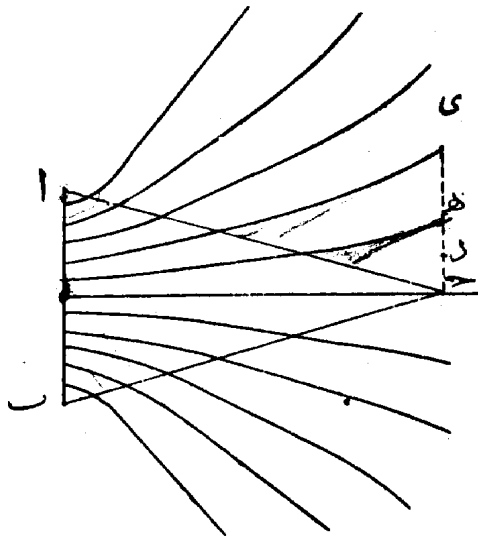


الباب العاشر

التداخل

٢١١ - شرح معنى التداخل

إذا فرضنا أن مركزى اضطراب يصدران موجات متشابهة باستمرار وكان المصدران في طور واحد من الحركة بحيث إذا صدر من أحدهما قمة مثلاً يصدر من الآخر في الوقت نفسه قمة ، وإذا صدر قرار يصدر من الآخر قرار فإن صدور هذه الموجات تتقاطع فتتلاقى في بعض أجزاء الوسط المتموج القمة الصادرة من أحد المصدرين والقمة الصادرة من الآخر أو القرار الصادر من أحدهما والقرار الصادر من الآخر فإذا كان اتساع الاهتزازة الحادثة عند موضع التقابل بفعل كل من المصدرين على حدته واحداً تضاعف اتساع الاهتزازة الحاصلة من تلاقى القمتين أو القرارين كذلك يتلاقى في بعض أجزاء الوسط القمة الصادرة من أحد المصدرين والقرار الصادر من الآخر



(شكل ١٨١)

فإذا كان اتساع الاهتزازة الحادثة عند موضع التقابل بفعل كل من المصدرين على حدته واحداً عدم اتساع الاهتزازة الحاصلة من تلاقى القمة والقرار وعدمت الحركة الاهتزازية . وهذه الظاهرة التي فيها تقوى الموجات بعضها الآخر في مواضع ويضعف بعضها الآخر في مواضع أخرى تسمى بوجه عام « ظاهرة التداخل » (١)

ولزيادة شرح هذه الظاهرة لنفرض أن أ ب

(شكل ١٨١) مصدرا اضطراب ولنفرض أن الموجات الصادرة منهما متشابهة متصلة ومقصود

انتشارها على سطح الورقة وانها تنتشر على هذا السطح بسرعة واحدة في جميع الجهات . فاذا أخذنا نقطة مثل γ على امتداد العمود المنصف للمستقيم ab وكانت حركة المصدرين في طور واحد بحيث تحدث من أحدهما قمة مثلاً ومن الآخر قمة في وقت واحد ، فإن القمتين الصادرتين من المصدرين في وقت واحد تصلان الى نقطة γ في وقت واحد وكذلك القراران الصادران منهما في وقت واحد يصلان اليها في وقت واحد وذلك لأن السرعتين متساويتان والبعدين المقطوعين متساويان أيضاً أو كما يقال ان المسيرين a و b متساويان . فيحدث عند γ من تداخل قطار الموجات الصادرة من a وقطار الموجات الصادرة من b حركة اهتزازية شديدة . واذا أخذنا نقطة أخرى مثل d بحيث يكون $b-d$ مساوياً لنصف الطول الموجي فإن القمة الصادرة من b وقت صدور قمة أخرى من a لا تدرك عند d هذه القمة التي اصدرتها a وانما تدرك القرار الصادر من a بعدها رأساً . وكذلك القرار الصادر من b لا يدرك عند d القرار الذي يصدر في الوقت نفسه من a وانما يدرك القمة التي تلي هذا القرار رأساً فتضعف الحركة الاهتزازية الحاصلة عند d بفعل المصدرين ويكون في هذه الحالة طور الاهتزازة الحادثة عند d بفعل المصدر b متخلفاً عن طور الاهتزازة الحادثة عندها بفعل المصدر a بمقدار قائمتين أى $\frac{\pi}{2}$ ويقال ان الموجات الصادرة من b متخلفة عن الموجات الصادرة من a بمقدار نصف الطول الموجي أو أنه يوجد فرق في المسير قدره نصف الطول الموجي بين b و d .

واذا أخذنا نقطة مثل h بحيث يكون $(b-h)$ مساوياً للطول الموجي فإن القمة الصادرة من b لا تدرك عند h القمة الصادرة من a في وقت صدورهما هي من b وانما تدرك القمة الصادرة بعدها رأساً فتكون نقطة h موضع تقابل قمتين وكذلك موضع تقابل قرارين . فيبقى عندها قطار الموجات الصادرة من a قطار الموجات الصادرة من b ولكن يكون طور الاهتزازة الحادثة عند h بفعل المصدر b متخلفاً عن طور الاهتزازة الحادثة بفعل المصدر a بمقدار $\frac{\pi}{2}$ ويوجد فرق في المسير قدره الطول الموجي بين b و h .

وكذلك اذا أخذت نقطة أخرى وكان فرق المسير مساوياً للطول الموجي ونصفه أو ضعف الطول الموجي ونصفه وهكذا ضعفت عندها الاهتزازة أما اذا كان فرق المسير مساوياً ضعف

الطول الموجي أو ثلاثة أمثاله وهكذا اشتدت عندها الاهتزازة . فإذا راعينا حالة عامة ورهنا
للطول الموجي بالحرف λ وأخذنا نقطة أيأ كانت مثل λ وكان $\lambda = \lambda_0$ حيث تكون λ عدداً كاملاً أيأ كان قدره فإن الاهتزازة عند هذه النقطة تكون شديدة
أما إذا كان

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1 + \epsilon$$

فإن الاهتزازة تكون ضعيفة

والنقط التي تكون مثل λ بعدها عن λ_0 واحد يكون المحل الهندسى لها هو العمود المنصف
للمستقيم λ واذن تكون الحركة الاهتزازية في جميع النقط الواقعة على هذا العمود شديدة
والنقط التي تكون مثل λ الفرق بين بعدها عن λ وبعدها عن λ_0 يساوى الطول الموجي يكون
المحل الهندسى لها قطعاً زائداً بؤرتاه λ ، واذن تكون الحركة الاهتزازية في جميع النقط
الواقعة على فرعى هذا القطع الزائد شديدة . كذلك النقط التي تكون مثل λ الفرق بين بعدها
عن λ وبين بعدها عن λ_0 يساوى نصف الطول الموجي فالمحل الهندسى لها قطع زائد أيضاً
يقع بين العمود المنصف للمستقيم λ وبين فرعى القطع الزائد الأول ، وهكذا . ويكون
توزع المواضع التي تشتد لديها الاهتزازة والمواضع التي تضعف عندها الاهتزازة على هيئة أقطاع
زائدة بؤرتاهما λ بكيفية كالمبينة تخطيطياً بشكل (١٨١)

٢١٢ - تجربة لينج لبيان التداخل في الضوء - وهذب التداخل

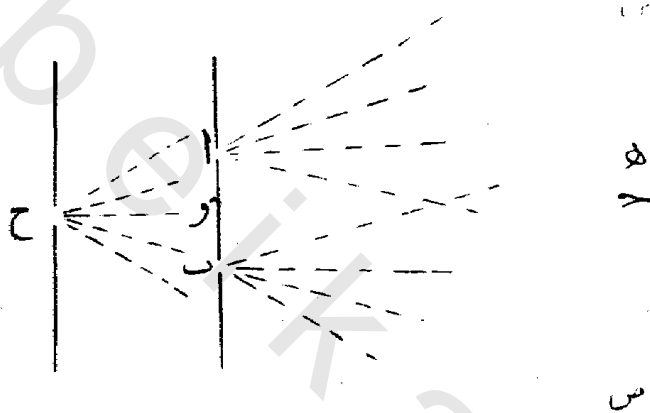
ظاهرة التداخل التي شرحناها فيما سبق ظاهرة عامة تحدث في الحركة الموجية بوجه عام متى
توافرت الشروط اللازمة لحدوثها . فإذا كان الضوء حركة موجية وفرصنا أن نقطى λ ب
فيما سبق مصدران يصدر منهما ضوء ذو طول موجي معين يكون واحداً فيهما وإن المصدرين
متشابهان بحيث يحدث في الوقت الذي يصدر من أحدهما قمة مثلاً أن يصدر من الآخر قمة وهكذا
فانه ينتظر طبقاً للشرح السابق أن تكون هناك مواضع تشتد فيها الاهتزازة فيشتد فيها الضياء
وعندها يكون فرق المسير معدوماً أو مساوياً للطول الموجي أو أضعافه وتكون هناك مواضع
أخرى تضعف فيها الاهتزازة فيقل فيها الضياء أو يعدم وعندها يكون فرق المسير مساوياً لنصف

الطول الموجي أو عدداً فردياً من أنصاف الطول الموجي

ويمكن بيان حدوث ظاهرة التداخل في الضوء بتجربة تعرف بتجربة «ينج»^(١) وكان

«ينج» أول من بين حدوث ظاهرة التداخل في الضوء

ولتوضيح الفكرة الأساسية في هذه التجربة نفرض أن نقطة ح (شكل ١٨٢) تمثل ثقباً ضيقاً في حاجز معتم رأسى وأن هذا الثقب أضيء بضوء ذي لون واحد كضوء لهب الصوديوم



(شكل ١٨٢)

يمكن أن نعتبر موجته ذات طول معين
فالثقب ح يمكن اعتباره مركزاً لاضطراب
تنتشر منه موجات صدورها كرية
ومركزها ح. فإذا وضع في سبيل هذه
الموجات حاجز رأسى معتم به ثقبان
ا ب في المستوى الأفقى الذى يشمل

الثقب ح وكان الثقبان ا ب متشابهين وفي وضعين متماثلين بالنسبة الى نقطة ح كما هو مبين
بالشكل فانهما يكونان بمثابة نقطتين على صدر الموجة الكرية التى مركزها ح ويكونان طبقاً
لقاعدة هيجنز مصدرى اضطراب في طور واحد من الحركة فإذا صدرت من أحدهما قمة مثلاً
تصدر في الوقت نفسه من الآخر قمة وهكذا فتتداخل الموجات الصادرة من أحدهما والموجات
الصادرة من الآخر في المواضع التى يصل إليها الفريقان فيحدث من جراء هذا أن تشتد الاهتزازة
في مواضع وتضعف في أخرى فيشتد الضياء في الأولى ويضعف في الأخرى

