات ، أنها فى المراتب العليا يتعدى بعضها على الآخر ، فيبتدىء الواحد قبل أن ينتهى الذى دونه فى المرتبة ، فيقع الطرف البنفسجى للاول داخل حدود الطيف الثانى ، ويتضح هذا لو تذكرنا أن الطول الموجى البنفسجى يكاد يكون نصف الطول الموجى الاحمر فيكاد يبتدىء الطيف ذو المرتبة الثانية حيث ينتهى الطيف ذوالمرتبة الاولى ، لان زاوية حيود الاحمر فى الطيف ذى المرتبة الاولى هى زاوية ع_1 فى المعادلة

$$(\text{ا} + \text{ب}) \text{ حا ع}_1 = \text{ن ع}$$

باعتبار أن ن ع رمز للطول الموجى الاحمر . وباعتبار أن الضوء سقط عمودياً على المحزوز . وزاوية حيود البنفسجى فى الطيف ذى المرتبة الثانية هى زاوية ع_2 فى المعادلة

$$(\text{ا} + \text{ب}) \text{ حا ع}_2 = 2 \text{ ن}_\text{ب}$$

باعتبار أن $\text{ن}_\text{ب}$ رمز للطول الموجى البنفسجى ، والضوء يسقط عموديا على المحزوز . فاذا كان $\text{ل}_\text{ع}$ يساوى تماما $2 \text{ ن}_\text{ب}$. كانت زاوية ع_1 مساوية زاوية ع_2 . ولكن لما كانت $\text{ل}_\text{ع}$ أقل قليلا من $2 \text{ ن}_\text{ب}$. فقيمة ع_1 من المعادلة الاولى أصغر من قيمة ع_2 فى الثانية . ولكن اذا راعينا الطيف ذا المرتبة الثانية والطيف ذا المرتبة الثالثة فزاوية حيود الاحمر من الاول تكون ع_1 فى المعادلة

$$(\text{ا} + \text{ب}) \text{ حا ع}_1 = 2 \text{ ل}_\text{ع}$$

وزاوية حيود البنفسجى من الثانى تكون $ع_{٢}$ فى المعادلة

$$(١ + ب)\ حا\ ع_{٢} = ٣\ ل_{ن}$$

$$\text{و}\quad ٢\ ل_{ع} > ٣\ ل_{ن}$$

واذن يبتدىء الطرف البنفسجى من الطيف ذى المرتبة الثالثة قبل أن ينتهى الطيف ذو المرتبة الثانية .

٢٧٣ الاطياف المفقودة وأخيلة الاطياف

قد يحدث فى بعض المحزوزات ، أن يفتقد بعض الأطياف فلا يوجد له أثر ويسمى الطيف « الطيف المفقود »[١] . وفقدان الطيف فى 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 فى بند (٢٦٦) أن شرط زوال محصلة الاهتزازة الحادثة بفعل الفتحة المفردة أن يكون فرق المسير بين الشعاعين المتوازيين من طرفيها مساوياً الطول الموجى أو أضعافه . أى أن يكون

$$١\ (حا\ ع \pm حا\ و) = ٢\ ن$$

حيث يكون ن عدداً أياً كان

وشرط حدوث الطيف ذى المرتبة النونية أن يكون

$$(١ + ب)(حا\ ع \pm حا\ و) = ٢\ ن$$

فاذا توافر الشرطان معاً فالطيف المعنى فى المعادلة الثانية يكون مفقوداً

وقد يرى اذا كان الضوء شديداً أطياف ضئيلة تغشى الاطياف الاصلية . بحيث اذا نظر الى خط طيفى يرى الخط مصحوباً بخطوط ضئيلة تحف به من الجانبين . ودرس « رولند »[٢] حقيقة هذه الاطياف وتسمى « أخيلة طيفية »[٣] . وعللها أنها نتيجة خطل فى الآلة التى

---

(١) Lost Spectrum (٢) Rowland (٣) Ghost spectra

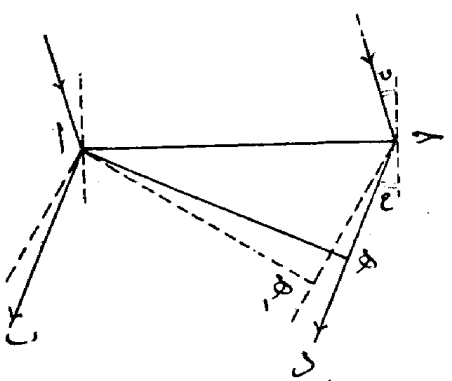
تستعمل لتخطيط المحزوز يحدث من جرائه عيوب دورية تتكرر على سطح المحزوز . فاذا فرضنا مثلا أن آلة التخطيط تخط خطاً زائداً فى فترات متساوية ، كانت خطوط المحزوز كلها موزعة بانتظام ، لولا هذا الخط الزائد المتكرر على أبعاد متساوية على سطح المحزوز . وتكرره بهذه الكيفية يقسم سطح المحزوز أقساما متساوية تعمل عمل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

٢٧٤ – شدة تحليل المحزوز للضوء

الخطوط الطيفية التى ترى فى الطيف مهما كانت دقيقة رفيعة فانها لا تكون خطوطا هندسية لا سمك لها بل فى الحقيقة يمتد الواحد منها من الجانبين الى مدى معلوم . ويتضح هذا من شكل (٢٣٥) حيث يرى أن شدة الاستضاءة تبلغ نهايتها العظمى الابتدائيـــة فى مواضع معينة ولكن الضياء يمتد من جانبي النهاية العظمى الى مدى معين قبل ان يعدم . والخط الطيفى للطول الموجى ن يقع حيث تكون زاوية الحيود ع طبقا للمعادلة

$$(ا + ب)(حا ع \pm حا ن) = ن \quad \ldots (١)$$

فاذا فرضنا أن ا ح (شكل ٢٣٦) عرض المحزوز وأن الحزمة ا ب حـ د التى تصنع مع العمود على المحزوز زاوية قدرها ع هى التى يتكون من تجمعها الخط الطيفى المذكور كان المقدار (١) دالا على فرق المسير بين أى شعاع من احدى الفتحات والشعاع المقابل له من الفتحة التى تليها فاذا رمزنا لعدد خطوط المحزوز بالحرف ع . كان فرق المسير بين الشعاع ا ب من أحد طرفى المحزوز وبين الشعاع حـ د من الطرف الآخر له هو