فإذا قصرنا القول مبدئياً على التداخل الحادث في مستوى الورقة فإن المواضع المذكورة تكون
المحال الهندسية لها اقطاعاً زائداً بؤرتها ا ب وهيئة توزعها كما هو مبين بشكل (١٨١) حيث
يلاحظ الاكتفاء بالجزء الواقع على يمين المستقيم ا ب. ولكن لما كان الضوء الصادر من
المصدرين ا ب ليس مقصوراً على مستوى الورقة فالمحل الهندسى للنقط التى يكون فرق بعدها
عن ا ب ثابتاً هو سطح مدور القطع الزائد أى السطح الذى يحدث عن دوران القطع الزائد

حول المحور a . فإذا وضع حاجز أبيض مثل s ص شكل (١٨٢) مستواه مواز للحاجز الذي به الثقبان فإن الحاجز الأبيض يقطع سطوح مدورات الاقطاع الزائدة في مواضع هي في الحقيقة أقواس من الاقطاع الزائدة وتمثل هذه الأقواس مواضع الضياء حيث الاهتزازة شديدة أو الظلمة حيث الاهتزازة ضعيفة. فيتكون إذن على الحاجز الأبيض s ص مناطق مضيئة تفصلها ظلمة نسميها « هذب التداخل » (١)

وزيادة في توضيح صور هذه الهذب نرى أن $و$ العمود المنصف للمستقيم الواصل بين الثقبتين a و b (شكل ١٨٢) يحدث من دورانه حول a مستوى هو المحل الهندسى للنقط التي فرق بعضها عن a و b معدوم ويقطع مستوى الحاجز s ص هذا المستوى في خط أفقى عند $ح$ عمودى على مستوى الورقة يكون موضعه موضع ضياء أو هدبة مضيئة نسميها الهدبة الوسطى أو الهدبة المركزية. وإذا أخذنا نقطة مثل $هـ$ بحيث يكون $ب هـ - ا هـ$ مساوياً الطول الموجى λ فالمحل الهندسى لمثل هذه النقطة في مستوى الورقة قطع زائد بؤرتاه a و b فإذا راعينا الفرع الأعلى على حدته وأدير حول المحور a تكون سطح المدور وهذا السطح يقطع مستوى الحاجز s ص في خط هو في الحقيقة قوس من القطع الزائد وهو يمثل موضع الهدبة المضيئة التي تلى الهدبة المركزية $ح$ من أحد جانبيها (الجانب الأعلى في شكل ١٨٢) كذلك إذا روعي الفرع الأسفل من القطع الزائد وأدير هذا الفرع حول المحور a فإن سطح المدور يقطع مستوى الحاجز s ص في خط هو أيضاً قوس من القطع الزائد (وهو والقوس الأول متماثلان بالنسبة لنقطة $ح$) ويمثل موضع الهدبة المضيئة التي تلى المركزية من جانبها الآخر وهو الجانب الأسفل في الشكل. وتكون بين الهدبة المركزية وكل من هاتين الهدبتين ظلمة. وبالمثل تتكون الهدب المضيئة الأخرى التي تحف بالهدبة المركزية من جانبيها

وان كانت أشكال هذه الهذب هي أقواس من الاقطاع الزائدة على جانبي الهدبة المركزية المستقيمة ومتماثلة بالنسبة إليها فإن الاستضاءة على سطح الحاجز s ص كلما بعدنا في الاتجاه العمودى على مستوى الورقة تقل فإذا اكتفينا بالأجزاء الشديدة الضياء من الهذب وهي التي لا تمتد على

مستوى الحاجز س ص في الاتجاه العمودي على مستوى الورقة الا الى مدى صغير أمكن اغفال تقوسها واعتبارها مستقيمة فتكون الهدب في هذه الحالة مستقيمة متوازية تحف بالهدبة المركزية من جانبيها

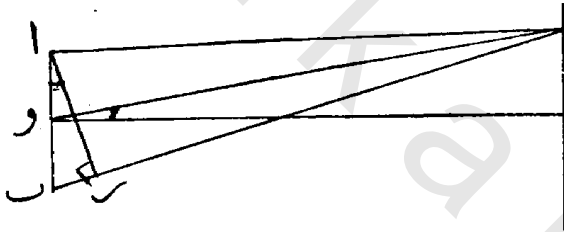
وقد فرضنا فيما سبق أن المصدرين ا ب ثقبان ولكن اذا تصورنا أنه قد استبدل بالثقبين فتحتان مستطيلتان ضيقتان رأسيان (أى عموديتان على مستوى شكل ١٨٢) وكانت الفتحتان تضئيهما فتحة مستطيلة ضيقة رأسية عند ح فان كلا من الفتحتين ا ب تكون بمثابة نقط مضيئة متتالية متصلة فتتداخل الموجات الصادرة من أية نقطة من احدى الفتحتين والنقطة التي في مستواها الافقى من الفتحة الثانية ويحدث من تداخلها هدب رأسية يمكن اعتبارها كما سبق بيانه مستقيمة متوازية . وتتكون من اندماج مجموعات هذه الهدب مجموعة من الهدب المستقيمة المتوازية تكون الهدب المضيئة فيها أشد ضياء وسطوعا

ومن أجل ذلك تستخدم عادة للحصول على هدب التداخل بطريقة « ينج » فتحة مستطيلة ضيقة رأسية عند ح تضاء بلهب الصوديوم وفتحتان ضيقتان موازيتان للاولى وفي وضعين متماثلين بالنسبة اليها عند ا ب يكونان المصدرين اللذين يتداخل ضوءهما ويسميان المصدرين المتداخلين وقد فرضنا فيما سبق سهولة الشرح أن الهدب تتكون على حاجز رأسى أبيض غير أن هذه الهدب نظراً لدقتها وقربها بعضها الى الآخر لا يتيسر رؤيتها على الحاجز بالعين المجردة ويستعان عادة لرؤيتها بميكروسكوب صغير أو قطعة عينية مكبرة . ويلاحظ أن وجود الحاجز الأبيض ليس ضرورياً فان العين اذا وضعت في وضع مناسب بحيث يصل اليها ضوء الفتحتين ترى الهدب لو لا دقتها وقربها بعضها الى الآخر . ولذلك فالطريقة المتبعة لرؤية الهدب أن ينظر اليها خلال قطعة عينية كقطعة رمزدة أو خلال ميكروسكوب صغير . ومن المعلوم عند استعمال مثل هذين الجهازين أن الصورة التي ترى واضحة مكبرة بوساطته هي صورة الجسم الموضوع على بعد معين بالنسبة الى الجهاز واذا رسم على هذا البعد مستوى عمودى على محور الجهاز فانه يسمى عادة « المستوى البورى » للجهاز . فالقطعة العينية مثلاً ترى بوساطتها صورة الأجسام واضحة مكبرة اذا كانت هذه الأجسام عند المستوى البورى للقطعة . فاذا وضعت

القطعة العينية بحيث يكون محورها على امتداد المستقيم و > (شكل ١٨٢) أمكن رؤية صورة مكبرة للهدب التي يكون موضعها الحقيقي عند المستوى البؤرى للقطعة وكلما بعدت القطعة العينية عن الفتحتين ١ و ٢ زادت الهدب التي موضعها الحقيقي عند مستواها البؤرى بعداً بعضها عن الآخر وكانت صورتها أكبر

٢١٣ - تقدير البعد بين الهدبة والأخرى

نفرض أن نقطة > (شكل ١٨٣) تمثل موضع الهدبة المركزية ونقطة ه تمثل موضع إحدى الهدب المضئية الأخرى ولتكن نقطة و منتصف ا ب (البعد بين المصدرين المتداخلين)



(شكل ١٨٣)

نصل ا هـ ب هـ و هـ و > ونركز عند هـ ونرسم قوساً من دائرة نصف قطرها هـ ا يقطع هـ ب في نقطة ر فاذا فرضنا أن البعد ر ب صغير جداً بالنسبة الى البعد بين المصدرين المتداخلين ا ب أمكن اعتبار القوس ا ر خطاً مستقيماً عمودياً على ب هـ وعمودياً أيضاً على و هـ واذن تكون زاوية ب ا ر = زاوية هـ و >

وبما أن الهدب واقعة في مستوى واحد مواز للمستقيم ا ب يكون

$$\frac{ب ر}{ا ب} = \frac{هـ و}{و هـ} \quad \text{أو} \quad \frac{و هـ}{هـ و} = \frac{ا ب}{ب ر}$$

فاذا رمزنا للبعد ا ب بين المصدرين المتداخلين بالحرف ا وللبعد و هـ بين موضع تكون الهدب وبين المصدرين بالحرف هـ وللبعد هـ و بين الهدبة التي نراعيها وبين الهدبة المركزية بالحرف و فان

$$\frac{ب ر}{و هـ} = \frac{ا ب}{هـ و}$$

فاذا كانت هـ موضع الهدبة المضئية الأولى التي تلي المركزية و رمزنا للطول الموجي بالحرف

ن يكون ب ر مساوياً ن واذن البعد بين الهدبة المضئية الأولى وبين المركزية يكون $\frac{E}{f}$ ن
 وإذا كانت ه موضع الهدبة المضئية الثانية يكون ب ر مساوياً $\frac{E}{f}$ ن ، واذن البعد بين الهدبة
 المضئية الثانية وبين المركزية يكون $\frac{E}{f} \times \frac{E}{f}$ ن وهكذا فإذا راعينا الحالة العامة واعتبرنا أن
 نقطة ه موضع الهدبة المضئية النونية يكون ب ر مساوياً $\frac{E}{f}$ ن واذن بعد هذه الهدبة المضئية
 النونية عن الهدبة المركزية يكون

$$n \frac{E}{f} = s$$

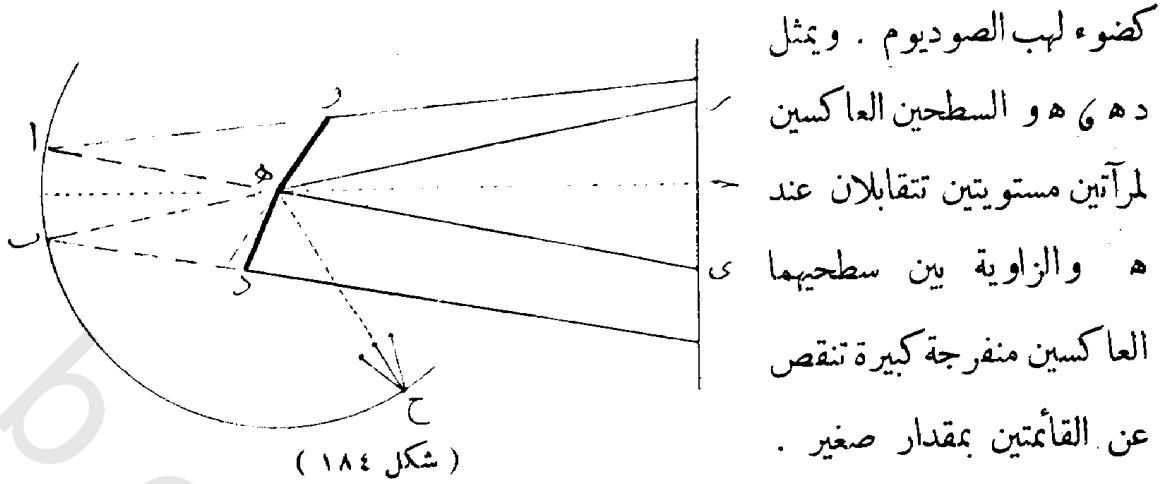
ويلاحظ انه نظراً لصغر البعد ب ر بالنسبة الى البعد بين المصدرين وهو الفرض المتوقف
 عليه التقدير السابق تكون هذه الهدب متساوية الأبعاد بعضها عن الآخر ويكون البعد بين
 هدتين متتاليتين منها مساوياً $\frac{E}{f}$ ن ويدل هذا المقدار على أنه كلما صغر البعد بين المصدرين
 المتداخلين كانت الهدب المضئية أبعد بعضها عن الآخر فيسهل رؤيتها . ومن أجل هذا يجعل
 المصدران المتداخلان في تجارب التداخل بوجه عام متقاربين ما أمكن

وبالمثل يمكن اثبات أن البعد بين موضعى ظلامين متتالين يساوى $\frac{E}{f}$ ن . فإذا اعتبرنا
 الهدبة المضئية نهايتها من أحد الجانبين موضع ظلام ومن الآخر موضع ظلام يكون المقدار
 $\frac{E}{f}$ ن هو عرض الهدبة المضئية الواحدة

ويتضح مما سبق أنه اذا قيس البعد بين الفتحتين وهو المقدار f وقيس البعد بين الفتحتين
 وبين موضع تكون الهدب وهو المقدار E وقيس متوسط البعد بين هدتين مضئتين أو متوسط
 عرض الهدبة المضئية كان هذا مساوياً $\frac{E}{f}$ ن واذن امكن استخراج قيمة ن وهو الطول الموجى للضوء

٢١٤ — تجربة المرآة الثنائية

أجرى « فرسnel » ^(١) تجارب عدة لبيان حدوث التداخل فى الضوء منها تجربة « المرآة
 الثنائية » ^(٢) . ونظرية هذه التجربة موضحة بشكل (١٨٤) حيث تمثل نقطة ح فتحة مستطيلة
 ضيقة رأسية عمودية على مستوى الورقة . تضاء بضوء ذى لون واحد أو ذى طول موجى معين



كضوء لهب الصوديوم . ويمثل
د هـ و هـ و السطحين العاكسين
لمرآتين مستويتين تتقابلان عند
هـ والزاوية بين سطحيهما
العاكسين منفرجة كبيرة تنقص
عن القأمتين بمقدار صغير .

وسطحاهما العاكسان رأسيان عموديان على مستوى الورقة .

فالضوء الواقع من المصدر ح على المرآة د هـ ينعكس عن سطحها كأنه صادر من ب والضوء
الواقع منه على المرآة هـ و ينعكس عن سطحها كأنه صادر من ا حيث يكون ا هـ ب صورتين
تقديريتين للمصدر ح . والتداخل في هذه التجربة يحدث بين الضوء المنعكس عند إحدى المرآتين
والضوء المنعكس عند الأخرى في المنطقة التي يصل إليها الضوءان وهى المحدودة فى الشكل
بالمستقيمين هـ ر هـ و هـ و يمكن اعتبار ا هـ ب المصدرين المتداخلين ويكونان فى هذه الحالة
مصدرين تقديريين . فاذا رمز كما فى تجربة « ينج » للبعد بين المصدرين المتداخلين بالحرف ا
وللبعد بين الهدبة المضئية النونية والهدبة المركزية بالحرف ء وللبعد بين موضع تكون الهدب
وبين المصدرين المتداخلين بالحرف ع يكون

$$r = \frac{e}{a}$$

حيث يكون ر الطول الموجى

واذا رمز للبعد بين موضع الهدب وبين نقطة هـ بالحرف س وللبعد بين موضع الفتحة ح وبين
هـ بالحرف م فنظراً لأن ح هـ ا تقع على محيط دائرة مركزها هـ وأن ا هـ ب متقاربان يكون

$$e = s + m$$

وبالرمز للزاوية الحادة الصغيرة الواقعة بين سطحى المرآتين بالحرف ر فان

$$\text{زاوية ر هـ و} = \alpha = \text{زاوية ا هـ ب}$$

وبما أن ر صغيرة تكون زاوية ا هـ ب صغيرة وتكون مساوية لـ

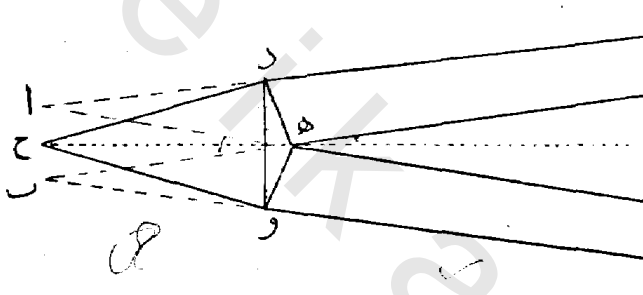
$$\therefore \frac{1}{m} = 2 \quad \therefore \frac{1}{m} = 1 \quad \therefore m = 2$$

$$\text{واذن } \frac{m}{m+1} = \frac{1}{2}$$

فاذا قيست m و $m+1$ وعرفت قيمة m أمكن تقدير n

٢١٥ - تجربة المنشور الثنائي

ومن التجارب التي أجراها « فرسنل » تجربة تعرف بتجربة « المنشور الثنائي » (١) ونظريتها موضحة بشكل (١٨٥) حيث تمثل ح فتحة مستطيلة ضيقة رأسية عمودية على



(شكل ١٨٥)

مستوى الورقة تضاء بضوء ذي لون

واحد (لهب الصوديوم) ويمثل

د ه و منشوراً موضوعاً عمودياً على

مستوى الورقة وزاوية د ه و

صغيرتان ومتساويتان ويمكن اعتباره

كأنه مكون من منشورين متماثلين زاويتاهما د ه و صغيرتان

فالضوء الصادر من الفتحة ح عند نفوذه في المنشور ينحرف بحيث يمكن اعتبار النافذ

خلال النصف الذي زاويته د كأنه صادر من ا والذي ينفذ خلال النصف الذي زاويته و

كأنه صادر من ب وتكون ا ه ب صورتين تقديريتين نعتبرهما المصدرين المتداخلين .

ويحدث التداخل في المنطقة المحدودة في الشكل بالمستقيمين ه د ه ي

فاذا رمز لبعده موضع الهدب عن المنشور بالحرف م و لبعده المنشور عن الفتحة ح

بالحرف م واستعملت الرموز في البند السابق للدلولات نفسها يكون

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

ولايجاد قيمة ا نرسم لمعامل انكسار الضوء في مادة المنشور بالحرف م ولكل من

الزاويتين د ه و بالحرف د فتكون النهاية الصغرى لزاوية الانحراف خلال المنشور هي

$$m(1 - \frac{1}{m}) = 1$$

وبما أن λ صغيرة أمكن اعتبارها مساوية $\frac{\lambda}{m}$ واذن يكون

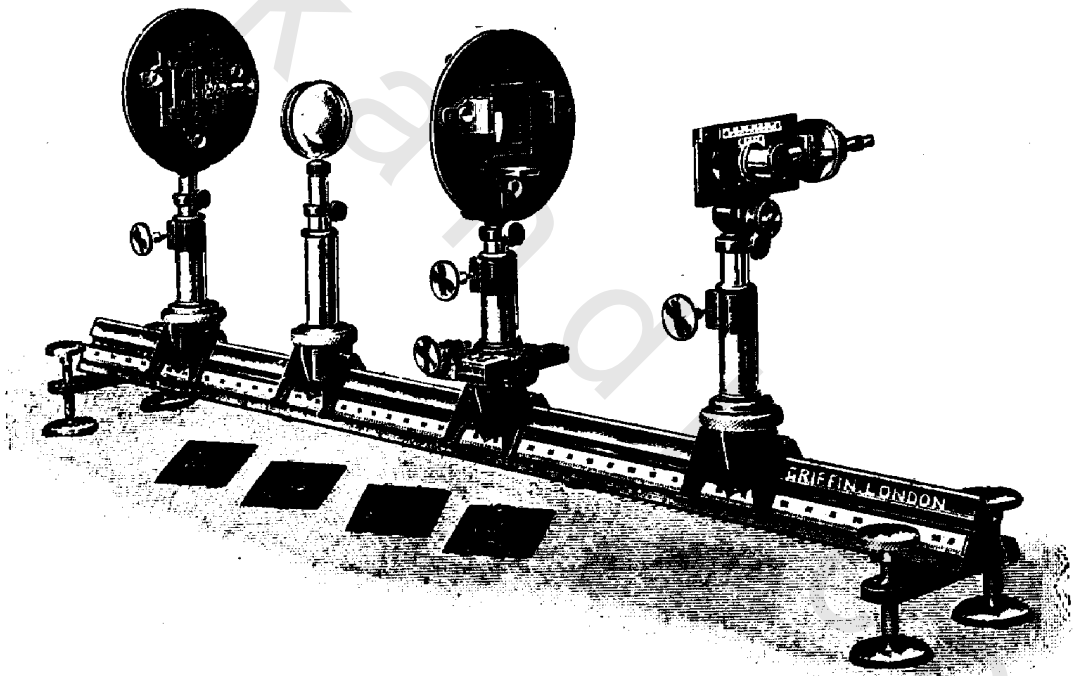
$$1 = \lambda = m \quad \text{و} \quad 2 = m(1 - m)$$

$$\therefore \lambda = \frac{m + m}{(1 - m)m}$$

فإذا عرفت المقادير $\lambda, m, m, m, m, m, m$ أمكن إيجاد قيمة λ

٢١٦ - إيجاد الطول الموجي لضوء لهب الصوديوم بوساطة المنشور الثنائي

تجربة المنشور الثنائي الواردة نظريتها فيما سبق تطبق كثيراً كتجربة عملية يجريها الطلبة لتعيين الطول الموجي لضوء لهب الصوديوم . وتستخدم لهذه الغاية لوحة ابصار كالمبينة بشكل (١٨٦)