(شكل ٢٣٦)

$$ع(ا + ب)(حا ع \pm حا ن) = ع ن \quad \ldots (٢)$$

فاذا زادت زاوية الحيود ع بمقدار صغير . زاد تبعا لذلك فرق المسير بين هذين الشعاعين فاذا زادت زاوية الحيود بمقدار نرمز له بالرمز Δ ع بحيث يزداد الفرق فى المسير بمقدار ن فان

$$ع(١ + ب)[حا(ع + \Delta ع) \pm حا ع] = ع^{٢} ل + ل \quad \ldots (٣)$$

ولكن زيادة فرق المسير بمقدار ل يؤدى الى حدوث ظلمة كما يتضح اذا قسمنا المحزوز نصفين اذ يكون قد حدث فرق فى المسير بين الشعاع من مبدىء أحد النصفين والشعاع من مبدىء الثانى قدره $\frac{١}{٢}$ ل . وكذلك بين أى شعاع من أحد النصفين وبين الشعاع المقابل له من الآخر . فاذا كانت هـذه الاشعة يحدث من تجمعها ضياء شديد من قبل فانها الآن تتداخل ويحدث من تداخلها ظلمة . واذن نرى أن الضياء الشديد الذى يتعين موضعه بقيمة ع فى المعادلة (١) يمتد من أحد الجانبين امتداداً زاوياً قدره Δ ع طبقا للمعادلة (٣) . ونظراً لان قيمة Δ ع صغيرة ينتج من المعادلة (٣) أن

$$ع(١ + ب)(حا ع + \Delta ع \text{ حتا } ع \pm حا ع) = ع^{٢} ل + ل \quad \ldots (٤)$$

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

$$ع \Delta ع (١ + ب) \text{ حتا } ع = ل$$

$$\therefore \Delta ع = \frac{ل}{ع(١ + ب) \text{ حتا } ع}$$

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

$$\frac{٢ ل}{ع(١ + ب) \text{ حتا } ع}$$

وقد سبق فى شدة التشتت أن

$$\frac{د ع}{د ل} = \frac{٢}{(١ + ب) \text{ حتا } ع}$$

$$\text{أى } د ع = \frac{٢ د ل}{(١ + ب) \text{ حتا } ع}$$

ومعنى هذه المعادلة أنه اذا وجد خطان طيفيان ، الطول الموجى لاحدهما ل وللاخر ل + د ل فان البعد الزاوى بينهما يكون مساوياً

$$\frac{٢ د ل}{(١ + ب) \text{ حتا } ع}$$

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

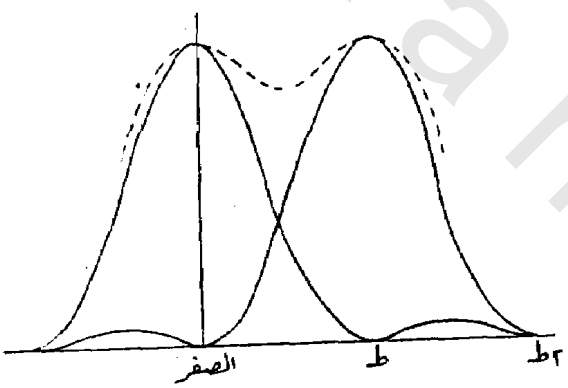
$$\frac{\text{ن ع ل}}{\text{ع (ا + ب) جتا ع}} = \frac{\text{ل ٢}}{\text{(+ ب) جتا ع}}$$

$$\therefore \frac{\text{ل}}{\text{ن ل}} = \frac{1}{2} \text{ن ع} \quad \ldots\ldots\ldots (٥)$$

ويسمى المقدار $\frac{\text{ل}}{\text{ن ل}}$ شدة تحليل المحزوز للضوء [1] ، أو شدة تحلل الضوء بوساطة المحزوز ويتضح من المعادلة (٥) أنها تتناسب ومرتبة الطيف وتتناسب أيضا وعدد خطوط المحزوز .

وقد بين « اللورد رايلى » أنه يكفى للحكم بانفصال الخطين الطيفيين أن يكون البعد الزاوى بين الخطين مساويا نصف الامتداد الزاوى لمنطقة الضياء فى الواحد منهما .

ويتضح هـذا من شكل (٢٣٧) . فاذا وقع منتصف المنطقة المضيئة فى أحد الضوءين عند موضع امحاء ضـوء الآخر ، وقدرت شـدة الاستضاءة بجمع الاحداثيات الرأسـية ، كان المنحنى المتقطع دالا على تغير شدة الاستضاءة فلو أن الخطين لا يظهـــران 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 $\frac{1}{2}$ ن ع ل كما تقدم وانما تساوى ن ع ل



(شكل ٢٣٧)

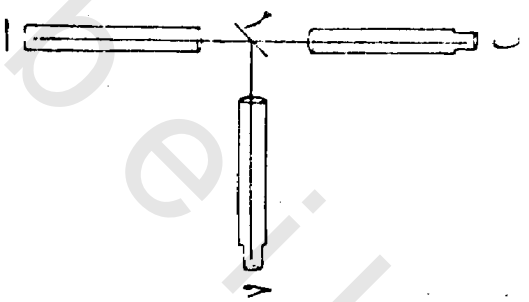
٢٧٥ – تطبيق محزوز الحيود المنفذ لايجاد الطول الموجى

لتطبيق محزوز الحيود المنفذ لايجاد الطول الموجى يهيـأ سبكترسكوب للاستعمال بالكيفية المبينة ببند (١٠٧) وتضاء فتحته بالضوء المراد ايجاد طوله الموجى . ثم يوضع محزوز الحيود على

---

(١) Resolving Power

قاعدة الجهاز بحيث تكون خطوطه رأسية وبحيث يكون مستواه عمودياً على الاشعة الواقعة عليه من المجمع . ولتهيئة المحزوز فى هذا الوضع يجعل التلسكوب بحيث يكون محوره على استقامة محور المجمع . 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 على الدائرة المدرجة ويدار التلسكوب بمقدار قائمة الى الوضع حـ ، ويثبت فى هذا الوضع . ثم يؤتى بالمحزوز ويوضع مكانه على القاعدة ويهيأ فى الوضع المبين بالشكل عند مـ ، حتى ينعكس الضوء عن سطحه نحو التلسكوب . وتتكون صورة للفتحة ترى منطبقة على الخيط الرأسى أو على نقطة تقاطع الخيطين والتلسكوب فى مكانه عند حـ لم يبرحه . فى هذه الحالة تكون الزاوية بين مستوى المحزوز والاشعة المتوازية الواقعة عليه من المجمع هى ٤٥ درجة . فاذا أديرت القاعدة الموضوع عليها المحزوز بمقدار ٤٥ درجة فى الاتجاه المناسب أخذ المحزوز الوضع المطلوب بحيث يقع عليه ضوء المجمع عمودياً على سطحه