(شكل ١٨٦)

وهي تتركب من قضيب متين من الحديد يستعمل كقاعدة ويرتكز على مسامير محواة يمكن بوساطتها تسويته والقضيب مدرج ويزلق عليه ثلاثة قوائم رأسية بكل واحد منها ورنية تتحرك على المقياس المدرج ويحمل أحد هذه القوائم فتحة رأسية مستطيلة ضيقة ويحمل ثانيها المنشور الثنائي ويحمل ثالثها قطعة عينية (قطعة رمزدن)^(١) والفتحة يمكن توسيعها أو تضيقها بوساطة مسمار

(١) وبالشكل قائم رابع يحمل عدسة لامة سيأتي ذكر فائدتها فيما بعد

لولى معد لذلك وهى وان كانت موضوعة على القائم بحيث تكون رأسية على قدر الامكان فان هناك مسماراً لولياً آخر يمكن بوساطته امالتها عند الحاجة . و ذلك المنشور الثنائى وان كان موضوعاً على القائم بحيث تكون حروفه د ٦ هـ ٦ و (شكل ١٨٥) رأسية على قدر الامكان فان له هو أيضاً مسماراً لولياً يمكن بوساطته امالته على حسب الارادة . والقطعة العينية موضوعة بحيث يكون محورها موازياً للقضيبين ولها خطان متقاطعان أو خط رأسى واحد فى مستواها البورى وهى متصلة بنهاية مسمار لولى دقيق مدرج يمكن بوساطته ازاحتها فى اتجاه أفقى عمودى على محورها ويمكن قياس قدر هذه الازاحة بالدقة . وقد يكون هناك مسمار لولى يحرك القائم الذى يحمل العينية فى اتجاه عمودى على محورها

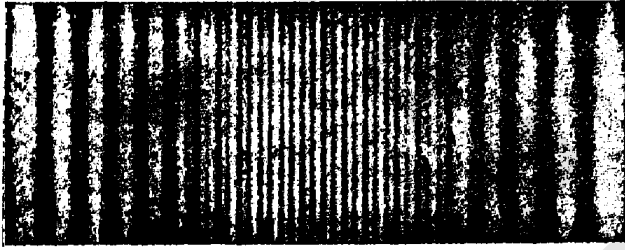
ونظراً لأن التجربة تتطلب شيئاً من العناية والدقة فى تهيئة جهازها وتبع الخطوات المتتالية فى اجزائها نرى أن نسهب هنا فى وصفها من الوجهة العملية

(أولاً) الفصل على الهرب

تتألف لوحة الابصار بحيث يكون القائم الحامل للفتحة عند أحد طرفيها ويليه القائم الحامل للمنشور ويلى هذا القائم الحامل للعينية ، ونجعل الفتحة والحرف هـ (شكل ١٨٥) للمنشور رأسيين على قدر الامكان ويهياً محور العينية بحيث يكون منطبقاً على قدر الامكان على الخط الأفقى المار بمنتصف الحرف هـ للمنشور ومنتصف الفتحة . ثم تضاء الفتحة بلهب الصوديوم ويستحسن أن يكون ضوءه شديداً وقد يكون من المناسب تكثيف الضوء على الفتحة بوساطة عدسة لامة مناسبة ثم يقرب المنشور الثنائى الى الفتحة غاية ما يمكن ، وينظر بالعين المجردة من الجانب الآخر للمنشور نحو الفتحة للتأكد من رؤية الصورتين التقديريتين ا ٦ ب (شكل ١٨٥) على جانبي الحرف هـ . ثم تضيق الفتحة وتمال هى أو المنشور أو كلاهما حتى ترى الصورتان كخطين رأسيين مضيئين موازيين للحرف المذكور من المنشور وعلى جانبيه . وتقرب بعد ذلك العينية من المنشور حتى تدنونه غاية ما يمكن وينظر خلالها فترى الهدب . ويشبه ما يرى منطقة عريضة رأسية من الضوء يتخللها خطوط رأسية سوداء متساوية البعد . وتزداد هذه الخطوط دقة ووضوحاً بامالة الفتحة أو المنشور وتعديل فى اتساع الفتحة . وبعد هذا تبعد العينية عن المنشور مع الاستمرار

في النظر الى الهدب : فاذا كان المنشور في وضع متماثل تماماً بالنسبة الى الفتحة (بحيث يكون ح ه شكل ١٨٥ عمودياً على و د) وكان محور العينية منطبقاً على امتداد ح ه فان الهدب تكبر دون أن تتحول من مكانها في مجال النظر، ويتطلب وضوحها وجلاؤها أن يعدل قليلاً ميل الفتحة أو المنشور ويعدل أيضاً اتساع الفتحة في أثناء ابعاد العينية . فاذا بلغ بعد العينية عن المنشور خمسين أو ستين سنتيمتراً وكانت الغرفة التي تجري فيها التجربة مظلمة ظهرت الهدب عريضة واضحة (شكل ١٨٧) ويتيسر قياس متوسط البعد بين هديتين (أو عرض الهدبة الواحدة منها) بواسطة اللولب المدرج المتصل بالعينية

(ثانياً) إيجاد البعد بين المصدرين المتداخلين



(شكل ١٨٧)

والمعادلة التي يقدر منها الطول الموجي تشمل البعد بين المصدرين المتداخلين . ويتبين في البند السابق إمكان الاستعاضة عن هذا البعد بالمقدار ٢ م و (٢ - ١) ولكن هذا

المقدار يشمل مقادير قد لا يكون من السهل الحصول عليها بالدقة ، ولذلك تتبع في العادة طريقة أخرى يستعان فيها بعدسة لامة تخول لنا إيجاد البعد بين المصدرين المتداخلين

ونظرية هذه الطريقة تتلخص في أنه اذا وضعت عدسة لامة بين جسم وحاجز وكان البعد بينهما اكبر من أربعة أمثال بعدها البؤري فان العدسة في وضع معين تكون صورة مصغرة للجسم على الحاجز وفي وضع آخر تكون صورة مكبرة عليه . فاذا رمزنا في الحالة الاولى لبعد العدسة عن الجسم بالرمز e_1 وبعدها عن الصورة بالرمز e_2 فان بعد العدسة عن الجسم في الحالة الثانية يكون e_2 وبعدها عن الصورة يكون e_1 فاذا رمزنا لطول الجسم بالحرف a ولطول الصورة في الحالة الأولى بالرمز a_1 ولطول الصورة في الحالة الثانية بالرمز a_2 فان

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{a_1}{a_2}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{1} \quad 6$$

$$\frac{1}{2} = 1 \quad \therefore$$

فاذا ما تم الحصول على الهدب بالكيفية المتقدمة يؤتى بعدسة لامة ذات بعد بؤرى مناسب وتوضع بين المنشور وبين العينية . فاذا كان البعد بين الفتحة أو بالأحرى بين موضع صورتيها a و بين المستوى البؤرى للعينية أكبر من أربعة أمثال البعد البؤرى للعدسة أمكن بواسطة هذه العدسة أن نحصل عند المستوى البؤرى للعينية على صورة مصغرة للفتحتين وامكن في وضع آخر للعدسة ان نحصل عند المستوى البؤرى للعينية على صورة مكبرة للفتحتين، وتكون العدسة اللامة في الحالة الأولى أقرب الى العينية وفي الثانية أقرب الى الفتحة . فاذا كان البعد بين العينية وبين المنشور يخول ذلك ، وهيئت العدسة اللامة حتى ترى خلال العينية الصورة المصغرة للفتحتين وقيس البعد بينهما وليكن a ثم ازيحت العدسة حتى ترى خلال العينية الصورة المكبرة للفتحتين وقيس البعد بينهما وليكن a' فان البعد الحقيقي بين الفتحتين يكون مساوياً $\frac{a}{a'}$ وما تلزم العناية به عند تطبيق هذه الطريقة التأكد قبل الابتداء في قياس متوسط البعد بين هدتين، من أن البعد بين العينية وبين المنشور يخول للعدسة أن تأخذ وضعها المذكورين بينهما . ويستحسن متى حصل الطالب على الهدب أن يسعى لايحاد البعد بين المصدرين المتداخلين بهذه الطريقة قبل الابتداء في قياس متوسط البعد بين الهدبتين . وما تلزم العناية به أن تظل الفتحة والمنشور والعينية في مواضعها ثابتة حتى تتم جميع المقاييس . ويجب اذا لزم تعديل ما في موضع أحدها أن تعاد المقاييس من أولها

(ثالثاً) نصمم قراءتي الرئيتين عند قياس البعدين الهرب وبين المصدرين

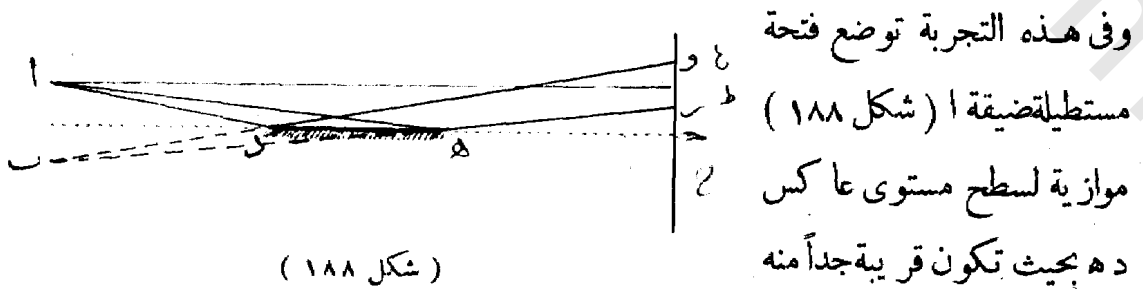
ولايحاد البعد بين موضع الهدب وبين المصدرين المتداخلين يعين موضع الورنية المتصلة بقاعدة القائم الذي يحمل العينية ، على المقياس المدرج . ويعين موضع الورنية المتصلة بقاعدة القائم الذي يحمل الفتحة على هذا المقياس . والبعد بين الموضعين لا يكون بوجه عام مساوياً

البعد بين المستوى البؤرى للعينية (حيث موضع الهدب) وبين الفتحة لأن مبدأ تدريج الورنية الأولى لا يكون عادة منطبقاً على امتداد المستوى البؤرى للعينية كما أن مبدأ تدريج الورنية الثانية لا يكون منطبقاً على المستوى الرأسى الذى تقع فيه الفتحة . ولتصحيح الخطأ الذى ينجم عن هذا يؤتى بساق معدنية مستقيمة مدية الطرفين طولها حوالى ١٥ سنتيمتراً مثلاً ويقاس طولها بالدقة بواسطة ميكروسكوب متحرك أو ما يقوم مقامه . ثم يزال المنشور الثانى من موضعه على لوحة الابصار وتثبت الساق على حامل بحيث تكون أفقية موازية للقضيب المدرج وأحد طرفيها ملاس لمستوى الفتحة . وتقرب العينية من الطرف الآخر للساق حتى ترى بواسطتها صورة هذا الطرف واضحة جلية . ففي هذا الوضع يكون هذا الطرف عند المستوى البؤرى للعينية ويكون البعد بين هذا المستوى وبين الفتحة مساوياً بالضبط طول الساق . فإذا عين موضعاً الورنيتين على المقياس المدرج فالفرق بين البعد المحصور بينهما وبين طول الساق هو الذى يصحح به البعد المقيس . فإذا كان طول الساق أصغر من البعد المحصور بين موضعى الورنيتين فالفرق يطرح وإذا كان طولها أكبر فالفرق يضاف

ونظراً لأن طرف الساق عند اجراء هذه العملية الأخيرة تكون عند المستوى البؤرى للعينية وهو المستوى الموجود فيه الخيطان المتعامدان أيضاً فمن اللازم العناية بالألّا تلمس الساق هذين الخيطين منعاً لالتلافهما .

٢١٧ - تجربة مرآة لوييد

ويكن بيان التداخل والحصول على الهدب بتجربة بسيطة تعرف بتجربة « مرآة لوييد » (١)



فالمنطقة المحدودة في الشكل بالمستقيمين د و ه ر يصل إليها ضوء منعكس عند السطح العاكس ويصل إليها أيضاً ضوء صادر من ا رأساً لا يعاني انعكاساً . ولما كانت الأشعة المنعكسة يمكن اعتبارها صادرة من الصورة التقديرية ب التي تتكون بالانعكاس أمكن اعتبار الضوء الواصل الى المنطقة المذكورة منبعثاً من مصدرين أحدهما ا والآخر ب يكونان بمثابة مصدرين متداخلين ومنعاً لتعدد الانعكاسات يستخدم في هذه التجربة سطح معدني عاكس أو يتخذ لوح سميكة من الزجاج ينعكس الضوء على أحد وجوهه وتكسى جوانبه الآخر بالسنج أو بطلاء أسود قائم . وللحصول على الهدب يوضع السطح العاكس رأسياً وتوضع فتحة مستطيلة ضيقة تضاء بضوء لهب الصوديوم بحيث تكون موازية للسطح وعلى بعد صغير (كمليمتر أو اثنين) أمام امتداده (أنظر الشكل) ثم ينظر بالقرب من الطرف الآخر للسطح العاكس بحيث ترى العين الفتحة وصورتها و يعدل السطح العاكس قليلاً حتى تكون الفتحة وصورتها متوازيتين ومتقاربتين فإذا أتى بعد ذلك بميكروسكوب صغير أو قطعة عينية ونظر خلالها الى الفتحة وصورتها تسنى رؤية الهدب

ولتجربة مرآة لويد خطورة خاصة فقد استطاع « لويد » أن يدلل بها على أن الهدبة المركزية في مجموعة الهدب الحادثة في هذه التجربة ليست مضيئة . ونظراً لأن ظروف التجربة لا تخول حدوث الهدبة المركزية كما يتضح بالرجوع الى شكل (١٨٨) فإنه استدل^(١) على أن الهدب التي تتكون في هذه التجربة مزاحة عن مواضعها التي ينتظر أول وهلة حدوثها فيها بمقدار نصف البعد بين هديتين . أي أنه في الموضع الذي ينتظر أن يحدث فيه ضياء مثلاً حيث يقدر فرق المسير بين الشعاعين المتداخلين بأضعاف الطول الموجي تحدث ظلة دالاً ذلك على أن فرق المسير يساوى أضعاف الطول الموجي مضافاً الى ذلك نصف الطول الموجي . واستدل من هذا على أن انعكاس الضوء عند وقوعه من الهواء على سطح الزجاج أو على سطح وسط أكبر كثافة ضوئية مقرون بتغير في الطور قدره π (قائمتان) . فالقمة مثلاً تنعكس قراراً . والقرار ينعكس قمة

(١) استدل على ذلك بواسطة ظاهرة سيأتي ذكرها في بندي ٢٢٢ ، ٢٢٣

٢١٨ - شرط التداخل - التلاؤم بين المصدرين المتداخلين

إذا كان المصدران المتداخلان متحدين في الطور بحيث يصدر أحدهما قمة مثلاً في الوقت الذي يصدر فيه الآخر قمة وهكذا فإن نقطة تبعد بمقدار واحد عن المصدرين يحدث فيها ضياء وأخرى فرق بعدها عن المصدرين يساوى نصف الطول الموجي تحدث فيها ظلمة . وهكذا . ودوام حدوث الظلمة والضياء في المواضع المذكورة متوقف على دوام اتحاد الطور بين المصدرين فإذا حدث لسبب ما أن أحد المصدرين أصدر قراراً في الوقت الذي يصدر فيه الثاني قمة . فمواضع الضياء والظلمة تتبدل ولكنها تظل هي هي ما دام أحد المصدرين يصدر قراراً في الوقت الذي يصدر فيه الثاني قمة . أى أن دوام حدوث الظلمة والضياء في المواضع الجديدة متوقف على دوام ثبوت اختلاف الطور بين المصدرين المتداخلين . أما إذا لم يكن بين المصدرين المتداخلين فرق ثابت في الطور ، فكان أحدهما يصدر قمة مرة ويصدر قراراً مرة في الوقت الذي يصدر فيه الثاني قمة مثلاً ، ولبت هذا التبدل مستمراً متكرراً مرات عدة في الثانية فإن مواضع الظلمة والضياء تتبدل باستمرار فزول الهدب وتبطل معالم التداخل

فتكون الهدب بحيث يمكن رؤيتها ومعاينتها متوقف على وجود تلاؤم مستمر بين المصدرين المتداخلين . ولا يستلزم هذا أن يكون المصدران في طور واحد من الحركة بل يستلزم أن يكون الفرق في الطور بين حركتهما ثابتاً حتى إذا تغير الأمر ما طور الحركة في أحدهما تغير أيضاً في الثاني بحيث يظل الفرق واحداً . وهذا الشرط متوافر في تجربة « ينج » لأن كل نقطتين متداخلتين (مثل ١ ٥ ٦ شكل ١٨٢) بمثابة نقطتين على صدر موجة صادرة من نقطة واحدة (نقطة ح) تستقي منها النقطتان ضوءيهما ، وفي تجربة المرآة الشائبة وتجربة الماشور الشائقي فهما صورتان لنقطة مضيئة . ولذلك يكون كل من هاتين النقطتين في هذه التجارب في طور واحد من الحركة دائماً . أما في تجربة مرآة لويدي فالنقطتان المتداخلتان أحدهما نقطة مضيئة والأخرى صورتها فإذا كان الانعكاس مقروناً بتغير في الطور قدره π فإن النقطتين المتداخلتين لا تكونان في طور واحد وإنما يكون بينهما اختلاف ثابت في الطور قدره π

ودلت التجارب على أنه من المحال الحصول على هدب التداخل من مصدرين لا علاقة ولا ارتباط بينهما، فمثلاً إذا أضيئت الفتحتان ١ و ٢ (شكل ١٨٢) في تجربة ينجم كل واحدة منهما على حدة بمصدر ضوئي منفصل عن الآخر أو أضيئت الواحدة منهما بجزء من مصدر ضوئي واحد وأضيئت الأخرى بجزء آخر منه ، فلا يمكن الحصول على الهدب . ويعزى هذا الى عدم وجود التلاؤم المستمر بين المصدرين المتداخلين ، ويتخذ دليلاً على أن طور الحركة في أية نقطة ينبعث منها الضوء يتغير تغيراً مستمراً لا علاقة له بتغير طورها في أية نقطة أخرى حتى إذا كانت النقطتان من مصدر واحد

٢١٩ - النقط المتقابلة من المصدرين المتداخلين

في التجارب السابقة يتخذ المصدران المتداخلان فتحتين مستطيلتين ضيقتين . ولكن مهما بولغ في تضيق الفتحة فإن لها اتساعاً معيناً . فإذا كانت الفتحتان رأسيّتين وأخذنا مقطعاً أفقياً فنظراً لاتساع كل منهما ، فإن مقطعيهما يكونان خطين مستقيمين قصيرين مثل س_١ ص_١ و س_٢ ص_٢ (شكل ١٨٩)

والفتحتان اللتان نعتبرهما المصدرين المتداخلين في تجربة المرآة الشائبة أو في تجربة المنشور الشائبي هما صورتان تقديريتان لفتحة حقيقية . فيمين الواحدة منهما يقابل يمين الأخرى ويسارها يقابل يسار الأخرى . فإذا فرضنا أن س_١ ص_١ و س_٢ ص_٢ يمثلان عرضي الفتحتين المتداخلتين ١ و ٢ (شكل ١٨٩)

ففي التجربتين المذكورتين تكون نقطة س_١ من احدهما مقابلة لنقطة س_٢ من الأخرى ونقطة ص_١ مقابلة لنقطة ص_٢ . فيكون موضع الهدبة المركزية المضيئة الحادثة عن تداخل المصدرين س_١ و س_٢ على المستوى العمودي المنصف للبعد المحصور بين هاتين النقطتين ، وكذلك يكون موضع الهدبة المركزية المضيئة الحادثة عن تداخل المصدرين ص_١ و ص_٢ على المستوى العمودي المنصف للبعد المحصور بين هاتين النقطتين وهكذا بالنسبة الى سائر النقط الأخرى من الفتحتين فلا تكون اذن مواضع الهدب المركزية منطبقة ولا مواضع الهدب الأخرى ولكن نظراً لأن

البعد بين كل نقطتين متقابلتين واحد فإن البعد بين أية هدتين في مجموعة الهدب الحادثة بفعل كل نقطتين متقابلتين يكون واحداً في جميع المجموعات وينشأ عن عدم الانطباق أن الهدب لا تكون جلية واضحة ما لم تكن الفتحتان ضيقتين جداً