(شكل ٢٣٨)

وعند ما يتم تهيئة المحزوز فى هـذا الوضع تثبت القاعدة فلا تحرك فى أثناء التجربة . ويعاد التلسكوب الى الوضع ب ، ثم يدار قليلا قليلا فى احدى الجهتين مع استمرار النظر خلاله حتى يظهر الطيف ذو المرتبة الأولى . ويرى الخط الطيفى المراد ايجاد طوله الموجى . ويهيأ التلسكوب حتى ينطبق هـذا الخط على الخيط الرأسى أو نقطة تقاطع الخيطين فى العينيـة ، 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 ه فى المعادلة

$$(١ + ن)\ \text{جا}\ ه = ل$$

وهى التى تستخرج منها قيمة الطول الموجى ل ، حيث يلاحظ أن المقدار (١ + ن) هو مقلوب عدد الخطوط التى يشملها السنتيمتر الواحد من طول المحزوز

وتعاد هذه العملية بالنسبة الى الطيف ذى المرتبة الثانية حيث يكون

$$(ا + ب)\ حا\ ع = ٢\ ل$$

ويلاحظ فى اجراء هـذه 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 لـكل منهما على حدته من غير خلط بينهما

٢٧٦ — طريقة أخرى لتطبيق محزوز الحيود المنفذ لايجاد الطول الموجى

اذا 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 فى وضع خاص . ومن شكل (٢٣٣) يتضح أن زاوية انحراف الأشعة عن مسيرها الأول هى

$$ه = ع \pm ن$$

فعند النهاية يجب أن يكون

$$و ه = و ع \pm و ن = \text{صفراً} \quad . . . . . \quad (١)$$

ولما كان

$$(ا + ب)(حا\ ع \pm حا\ ن) = ٢\ ل$$

$$\therefore\ (ا + ب)\ حتا\ ع\ و ع \pm (ا + ب)\ جتا\ ن\ و ن = \text{صفراً} \quad . . . . \quad (٢)$$

ومن المعادلتين (١) ، (٢) ينتج أن

$$حتا\ ع = حتا\ ن$$

$$\therefore\ ع = ن$$

حيث يلاحظ أن كلا منهما لا يتجاوز القائمة

فزاوية أنحراف الأشعة الحائدة تبلغ نهايتها الصغرى [١] عند ما تكون زاوية السقوط

---

(١) يمكن اثبات أنها نهاية صغرى بالطريقة المعتادة

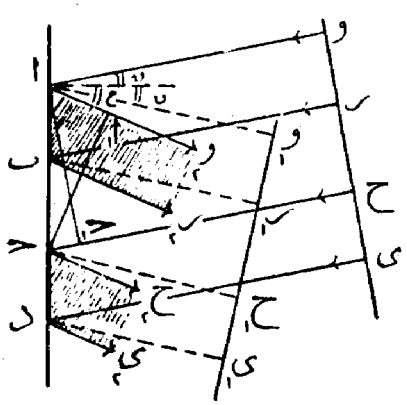
مساوية زاوية الحيود . ونظراً لأن الحالة التى تكون فيها الاشارة فى المعادلة (٢) سالبة ، يكون فيها الانحراف صفراً نقتصر على الحالة التى تكون فيها الاشارة موجبة . فاذا وضع المحزوز على قاعدة السبكترسكوب وهيئ بحيث يرى الطيف ذو المرتبة الاولى ، ثم أديرت القاعدة فى الاتجاه المناسب بحيث تقل زاوية انحراف الاشعة الحائدة ، وهيئ الجهاز بحيث يرى هذا الطيف وزاوية الانحراف عند نهايتها الصغرى ، وقيست زاوية الحيود فى هذه الحالة ، أمكن استخراج قيمة ن من المعادلة

$$٢ (ا + ب) \text{ حا } ع = ن$$

وتكون زاوية الحيود ع هى نصف الزاوية الواقعة بين امتداد الاشعة الساقطة و بين الأشعة الحائدة فى هذه الحالة

٢٧٧ – المحزوز المستوى العاكس

وقد يستعمل بدلا من المحزوز المستوى المنفذ محزوز عاكس . فيخطط سطح معدنى مستوى بخطوط مستقيمة متوازية دقيقة . فاذا فرضنا كما سبق أن خطوط المحزوز متساوية السمك متساوية الابعاد وفرضنا أن ا ب ح د الخ شكل (٢٣٩) تمثل الأجزاء غير المخدوشة . وهى التى ينعكس عنها الضوء ، وما بينها يمثل ما نعتبره هنا بمثابة أجزاء سوداء غير عاكسة ، وفرضنا أن موجة ذات طول موجى معين ، صدرها مستوى مثل و ر ح ى تقع على سطح المحزوز بزاوية سقوط قدرها ن ، فان الحزم المتوازية التى تنعكس بحيث تكون زاوية السقوط مساوية زاوية الانعكاس كالحزمة ا و ، ب ر ، لا يكون بين أشعتها بعضها والآخر فرق فى المسير ، فاذا لمت بوساطة العدسة اللامة فى مستواها البؤرى حدث من تجمعها ضياء . ويكون هذا الضياء المركزى أما الحزمة المتوازية التى تحيد بزاوية ع لا تساوى ن كالحزمة ا و ، ب ر ، أو ح ر ، د ى ، ، فانه يحدث من تجمعها ضياء أو ظلمة تبعا لفرق المسير



(شكل ٢٣٩)

بينها . فاذا أسقطنا من ا العمود ا ح$_{١}$ على ح ح ومن ح العمود ح ا$_{١}$ على ا و$_{٢}$ ، اتضح أن فرق المسير بين ا و$_{٢}$ ، ح ح$_{٢}$ يكون مساوياً

(ا + ب) (حا ه − حا ع) باعتبار أن ا رمز للبعد ا ب ، ب رمز للبعد ب ح ، ولما كان فى الامكان أن تحيد الاشعة فى الجانب الآخر من العمود يكون فرق المسير بوجه عام مساوياً

$$(ا + ب) (حا ه \mp حا ع)$$

واذن شرط حدوث الضياء أن يكون

$$(ا + ب) (حا ه \mp حا ع) = ن ه$$

ولكن استعمال المحزوز العاكس فى جهاز سبكترسكوب كما يستعمل المحزوز المنفذ حيث يلاحظ أن الصورة المركزية حيث لا يكون فرق ما فى المسير بين الاشعة تتكون من تجمع الأشعة التى تنعكس منقادة لقانونى الانعكاس . واذا كان الضوء أبيض تكون هذه الصورة لا لونية . ويكون على جانبيها الأطياف ذات المراتب المختلفة