أما في تجربة مرآة لويد فأحد المصدرين المتداخلين هو الفتحة الحقيقية والآخر صورتها التقديرية وبما أن الصورة الحادثة عن الانعكاس عند السطح المستوي تكون مقلوبة انقلاباً جانبياً فإنه إذا فرضنا أن S ص (شكل ١٨٩) يمثل مقطع الفتحة الحقيقية فإن S' ص يمثل مقطع صورتها وتكون كل نقطتين متقابلتين متداخلتين مثل S ٦ أو S' ٦ ص متماثلتين وضعاً ويكون المستوى العمودي المنصف للبعد بين أية نقطتين منها واحداً. فالهدب المركزية في هذه الحالة تكون متطابقة ولكن نظراً لأن البعد بين كل نقطتين متقابلتين ليس واحداً فيها جميعاً فإن البعد بين هدتين متتاليتين من كل مجموعة لا يكون واحداً في جميع المجموعات ويترتب على هذا أن الهدب المركزية وإن كانت متطابقة فإن الهدب الأخرى يختل تطابقها كلما بعدنا عن المركزية

ففي تجربة مرآة لويد قد تكون الفتحة متسعة شيئاً ما وتظهر بالرغم من هذا الهدب القريبة من المركزية جلية واضحة خلافاً لما يحدث في التجربتين الآخرين

٢٢٠ — هذب التداخل في الضوء الأبيض

تبين فيما سبق أن متوسط البعد بين هدتين متتاليتين أو عرض الهدبة يساوي $\frac{\lambda}{2}$ فإذا كان الطول الموجي أطول كان هذا المقداراً كبيراً أى كانت الهدب أبعد بعضها عن الآخر وبالعكس إذا كان الطول الموجي أقصر كانت الهدب أقرب بعضها إلى الآخر. فإذا لم يكن الضوء المنبعث من المصدرين المتداخلين ضوءاً بسيطاً ذا طول موجي معين بل كان مكوناً من موجات مختلفة تختلف أطوالها الموجية بعضها عن الآخر كالضوء الأبيض مثلاً الذي يعد مكوناً من موجات متفاوتة الأطوال أقصرها طولاً موجة الضوء البنفسجي وأطولها موجة الضوء الأحمر، فإن الهدبة

المركزية حيث يكون فرق المسير بين الشعاعين المتداخلين معدوماً يكون موضعها واحداً بالنسبة الى جميع الاضواء ذات الأطوال الموجية المختلفة ، وتكون اذن هدبة مضئية بيضاء . ولكن نظراً لأن الهدب الحمراء أعرض من الهدب البنفسجية فان الهدبة المركزية الحمراء تكون أعرض من الهدبة المركزية البنفسجية . فلو أن الهدبة المركزية تكون بيضاء (أو بالأحرى لالون لها) في الوسط فانها تضرب الى الحمرة عند حافتيها . وبما أن بعد الهدبة المضئية الاولى التي تلي المركزية عن الهدبة المركزية هو $\frac{\lambda}{2}$ فان الهدبة البنفسجية الاولى تكون أقرب الى المركزية من الهدبة الحمراء الاولى . فتكون الهدب اذن ملونة

ويتضح من هذا أن الهدب التي تتكون عندما يكون الضوء المنبعث من المصدرين المتداخلين أبيض تكون هدباً ملونة ، الهدبة المركزية منها بيضاء . ويشاهد عملياً أن عدد الهدب في هذه الحالة محدود ، أي أن الهدبة المركزية البيضاء تكون محفوفة من جانبيها بهدب ملونة لا يتجاوز عدد ما بالجانب الواحد منها نيفاً وعشر هدبة . والسبب في هذا أن مواضع الضياء في هدب ذات لون معين قد تقع على مواضع الظلمة في هدب ذات لون آخر . فيؤول ذلك الى زوال معالم الظلمة الفاصلة بين مواضع الضياء . كما أنه قد يقع موضع هدبة مضئية ذات لون معين على موضع هدبة مضئية ذات لون آخر ويؤول ذلك الى امتزاج الألوان بعضها بالآخر وحدوث الضوء الأبيض . فاذا فرضنا أن فرق المسير عند موضع هدبة مضئية من الهدب التي تتكون من تداخل ضوء ذي طول موجي نرسم له بالرمز λ هو λ فان المقدار $\frac{\lambda}{2}$ قد يكون مساوياً

$$\frac{\lambda}{2} + \lambda$$

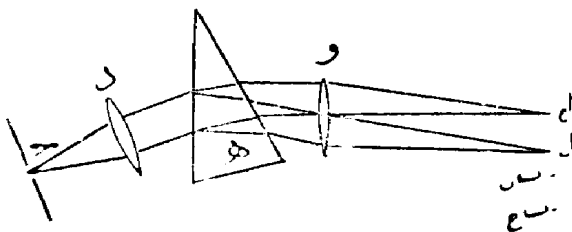
حيث يكون λ الطول الموجي لضوء آخر وقد يكون مساوياً $\lambda + \lambda$ حيث يكون λ الطول الموجي لضوء غير هذا وذاك وهكذا فيكون موضع حدوث الهدبة المضئية من الضوء الأول واقعاً على موضع الظلمة من الضوء الثاني وعلى موضع الضياء من الثالث وهكذا فاذا كانت قيمة λ كبيرة تتعدد الهدب المضئية والهدب المظلمة التي يقع بعضها على الآخر ويكون مأل ذلك احاء الهدب وحدوث الضوء الأبيض

وإذا اختبر الضوء الأبيض المذكور بواسطة سبكتروسكوب ووضعت فتحته بحيث تستمد ضوءها من موضع بعيد عن الهدبة المركزية البيضاء أى من موضع ليست فيه هدب ظاهرة للعين وكانت فتحة السبكتروسكوب موازية للهدبة المركزية والهدب الملونة التى تحف بها من الجانبين، فإن طيف الضوء يرى مكوناً من مناطق مضيئة فى المواضع الطيفية للضوء التى تقع هدبها المضيئة بعضها على الآخر عند موضع فتحة السبكتروسكوب، وبين هذه المناطق المضيئة مناطق مظلمة تدل على المواضع الطيفية للضوء التى يحدث من تداخلها عند موضع الفتحة مظلمة وكما بعد موضع الفتحة عن الهدبة المركزية زاد عدد المناطق المضيئة والمناطق المظلمة التى تتخللها

٢٢١ - الحصول على الهدب اللالونية

اتضح مما سبق أن تداخل الضوء الأبيض يؤدي الى حدوث هدب ملونة تكون الهدبة المركزية منها هدبة لالونية. وبما أن البعدين هدبتين متتاليتين يساوى $\frac{1}{2}$ ر يتضح انه اذا أمكن جعل البعد بين المصدرين المتداخلين وهو λ متناسباً والطول الموجى λ ، فإن البعد بين الهدب يكون واحداً واذن تقع الهدب المضيئة ذات الألوان المختلفة بعضها على الآخر، فتكون هدب بيضاء تسمى «هدباً لالونية» (١)

وللحصول عملياً على الهدب اللالونية يستعان بمرآة لويدي. وطريقة ذلك مبينة تخطيطياً بشكل (١٩٠) حيث تمثل نقطة γ فتحة مستطيلة ضيقة عمودية على مستوى الورقة تضاء بضوء



(شكل ١٩٠)

أبيض موضوعة عند بؤرة عدسة لامة بحيث يتكون منهما مجمع كمجمع السبكتروسكوب تنفذ الأشعة منه متوازية فتقع على منشور مثلاً عند $هـ$ ثم تقع بعد نفوذها منه على عدسة لامة أخرى و

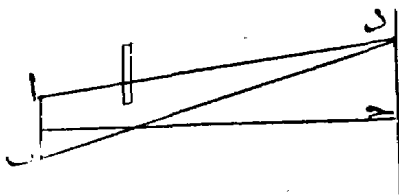
فلم الأشعة الحمراء عند α والبنفسجية عند β ويتكون طيف نقي حقيق كل جزء ذى لون واحد منه بمثابة صورة حقيقية للفتحة γ عمودية على مستوى الورقة. ويتكون هذا الطيف الحقيقى أمام سطح عاكس β يكون بمثابة مرآة لويد فيحدث تداخل بين α باعتبارها صورة حقيقية حمراء للفتحة γ ، وبين صورتها التقديرية الحادثة بالانعكاس وهى β ، وتتكون مجموعة من الهدب الحمراء. ويحدث تداخل بين α باعتبارها صورة حقيقية بنفسجية للفتحة γ ، وبين صورتها التقديرية الحادثة بالانعكاس وهى β ، وتتكون مجموعة من الهدب البنفسجية. فإذا هى سطح المرآة بحيث تكون نسبة البعد $\alpha \beta$ الى البعد $\beta \gamma$ مساوية نسبة الطول الموجى للضوء الأحمر الى الطول الموجى للضوء البنفسجى يكون البعد بين أية هدبتين حمراوين مساوياً البعد بين أية هدبتين بنفسجيتين، فتقع الهدب الحمراء على الهدب البنفسجية. أى اذا رمز للطول الموجى للضوء الأحمر بالرمز α وللطول الموجى للضوء البنفسجى بالرمز β وكان

$$\frac{\alpha \beta}{\beta \gamma} = \frac{\alpha \beta}{\beta \gamma}$$

تطابقت الهدب الحمراء والهدب البنفسجية. وإذا فرضنا عند توافر الشرط المذكور أن نسبة البعد بين أى جزء من أجزاء الطيف $\alpha \beta$ وبين صورة هذا الجزء الى الطول الموجى له، يساوى النسبة المذكورة، تتطابق جميع الهدب المضيئة ذات الألوان المختلفة فيتكون من تطابقها هدب لا لونية. غير أن الفرض الأخير لا ينطبق بالضبط فى حالة الطيف المتكون بواسطة المنشور فلا تكون الهدب لا لونية على وجه التمام

٢٢٢ - تحول الهدب عن مواضعها

إذا فرضنا أن $\alpha \beta$ (شكل ١٩١) مصدران متداخلان فى طور واحد من الحركة، وأن



(شكل ١٩١)

نقطة γ موضع الهدبة المركزية، حيث يكون $\alpha \beta \gamma$ متساويين، وتكون نقطة δ موضع تقابل القمتين الصادرتين من $\alpha \beta$ فى وقت واحد، وموضع تقابل