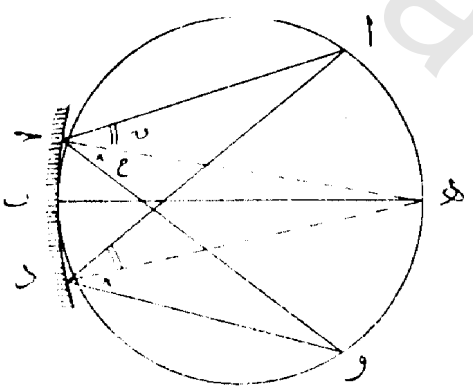
ونظراً لسهولة تخطيط السطوح المعدنية بخطوط متوازية ، اذا قيس ذلك بتخطيط الألواح الزجاجية ، فان المحزوزات المعدنية العاكسة تفضل أحياناً على الزجاجية المنفذة . ولكن من اكبر عيوبها أن أقل تغيير فى درجة الحرارة قد يحدث فى أثناء التخطيط يؤدى الى عدم انتظام توزع الخطوط

وتحدث ظواهر حيود شبيهة بالتى تحدث بفعل المحزوز العاكس عند وقوع الضوء على السطوح المشطبة شطباً دقيقة متقاربة . ومن هذه السطوح ما يوجد فى الطبيعة كسطوح الاصداف . فهى ذات تعاريج دقيقة تجعلها كأنها مخططة بخطوط رفيعة متقاربة . فيحدث عن حيود الضوء بفعلها الالوان المختلفة التى تشاهد على سطوح الاصداف . وقد يكفى أحياناً امرار الأصبع وقد بلل قليلا بالشهق عليه ، على سطح لوح من الزجاج أو على سطح معدنى مصقول ، لكى تبدى ألوان تحدث عن الحيود بفعل الخطوط الدقيقة التى رسم عليه

٢٧٨ – المحزوز الكرى العاكس – شرح أولى لعمله

المحزوز الكرى العاكس هو محزوز اخترعه « رولند » ويعرف بالمحزوز المقعر لرولند(١) ويتركب من سطح كرى مقعر قد خطط بخطوط متوازية هى مواضع تقابل السطح المقعر بمستويات متوازية متساوية الابعاد يمر المستوى الأوسط منها بمركز تكور السطح. ولهذا المحزوز ميزات سيأتى ذكرها فيما بعد

ولبيان نظرية هذا المحزوز نفرض أن حـ د (شكل ٢٤٠) يمثل سطح المحزوز ولتكن نقطة ب منتصفه ونقطة هـ مركز تكوره ، ولنفرض أن اتساع سطح المحزوز صغير بالنسبة الى طول نصف قطر تكوره. نرسم الدائرة ا هـ و ب التى قطرها هـ ب هو نصف قطر تكور المحزوز والتى تلمس سطح المحزوز فى نقطة ب ولنفرض أن نقطة ما مثل ا على محيط هـذه الدائرة نقطة مضيئة يصدر منها ضوء ذو لون واحد . نرسم الشعاعين ا حـ ، ا د الساقطين على سطح المحزوز. فنظراً لأن سطح المحزوز صغير فالنقطتان حـ ، د متقاربتان. وكل منهما قريبة من نقطة ب . واذن يمكن اعتبارهما واقعتين على محيط الدائرة ا هـ و ب . فتكون زاوية ا حـ هـ مساوية زاوية ا د هـ . فتكون زاوية السقوط واحدة للشعاعين . واذا فرضنا أن حـ و شعاع يحيد بزاوية ما ويقطع محيط الدائرة فى نقطة و . ووصلنا و د فنظراً لأن زاوية هـ حـ و مساوية زاوية هـ د و كان د و مسير شعاع حائد وزاوية حيوده مساوية زاوية حيود الشعاع حـ و



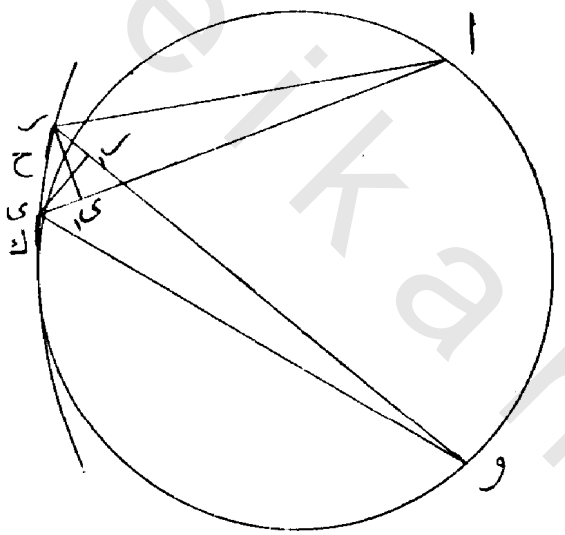
(شكل ٢٤٠)

واذن تكون زاويتا سقوط الشعاعين الساقطين على سطح المحزوز من نقطة مثل ا على محيط الدائرة متساويتين ويكون الشعاعان الحائدان من طرفى المحزوز بزاويتين متساويتين متقاطعين

(١) Rowland's Concave Grating

فى نقطة مثل و على محيط الدائرة . وهذا ينطبق أينما كان موضع كل من نقطتى حـ ى د مادام اتساع المحزوز صغيراً ، واذن تكون زاوية سقوط جميع الأشعة التى فى مستوى الورقة وتسقط على المحزوز من نقطة مثل ا على محيط الدائرة تكون زاوية السقوط واحدة لها جميعاً ، كذلك فان جميع الأشعة التى تحيد بزاوية حيود واحدة ، وتكون فى مستوى الورقة تتجمع فى نقطة مثل و على محيط الدائرة أيضاً

ويكون موضع تجمع الاشعة الحائدة موضع ضياء أو ظلمة تبعاً لفرق المسير بينها . فاذا فرضنا فى شكل (٢٤١) أن ر ح يمثل عرض أحد الاجزاء العاكسة من سطح المحزوز ، حـ ى ك يمثل عرض الجزء العاكس الذى يليه حـ ح ى يمثل عرض الجزء غير العاكس المحصور بينهما وكان ر و شعاعاً حائداً من مبدىء الجزء العاكس الاول حـ ى و شعاعاً حائداً من مبدىء الجزء العاكس الذى يليه .