القرارين الصادرين منهما في وقت واحد ، ثم حدث لسبب ما أن القمة الصادرة من a تخلفت في أثناء انتقالها نحو c عن القمة الصادرة من b عند وقت صدور الاولى من a ، وكان هذا التخلف بمقدار نصف الطول الموجي ، فإن نقطة c تكون موضع ظلة ، ويكون موضع تقابل القمتين الصادرتين من a و b في وقت واحد (أو تقابل القرارين الصادرين في وقت واحد) ، هو الموضع الذي كان عنده يبلغ فرق المسير بين الشعاعين المتداخلين نصف الطول الموجي . واذن يكون موضع الهدبة المركزية عند حدوث هذا التخلف هو الذي كان موضع أول ظلام يلي الهدبة المركزية المضيئة في الجانب الموجود فيه المصدر a قبل حدوثه . وكذلك يكون موضع نقطة مثل d يبلغ عندها فرق المسير بين الشعاعين المتداخلين طولاً موجياً هو الموضع الذي كان يبلغ لديه فرق المسير قبل حدوث التخلف ثلاثة أنصاف الطول الموجي وهكذا فتكون نتيجة حدوث هذا التخلف أن الهدبة المركزية تزاوح الى موضع أول ظلام يليها من الجانب الموجود فيه المصدر a والهدبة المضيئة الاولى تزاوح الى موضع الظلام الذي يليها وهكذا . أي أن مجموعة الهدب كلها تزاوح الى الجانب المذكور بحيث تحل الهدبة المضيئة مكان الظلام الذي يليها رأساً

وبالمثل اذا كان التخلف المفروض مساوياً طولاً موجياً واحداً ، أزيحت الهدب بحيث تحل المضيئة مكان المضيئة التي تليها . فإذا كان التخلف المفروض مساوياً n أزيحت الهدب أو تحولت عن أمكنتها بحيث تحل المركزية مكان الهدبة المضيئة النونية وتحل أية هدبة مضيئة مكان الهدبة النونية المضيئة التي تليها من الجانب الموجود فيه المصدر a . وبالمثل اذا تخلفت الموجات الصادرة من b عن الموجات الصادرة من a بمقدار n ، فإن الهدب تتحول عن أمكنتها بحيث تحل الهدبة المضيئة مكان المضيئة النونية التي تليها من الجانب الموجود فيه المصدر b . أي أن التحول يحدث نحو الجانب الذي تصدر منه الموجات التي طرأ عليها التخلف .

وإذا كان الوسط الذي تنتشر فيه موجات الضوء الصادرة من المصدرين a و b (شكل ١٩١) هو الهواء أو الاثير ، ثم جعلنا في مسير الضوء الصادر من المصدر a مثلاً لوحاً رقيقاً من مادة أكبر كثافة ضوئية كالزجاج ، فعلى فرض أن سرعة الضوء في هذه المادة أقل من سرعته في الهواء ، يستغرق الضوء الصادر من المصدر a في اختراق سمك هذا اللوح زمناً أكبر

نما يستغرقه الضوء الصادر من ب في قطع مسافة في الهواء تساوى سمك هذا اللوح . فاذا رمز لسمك اللوح بالحرف s ولسرعة الضوء في الهواء بالحرف c ولسرعته في مادة اللوح بالرمز c' فإن الزمن الذى يستغرقه الضوء الصادر من المصدر ا في النفاذ خلال اللوح يزيد عن الزمن الذى يستغرقه الضوء الصادر من ب في قطع مسافة في الهواء تساوى سمك اللوح بالمقدار

$$\frac{s}{c} - \frac{s}{c'}$$

ويساوى هذا التخلف الزمنى الذى يحدث بين القمتين الصادرتين من ا و ب في وقت واحد ، أو بين القرارين الصادرين منهما في وقت واحد ، وفي خلال هذه الفترة الزمنية تسبق القمة أو القرار الصادر من ب القمة أو القرار الصادر في الوقت نفسه من ا بمقدار يساوى حاصل ضرب هذه الفترة في سرعة الضوء في الهواء ، أى بمقدار

$$\left(\frac{c}{c'} - 1 \right) s = s' \quad (1)$$

وبالرمز لمعامل انكسار الضوء في مادة اللوح بالحرف n يكون المقدار المذكور مساوياً

$$s' = (n - 1) s$$

واذن تأثير وضع اللوح في مسير الضوء الصادر من ا يجعل الموجات الصادرة من هذا المصدر تتخلف بمقدار $s' = (n - 1) s$ عن الموجات الصادرة من المصدر ب فاذا كان المقدار

$$s' = (n - 1) s$$

تحولت الهدب (عند وضع اللوح) عن أمكنتها الاولى بحيث تحل الهدبة المضئية مكان الهدبة المضئية النونية التى تليها من الجانب الموجود فيه المصدر ا . فاذا عرف قدر الازاحة الحادثة في الهدب (أى قيمة n) عند ما يوضع لوح ذو سمك معين من مادة ما في مسير الضوء الصادر من أحد المصدرين وعرف الطول الموجى λ للضوء المستعمل ، أمكن من المعادلة المذكورة إيجاد قيمة s . كما أنه اذا عرف معامل انكسار الضوء في المادة ولم يكن السمك معروفاً ، أمكن إيجاد قيمة s . وكذلك بتعيين الجانب الذى تزاخ اليه الهدب ، يمكن معرفة ما اذا كانت سرعة الضوء في مادة اللوح الموضوع أصغر أو أكبر من سرعته في الوسط الخارجى

٢٢٣ - تحول الهدب الملونة عن مواضعها

رأينا فيما سبق أن فرق المسير الحادث من جراء وضع لوح من المادة في سبيل الضوء الصادر من أحد المصدرين المتداخلين هو $s(1 - m)$ فإذا ترتب على هذا أن انتقلت الهدبة المضيئة المركزية مكان الهدبة المضيئة النونية يكون

$$s(1 - m) = n \quad (١) \dots\dots\dots$$

ولكن مكان الهدبة المضيئة النونية يبعد عن مكان الهدبة المركزية المضيئة بمقدار

$$s \frac{E}{1} = n \quad (٢) \dots\dots\dots$$

ومن المعادلتين (١) و (٢) يتضح أن المسافة التي تراح خلالها الهدبة المركزية المضيئة من

جاء وضع اللوح في مسير أحد الشعاعين المتداخلين هي

$$s \frac{E}{1} = n(1 - m)$$

ولما كان معامل الانكسار يختلف باختلاف الطول الموجي وهو للبنفسجي أكبر منه للأحمر

فإن هذه المسافة تكون للهدب البنفسجية أكبر منها للهدب الحمراء

فإذا راعينا التداخل في الضوء الأبيض حيث تتكون هدبة مركزية لالونية يحف بها من

الجانبين هدب ملونة ، ووضع اللوح في سبيل الضوء المنبعث من أحد المصدرين المتداخلين ،

فإن اختلاف ازاحة الهدبة المركزية البنفسجية عن ازاحة الهدبة المركزية الحمراء يجعل الهدب

الملونة التي كانت متطابقة من قبل ومحدثة للهدبة المركزية اللالونية، تشتت عند تحول الهدب عن

أمكنها. كذلك إذا راعينا إحدى الهدب البنفسجية قبل حدوث الازاحة (ولتكن الأولى مثلاً) .

والهدبة الحمراء المقابلة لها (أى الأولى أيضاً) فإن الهدبة البنفسجية تكون أقرب الى المركزية

من الحمراء ، ولكنها تراح بمقدار أكبر من ازاحة الحمراء . فن الجائز إذن أن تكون نتيجة

الازاحة أن تقع البنفسجية والحمراء (وكذلك الهدب التي بينهما ذات الألوان الأخرى) في

موضع واحد أو موضع يكاد يكون واحداً ، فتكون من ذلك هدبة تكاد تكون لالونية تسمى

الهدبة اللالونية في الهدب المزاحة . وإذن تكون نتيجة تحول الهدب عن مواضعها أن الهدبة

اللالونية المركزية الأصلية تشتت الى هدب ملونة منفصلة ، وإن هدبا ملونة منفصلة تتطابق أو

تكاد تتطابق فتحدث هدبة لالونية ، فلا تكون الهدبة اللالونية في الهدب المزاحة هي الهدبة اللالونية الأصلية وقد أزيحت عن مكانها

ولايجاد شرط تكون الهدبة اللالونية في الهدب المزاحة نفرض أن الهدب ذات الطول الموجي λ قد أزيحت خلال مسافة قدرها s أى أن كل هدبة من هذه الهدب زاد بعدها عن الهدبة المركزية بمقدار s ، فإذا راعينا الهدبة النونية منها فإن بعدها عن المركزية كان قبل الازاحة مساوياً λ_1 ، واذن يصير بعد الازاحة

$$s + \lambda_1 = \lambda$$

$$(3) \quad \dots \dots \dots (1 - m) s + \lambda_1 = \lambda$$

فاذا كان المقدار المذكور واحداً أو يكاد يكون واحداً لا يختلف باختلاف الطول الموجي λ ، فإن الهدب ذات الألوان المختلفة يقع بعضها على الآخر في موضع على بعد من الهدبة المركزية الأصلية قدره المقدار المذكور واذن شرط حدوث الهدبة اللالونية بعد الازاحة أن يكون

$$\frac{s}{\lambda} = \text{صفراً}$$

$$(4) \quad \dots \dots \dots \text{صفراً} = \left[(1 - m) s \right] \frac{1}{\lambda} + \lambda_1 = \lambda$$

والمقدار المحصور بين القوسين الكبيرين دالة للطول الموجي λ . ويمكن تعيين قيمتها بالتقريب اذا رجعنا الى معادلة تدل على علاقة معامل انكسار الضوء بالطول الموجي تعرف بمعادلة « كوشى »^(١) وتنص على أن

$$(5) \quad \dots \dots \dots + \frac{1}{\lambda} + 1 = m$$

حيث تكون المقادير m الخ مقادير ثابتة تتوقف على نوع المادة الحادث فيها الانكسار فاذا اكتفينا بالحدين الاول والثاني من الطرف الايسر من معادلة « كوشى » واستبدلنا بالمقدار m في المعادلة (٤) قيمتها من المعادلة (٥) يتضح أن شرط تكون الهدبة اللالونية يكون

$$= \text{صفرا} \quad \frac{e}{r_1} - 2 - \frac{e}{r_2}$$

$$\frac{e}{r_2} - 2 = 0$$

وبالتعويض في المعادلة (٣) ينتج أن

$$e = \left(1 - 2 + \frac{r_2}{r_1} \right) \frac{e}{r_1}$$

وتكون قيمة r المذكورة هي بعد موضع الهدبة اللالونية (الحادثة عند تحول الهدب عن أمكنتها) عن موضع الهدبة المركزية الأصلية . ويلاحظ في هذا المقدار أن r معامل انكسار الضوء ذى الطول الموجى r ب الثابت في معادلة كوشى r سمك المادة المحدثه لتحول الهدب r البعد بين المصدرين المتداخلين r بعد الهدب عن المصدرين المتداخلين