(شكل ٢٤١)

وأسقطنا من ر العمود ر ى١ على الشعاع الساقط ا ى. ومن ى العمود ى ر١ على الشعاع الحائد ر و كان فرق المسير بين الشعاعين الحائدين مساوياً

$$ى ى_{١} - ر ر_{١}$$

ونظراً لان زاويتى السقوط عند ر حـ ى واحدة ، وزاويتى الحيود عندهما واحدة أيضاً فبالرمز للاولى بالحرف ن وللثانية بالحرف ع . ولسمك الجزء العاكس ر ح بالحرف ا ولسمك الجزء غير العاكس ح ى بالحرف ب . يمكن بسهولة بيان أن

$$ى ى_{١} - ر ر_{١} = (ا + ب)(جا ن - جا ع)$$

واذن شرط حدوث الضياء عند و أن يكون

$$(ا + ب)(جا ن - جا ع) = ن ن$$

ونظراً لانه اذا كانت نقطة و فى الجانب الآخر من نقطة ه يكون فرق المسير

$$(ا + ب)(حا ن + حا ع)$$

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

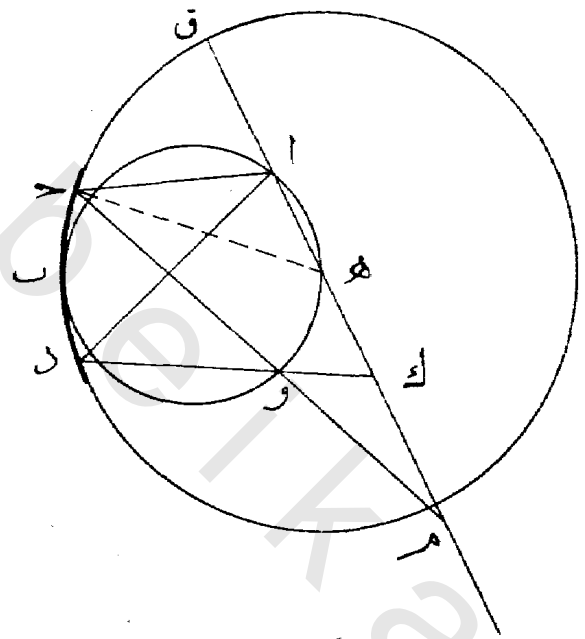
$$(ا + ب)\ (حا ن = حا ع) = ن ق$$

فاذا كانت نقطة ا نقطه ثابتة على محيط الدائرة كانت زاوية ن ثابتة أيضاً ، فتتكون على محيط الدائرة حيث تبلغ ع القيمة التى يتوافر بها شرط المعادلة المذكورة مواضع ضياء ، حيث يلاحظ أنه فى حالة ما تكون قيمة ق صفراً ، يكون فرق المسير معدوماً ، فيكون الضياء الحادث هو الصورة التى 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 التى تتكون حيث يعدم فرق المسير

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

وقد اقتصرنا فى الشرح السابق على الاشعة الموجودة فى مستوى الورقة ، والحقيقة أن الاشعة التى تسقط من نقطة ا حزمة مخروطية الشكل . ولبيان ما يحدث عند مراعاة الحزمة المخروطية نسترشد بما سبق بيانه فى بند (١٤٦) . فالاشعة التى تسقط من ا على سطح المحزوز تسقط بزاوية سقوط كبيرة . فاذا راعينا حالة ما يكون فرق المسير معدوماً وهى الحالة التى تكون فيها الاشعة الحائدة هى الاشعة المنعكسة الانعكاس المعتاد ، فان الحزمة المنعكسة عن السطح تكون حزمة لا نقطية تمر بخطين بؤريين أحدهما (وهو المار بالنقطة التى تمثلها نقطة و) عمودى على مستوى الورقة ، والآخر واقع فى مستواها . وشكل (٢٤٢) يوضح هذا . ففيه الشعاع الذى يسقط من نقطة ا عمودياً على السطح الكرى الذى يعتبر سطح المحزوز جزءاً منه ، هو الشعاع ه ا الذى نقطة سقوطه على السطح هى 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 فى

مستوى الورقة بعد الانعكاس فى نقطة وأدير الشكل كله حول المحور هـ ق بزاوية صغيرة تكون من دوران حـ ب د سطح المحزوز العاكس ، ومن دوران احد الحزمة المخروطية الساقطة عليه ومن دوران نقطة و الخط البؤرى الاول العمودى على مستوى الورقة ، ويكون مـ ك هو ما سبق أن سميناه الخط البؤرى الثانى .

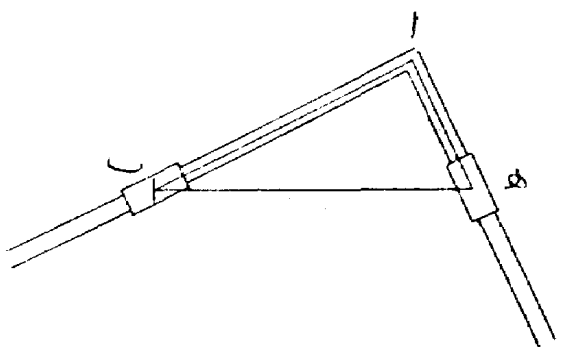


(شكل ٢٤٢)

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 ا ب ، ا هـ (شكل ٢٤٣) مثبت عليهما قضيبان تزلق عليهما عجلات تحمل أنبوبة من الحديد ب هـ طولها يساوى نصف قطر تكور المحزوز ، والمحزوز مثبت عنـد أحد طرفى الانبوبة وليكن الطرف ب بحيث تكون



(شكل ٢٤٣)

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

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

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

$$(١ + ب) \text{حا } و = ن$$

حيث يلاحظ أن و هى زاوية السقوط وتساوى زاوية ا ب هـ . فاذا أضيئت الفتحة بضوء ذى لون واحد وأخذت الانبوبة ب هـ تزلق على ضلعى القائمة بحيث تزداد زاوية و من الصفر بالتدريج حتى تبلغ القيمة التى يتوافر بها شرط المعادلة

$$(١ + ب) \text{حا } و = ن$$

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

$$(١ + ب) \text{حا } و = ٢ ن$$

ظهر الخط الطيفى ذو المرتبة الثانية عند الطرف نفسه للانبوبة ، وهكذا . ويمكن رؤية الخطوط الطيفية رأساً ، بالنظر خلال القطعة العينية الموضوعة عند هـ ولما كان $\frac{\text{ا}}{\text{ب هـ}}$ يساوى حا و وكان المقدار حا و متناسبا والطول الموجى يتبين ان بعد هـ عن ا حين يرى خط طيفى يتناسب والطول الموجى لهذا الخط . كما أن هذا البعد للخط الواحد فى الاطياف ذات المراتب المختلفة يتناسب ومرتبة الطيف . كذلك يمكن تدريج الذراع ا هـ بحيث يدل موضع العينية حين يرى اى خط طيفى ، على الطول الموجى لهذا الخط . ويلاحظ أن البعد بين أى خطين طيفيين (مقيساً على امتداد ا هـ) 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]

---

(١) Normal Spectrum

ولتصوير الطيف يستبدل بالعينية لوح فتوغرافى مثنى على شكل قوس من الدائرة التى قطرها يساوى نصف قطر المحزوز ويهيأ الطرف ه للانبوبة بحيث يتكون عنده الجزء المراد تصويره من الطيف . ويعرض عندئذ اللوح الفتوغرافى . واذا كان الطيف المراد تصويره طويل الامتداد كالطيف الشمسى مثلا فانه يصور أجزاء كل جزء منها على حدته ، ثم تضم هذه الاجزاء بعضها الى الآخر لكى يمكن الحصول على صورة الطيف بتمامه والاطياف المصورة بهذه الكيفية تكون أطيافا عيارية أيضاً

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

ويصنع المحزوز عادة بحيث يكون نصف قطر تكوره حوالى ٢١ قدماً ونصف قدم وبحيث يحتوى على عشرة آلاف خط أو عشرين الف خط فى البوصة

ومن اكثر مزايا المحزوز المقعر امكان تطبيقه لقياس الأطوال الموجية فى الأجزاء المـا بعد البنفسجية أو المـا قبل الحمراء من الطيف ، وفى حالة الأشعة المـا قبل الحمراء يستبدل بالقطعة العينية أو باللوح الفتوغرافى ترموبيل حساس أو بلومتر[1] يستدل به على الاشعاع

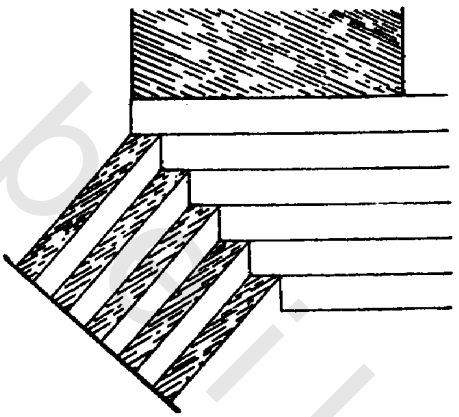
٢٨٠ — الاشلون — الـكتيبة المدرجة

تبين فى بند (٢٧٤) ان شدة تحليل المحزوز للضوء تتناسب وعدد الخطوط وتتناسب أيضاً ومرتبة الطيف . والاسترسال فى مضاعفة عدد الخطوط دونه عقبات عملية ليس من السهل التغلب عليها . وشدة الاستضاءة فى 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 جدا وتكون شدة تحليله للضوء كبيرة جداً . والجهاز يتركب من عدة ألواح من الزجاج قد عنى

(١) أنظر الباب الرابع عشر

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



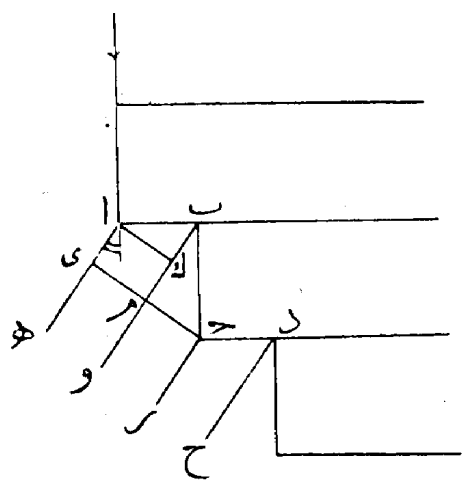
(شكل ٢٤٤)

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

فاذا راعينا حزمتين متجاورتين من الاشعة الحائدة كالحزمتين اهـ ب و ، حـ ردح (شكل ٢٤٥) ، وأسقطنا من حـ العمود حـ ى على اهـ ، قاطعاً ب و فى نقطة مـ اتضح أن فرق المسير بين الشعاع اهـ والشعاع حـ ر يساوى التخلف الحادث من جراء اختراق الضوء سمكا من الزجاج قدره ب حـ منقوصاً منه التخلف الحادث من مسير الضوء فى الهواء مسافة ا ى

فاذا رمزنا لسمك اللوح ب حـ بالحرف ص ولمعامل انكسار الضوء فى مادة اللوح بالحرف م ، فان مسير الضوء مسافة قدرها ص فى الزجاج يعادل مسيره مسافة قدرها م ص فى الهواء ، واذن يكون فرق المسير بين الشعاعين (مقيساً فى الهواء) هو

م ص ــ ا ى



(شكل ٢٤٥)

ويساوى هذا فرق المسير بين الشعاعين ب و ، د حـ 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 البؤرى للعدسة

---

(١) The Echelon

اللامة التى تستخدم لهذه الغاية . فاذا رمزنا لزاوية الحيود كالزاوية حـ ب مـ بالحرف ع ولاتساع الدرجة فى الاشلون أى للبعد ا ب أو خ د بالحرف ص وأسقطنا من ا العمود ا ك على ب و ، يتضح من الشكل أن

$$\overline{\text{ا ى}} = \overline{\text{ك مـ}}$$

وبما أن $\overline{\text{ب مـ}} = \text{ص حتا ع}$

و $\quad \text{ب ك} = \text{ص حا ع}$

اذن $\overline{\text{ك م}} = \text{ص حتا ع} - \text{ص حا ع} = \overline{\text{ا ى}}$

فيكون فرق المسير بين الشعاعين المذكورين مساوياً

$$\text{م ص} - \text{ص حتا ع} + \text{ص حا ع}$$

واذن شرط حدوث الضياء أن يكون

$$\text{م ص} - \text{ص حتا ع} + \text{ص حا ع} = \text{ن} \lambda \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (١)$$

وفرق المسير مقدار كبير اذا قيس بالطول الموجى فمثلا اذا راعينا حالة ما تكون زاوية الحيود صفراً ففرق المسير يكون مساوياً ص (م — ١) . فاذا اعتبرنا أن سمك اللوح سنتمتر واحد ومعامل انكسار الضوء فيه ١,٥ فان هـذا الفرق فى المسير يساوى نصف سنتمتر ، فاذا اعتبرنا متوسط الطول الموجى ٠,٠٠٠٠٥ من السنتمتر ، 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 عند ما تكون زاوية ع صفراً ويكون الطيف الحادث فى هذه الحالة هو أول طيف يتكون . ولأن الجزء الاكبر من الضوء ينفذ فى استقامة الاشعة الساقطة على الأشلون ، فان شدة الاستضاءة فى هذا الطيف تكون كبيرة

ولاستعمال الاشلون ، يستخدم سبكترسكوب يهيأ للاستعمال كالمعتاد . ويوضع الأشلون على القاعدة المعدة لحمل المنشور ، ويهيأ الجهاز بحيث تقع الأشعة المتوازية الخارجة من المجمع (وقد اضيئت فتحته الرأسية بضوء ذى لون واحد) عموديا على الاشلون كما هو مبين بشكل (٢٤٤)

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

$$ن_١ ل_١ = ن ل$$

حيث يكون $ل_١$ طولا موجياً آخر . واذن يظهر الطيف ذو المرتبة النونية للضوء ذى الطول الموجى $ل$ واقعاً على الطيف ذى المرتبة $ن_١$ للضوء ذى الطول الموجى $ل_١$ ، فما لم يكن الضوء بسيطاً جداً ، اختلطت الأطياف ذات المراتب المختلفة التى تتكون للاضواء ذات الاطوال الموجية المختلفة بعضها بالاخر . ومن أجل هذا لا يصلح الاشلون الا لدراسة امكان تحليل الاضواء البسيطة جداً ، أى للبحث فى حقيقة أحادية الخطوط الطيفية ، ويصلح لدراسة ظاهرة هامة سيأتى ذكرها فى موضع آخر من الكتاب [١] . ويستعمل مع الاشلون فى العادة منشور يفضل أن يكون مشتتاً غير حارف . ويمكن وضعه بين الاشلون وبين التلسكوب . فالخطوط الطيفية التى 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 تشتيت الاشلون وشدة تحليله للضوء

يمكن ايجاد شدة التشتيت وشدة التحليل بالكيفية التى سبق اتباعها فالمعادلة (١) فى البند السابق تتحول الى الصورة الآتية اذا كانت زاوية الحيود ح صغيرة . وهى

$$م ن = ح س + (١ - م) ص \quad \ldots \quad (١)$$

فباجراء عملية التفاضل بالنسبة الى ل ، ونظراً لأن معامل الانكسار م يتغير بتغير الطول الموجى ينتج أن

$$ن = \frac{ح}{ل} س + م \frac{ح}{ل} س$$

$$\therefore \frac{ح}{ل} س = \frac{١}{م} (ن - م \frac{ح}{ل} س) \quad \ldots \quad (٢)$$

وقد سبق أن فرق المسير عند ماتكون قيمة ح صفراً ، يساوى (م – ١) ص ، ومرتبة الطيف

---

(١) هى ظاهرة زيمن (الباب الرابع عشر)

فى هذه الحالة هى $\left(\frac{م - ١}{ل}\right)^{ص}$. ويمكن اعتبار قيمة ن فى المعادلة (٢) مساوية هذا المقدار نظراً لصغر زاوية الحيود . فبالتعويض فى المعادلة (٢) ينتج أن

$$\frac{ؤ_ع}{ؤ_ل} = \frac{ص}{س}\left(\frac{م - ١}{ل} - \frac{ؤ_م}{ؤ_ل}\right)$$

$$= \frac{ص}{س_ل}(م - ١ - ل\frac{ؤ_م}{ؤ_ل}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

وبالرمز للمقدار المحصور بين القوسين بالحرف ا ، تكون شدة تشتيت الاشلون للضوء هى

$$\frac{ؤ_ع}{ؤ_ل} = ا\,\frac{ص}{س_ل} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٤)$$

ومن هذه المعادلة يتضح أنه اذا وجد طولان موجيان ل ، ل + ؤ ل ، فالانفصال الزاوى بين خطيهما فى الطيف هو

$$ؤ_ع = ا\,\frac{ص}{س}\frac{ؤ_ل}{ل} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٥)$$

ولايجاد شدة التحليل ، نفرض أن عدد ألواح الاشلون ع . فاذا ضربنا طرفى المعادلة (١) فى ع ينتج أن

$$ع_س(م - ١) + ع_س = ع_س\,ل\,ن \quad \ldots\ldots\ldots (٦)$$

ويساوى هذا الفرق فى المسير بين أى شعاع من أول درجة من درجات الاشلون وبين الشعاع المقابل له من الدرجة الاخيرة عند حدوث الطيف . فاذا زادت زاوية الحيود ع بمقدار صغير △ ع بحيث يكون

$$ع_س(م - ١) + ع_س(ع + △ ع) = ع_س\,ل\,ن + ل \quad \ldots (٧)$$

عدم الضياء ، كما تبين فى بند (٢٧٤) . واذن يكون △ ع المدى الزاوى الذى يمتد اليه ضياء الخط الطيفى من أحد جانبيه . وبطرح المعادلة (٦) من المعادلة (٧) ينتج أن

$$ع_س △ ع = ل$$

$$\therefore \quad △ ع = \frac{ل}{ع_س} \quad \ldots\ldots\ldots (٨)$$

فيكون المدى الزاوى الذى يمتد اليه الضياء من جانبيه مساوياً $\frac{٢\,ل}{ع_س}$. فلكى يرى الخطان الطيفيان ل ، ل + ؤ ل منفصلين يجب أن يكون الانفصال الزاوى بينهما وهو المقدار ؤ ع فى المعادلة (٥) ، مساوياً على الاقل المدى الذى يمتد اليه الضياء من الجانبين ، فيكون

$$\frac{\text{ا}_{\text{ص}}}{\text{ا}_{\text{س}}} \frac{\text{ع}_{\text{ص}}}{\text{ع}_{\text{س}}} = \frac{\text{ل}_{\text{ص}}}{\text{ل}_{\text{س}}}^{٢}$$

$$\therefore \quad \frac{\text{ع}_{\text{ص}}}{\text{ل}} = \frac{١}{٢} \frac{\text{ا}_{\text{ع}_{\text{ص}}}}{\text{ل}}$$

ويكون هذا مساوياً شدة التحليل

أو وفقاً لفكرة « رايلى » وهى التى سبق توضيحها فى نهاية بند (٢٧٤) ، تكون شدة التحليل

$$\frac{\text{ع}_{\text{ص}}}{\text{ل}} = \frac{\text{ا}_{\text{ع}_{\text{ص}}}}{\text{ل}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٩)$$

وبما أن $\quad ١ = (\text{م} - ١ - \text{ن} \frac{\text{ع}_{\text{م}}}{\text{ع}_{\text{ل}}})$

$$\text{ق}_{\text{ص}} = \frac{\text{ن}_{\text{ل}}}{\text{م} - ١}$$

ينتج بالتعويض فى المعادلة (٩) أن شدة التحليل

$$\frac{\text{ع}_{\text{ل}}}{\text{ل}} = \text{ع}_{\text{ن}} \frac{\text{م} - ١ - \text{ن} \frac{\text{ع}_{\text{م}}}{\text{ع}_{\text{ل}}}}{\text{م} - ١}$$

$$= \text{ع}_{\text{ن}} \text{ بالتقريب}$$

٢٨٢ — عدد الأطياف التى تتكون عادة بفعل الاشلون

مما يلاحظ بصفة خاصة فى الأشلون أنه يرى عادة بوساطته طيفان اثنان ، مرتبة أحدهما أعلى من مرتبة الآخر بمقدار الواحد ، ولبيان هذا نعود الى المعادلة الدالة على شدة الاستضاءة الحادثة بفعل فتحة مفردة (بند ٢٦٧) وهى التى تدل على أن شدة الاستضاءة تتناسب والمقدار $\frac{\text{حا}^{٢} \text{ه}}{\text{ه}^{٢}}$ ، حيث تكون ه فرق الطور بين الاهتزازة الحادثة بفعل مبدىء الفتحة والاهتزازة الحادثة بفعل نهايتها . وفرق المسير بين الشعاع من مبدىء احدى درجات الاشلون وبين الشعاع من نهايتها هو ب ك ويساوى س حا ع باعتبار أن س عرض الدرجة ، ع زاوية الحيود . فاذا كانت زاوية الحيود صغيرة كان فرق المسير مساوياً س ع واذن يكون اختلاف الطور بين الاهتزازة من مبدىء الدرجة وبين الاهتزازة من نهايتها هو

$$\frac{٢ \text{ط}}{\text{ل}} \text{ س ع}$$

وهو المقابل لنصف المقدار ه فتكون شدة الاستضاءة الحادثة من تجمع الأشعة الحائدة بزاوية

قدرها ع ، من احدى درجات الأشلون (أو من جميع درجاته) متناسبة والمقدار

$$\frac{\text{حا}^{٢}\ \frac{ط}{ل}\ س\ ع}{(\frac{ط}{ل}\ س\ ع)^{٢}}$$

ويبلغ هذا المقدار نهاية عظمى اذا كانت ع صفراً . وهو يعدم اذا كان س ع = ± ل أو ± ٢ ل الخ كما تقدم فى بند (٢٦٧) وقد تبين فى هذا البند أيضاً أن اكثر الضوء محصور فى المنطقة الزاوية المحدودة بين ه = صفر أو بين ه = ± ط ، واذن يمكن اعتبار الضياء الحادث بفعل الاشلون محصورا بين الاتجاه الذى تكون فيه قيمة ع صفراً ، وبين الاتجاه الذى تكون فيه قيمتها ± $\frac{ل}{س}$

اذن هـذه المنطقة تمتد على جانبى العمود على الاشلون (باعتبار أن الضوء يقع عليه عمودياً) بزاوية قدرها $\frac{٢\ ل}{س}$

فاذا عدنا الى المعادلة (١) فى بند (٢٨١) وفرضنا أن زاوية الجيود ع زادت بمقدار Δ ع$_{١}$ بحيث يكون

$$ل + ل\ ن = (م - ١)\ س + (ع + \Delta\ ع_{١})\ س$$

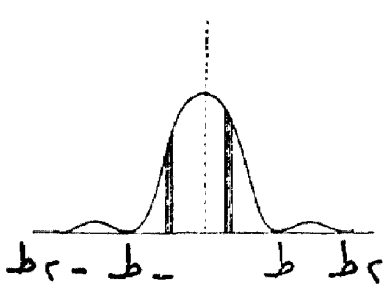
يكون Δ ع$_{١}$ الانفراج الزاوى بين الطيفين اللذين أحدهما مرتبته ن والآخر مرتبته (ن + ١)

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

$$\Delta\ ع_{١}\ س = ل \quad .$$

$$\therefore \quad \Delta\ ع_{١} = \frac{ل}{س}$$

اذن الانفراج الزاوى بين طيفين متتاليين وهو $\frac{ل}{س}$ يساوى نصف الامتداد الزاوى الذى نعتبر الضياء محصورا فيـه . فالمنطقة التى ينحصر فيها الضياء تشمل عادة طيفيين الفرق بين مرتبتيهما الوحدة ، والبعد بينهما يساوى نصف اتساع هذه المنطقة وشكل (٢٤٦) يوضح هذه الفكرة . فالمنطقة التى ينحصر فيها الضوء تمتد من ـ ط الى ط وعند المنتصف يبلغ الضياء أشده وتكون زاوية الجيود صفرا



(شكل ٢٤٦)

وعند ـــ ط وعند ط حيث يعدم الضياء تكون زاوية الحيود ي . فاذا حدث خط طيفى و زاوية ع صغيرة وكانت قيمة ع فى هذه الحالة ممثلة على الرسم البيانى بموضع الشريط الرأسى الموجود على يمين المحور الرأسى المرسوم نقطا فى الشكل ، فان شدة استضاءة هذا الخط تمثل بطول هذا الشريط . ويكون الخط الطيفى الآخر على بعد منه يساوى نصف البعد بين النقطتين ـــ ط ، ط

وان كانت زاوية ع حيث يحدث الخط الطيفى ذو المرتبة ن لها قيمة معينة متى تحدد وضع الاشلون بالنسبة الى اتجاه الضوء الواقع عليه ، فان ادارة الأشلون قليلا بحيث تسقط عليه الاشعة بزاوية سقوط تختلف قليلا عن الصفر تحدث فرقاً فى المسير يترتب عليه أن قيمة ع حيث يحدث الطيف تتغير قليلا ، فيتغير تبعاً لذلك موضع الشريط الرأسى على الرسم البيانى فى شكل (٢٤٦) . فاذا انطبق موضعه على نقطة المنتصف بين ـــ ط ، ط بلغت شدة استضاءة أحد الخطين نهايتها العظمى وزال الخط الآخر واذا كان موضعا 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)

---

(١) Position of Single Order (٢) Position of Double Order