وبما أن عرض الهدبة عند ما يكون الطول الموجى للضوء r هو $\frac{e}{r_1}$ ، فإن المسافة r المذكورة تشمل عدداً من الهدب ذات الطول الموجى r يساوى

$$\left(1 - 2 + \frac{r_2}{r_1} \right) \frac{e}{r_1}$$

أى أنه اذا تكونت الهدب من تداخل ضوء بسيط ذى طول موجى قدره r فإن عدد هدب هذا الضوء المنحصرة بين موضع الهدبة المركزية الأصلية وبين موضع الهدبة اللالونية الحادثة بعد الازاحة يساوى المقدار المذكور

٢٢٤ - تطبيق التداخل فى الضوء الأبيض لقياس الازاحة الحادثة فى الهدب

اذا استعمل ضوء بسيط ذولون واحد وحصلنا من مصدرين متداخلين مثلاً على مجموعة من الهدب ذات اللون الواحد ثم وضعنا فى سبيل الضوء المنبعث من أحدهما لوحاً رقيقاً فأحدث فرقاً فى المسير قدره

$$r = (1 - r) \cdot r$$

فإن الهدبة المضئية تتحول عن مكانها الى مكان الهدبة النونية التي تليها حيث تكون قيمة r طبقاً للمعادلة السابقة . ولكن ما لم يحدث هذا التحول يبطئ حتى يتيسر متابعته بالعين ، وحصراً عدد الهدب المضئية التي تمر مثلاً بالخيط الرأسى فى القطعة العينية التي يستعان بها فى رؤية الهدب وإيجاد قيمة r بهذه الكيفية ، فإنه لا يمكن تعيين قيمة r عملياً لأن الهدب جميعها متشابهة ولا تتميز واحدة منها عن الأخرى بشيء ما . فسواء أكانت الهدب فى أمكنتها الأصلية أم تحولت فحلت احداها مكان الأخرى فظهرها فى الحالتين واحد حتى اذا تحولت المضئية مكان المظلمة فإنه لا يمكن الجزم بما اذا كانت الاراحة مساوية نصف عرض الهدبة أو ثلاثة أمثال ذلك أو خمسة أمثاله الخ .

ولتعيين قدر الاراحة فى هذه الحالة يستعان بالضوء الأبيض ويحصل على مجموعة الهدب الملونة والهدبة اللالونية المركزية فى وسطها . فاذا وضع اللوح فى سبيل الضوء المنبعث من المصدرين تكونت هدبة لالونية فى موضع آخر غير موضع اللالونية الأولى فاذا عين هذان الموضعان وأعيد تكوين الهدب ذات اللون الواحد ، وحصراً عدد ما يقع منها بين هذين الموضعين يتضح مما فى البند السابق أن هذا العدد يكون مساوياً

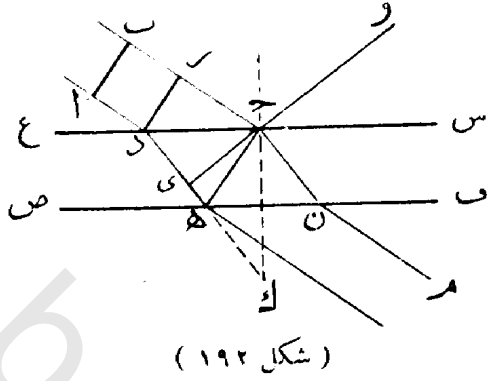
$$\left(1 - r + \frac{r^2}{2}\right) \cdot r$$

فاذا قدر هذا العدد عملياً وعرفت قيمة الثابت r والطول الموجى λ وأحد اسقدارين m أو m' أمكن استخراج قيمة الثانى

٢٢٥ — التداخل فى الأغشية الرقيقة

(أولاً) التداخل الحادث بالانعكاس

لفرض أنه يوجد فى وسط كالهواء أو الاثير غشاء رقيق من مادة شفافة والغشاء محدود بالسطحين



المتوازيين س ع ف ص شكل (١٩٢) . فاذا

سقط على السطح الأول للغشاء شعاع من الضوء مثل

و ح فانه ينقسم بوجه عام قسمين أحدهما ينعكس

في استقامة ح ب ، والآخر ينكسر في استقامة هـ

فاذا وصل هذا الى نقطة هـ فانه هو أيضاً ينقسم قسمين

أحدهما ينعكس في استقامة هـ د ، والآخر ينفذ خارجاً من الغشاء . كما أن الشعاع هـ د هو أيضاً

ينقسم عند د قسمين أحدهما ينفذ خارجاً في استقامة د ا والآخر ينعكس داخل الغشاء . والشعاعان

ح ب و د ا متوازيان فاذا فرضنا أن ا ب يمثل صدر موجة مستوية تقع على السطح س ع فان

الموجة الصادرة من ب وتأخذ المسير ب ح و والموجة الصادرة من ا وتأخذ المسير ا د هـ و

يكون بينهما فرق في المسير عند سيرهما في استقامة ح و . فاذا أسقط من نقطة د العمود د ر على

ب ح ، ومن نقطة ح العمود ح ي على د هـ ، يتضح من طريقة رسم الشعاع المنكسر طبقاً لقاعدة

هيجنز (بند ١٩٤) ، أن الموجة الصادرة من ر تبلغ نقطة ح في الوسط الأول في الوقت الذي تبلغ

فيه الموجة من د نقطة ي في الوسط الثاني . فتكون نقطتا ح ي في طور واحد من الحركة .

واذن يكون فرق المسير بين الموجتين المذكورتين عند وصولهما الى نقطة ح مساوياً للمسير

ي هـ ح في مادة الغشاء

فاذا أقمنا من ح عموداً على سطحى الغشاء ومددنا المستقيم د هـ ليتقابل وهذا العمود في نقطة

ك يتضح أن

$$ي هـ + هـ د = ي ك$$

فاذا رمزنا لسمك الغشاء بالحرف z ولزاوية انكسار الشعاع د هـ بالحرف θ فان زاوية ي ك

$$= \theta$$

$$ي ك = \theta \text{ و } \theta \text{ ح تا هـ}$$

واذن يكون فرق المسير بين الشعاعين ب ح و د هـ ح عند وصولهما الى نقطة ح مساوياً

$\theta \text{ ح تا هـ}$ مقيساً في مادة الغشاء . ولما كان الزمن الذي يستغرقه الضوء في قطع مسافة معينة في

مادة مايساوى الزمن الذى يستغرقه فى قطع مسافة فى الهواء أو الأثير تساوى حاصل ضرب تلك فى معامل انكسار الضوء فى المادة المذكورة يكون فرق المسير بين الشعاعين المذكورين مقيساً فى الهواء أو الأثير هو

$$٢ \text{ م حتا ه}$$

باعتبار أن م معامل انكسار الضوء فى مادة الغشاء

ويتراءى من هذا أول وهلة أن الشعاع > و المنعكس عند السطح الأول للغشاء والشعاع الذى يخرج فى استقامة > و ولكنه ينعكس عند ه عند السطح الثانى للغشاء يكون الفرق فى المسير بينهما ٢ و م حتا ه . فإذا كان الفرق مساوياً أضعاف الطول الموجى للضوء قوى الشعاعان أحدهما الآخر، وإذا كان مساوياً عدداً فردياً من نصف الطول الموجى أضعف الشعاعان أحدهما الآخر. لولا أن الانعكاس عند أحد سطحي الغشاء يختلف عن الانعكاس عند السطح الآخر، فأحدهما يحدث والضوء يسقط من وسط أصغر كثافة ضوئية على سطح وسط أكبر كثافة، والآخر يحدث والضوء يسقط من وسط أكبر كثافة على سطح وسط أصغر كثافة . وكما تبين من تجربة «مرآة لوييد» يكون الانعكاس الأول مقروناً بتغير فى الطور قدره π ، أى أن القمة تنعكس قراراً والقرار ينعكس قمة ، واذن ينتج إذا كان المقدار

$$٢ \text{ م حتا ه} = n \dots \dots (١)$$

أن الشعاعين يضعف أحدهما الآخر، فإذا كان اتساع الاهتزازة فيهما واحداً عدمت الحركة الاهتزازية وحدثت ظلمة . أما إذا كان المقدار

$$٢ \text{ م حتا ه} = \frac{n}{2} (١ + n) \dots \dots (٢)$$

فان الشعاعين يقوى أحدهما الآخر

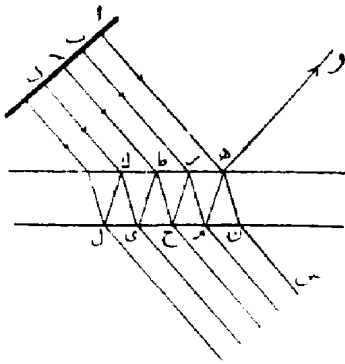
(ثانياً) التداخل الحادث بالانكسار

وإذا راعينا الضوء النافذ من الغشاء من الجانب الآخر منه يتضح أن الموجة الصادرة من نقطة ب على صدر الموجة المستوية ا ب ، والتي تأخذ المسير > ن م ، والموجة الصادرة من ا والتي تأخذ المسير ا د ه > ن م ، يكون فرق المسير بينهما ٢ و م حتا ه .

ولكن يلاحظ أن الشعاع الأول ب - ح ن م - ينفذ خلال الغشاء من غير انعكاس ، وإن الشعاع الثاني ينعكس مرتين ، أحدهما عند نقطة هـ والآخرى عند نقطة ح . فإذا كانت مادة الغشاء أكبر كثافة ضوئية من الوسط الخارجى لا يكون هذان الانعكاسان مقرونين بتغير ما فى الطور . وإذا كانت مادة الغشاء أقل كثافة ضوئية فإن كلا منهما يكون مقروناً بتغير فى الطور قدره π ، وإذا كان تغير الطور الحادث من جراء الانعكاسين 2π ، فكأنه غير موجود . ويتبين من هذا أنه سواء أكان الغشاء أكبر كثافة ضوئية من الوسط الخارجى أم أقل كثافة فإن الشعاعين يقوى أحدهما الآخر إذا توافر شرط المعادلة (١) ويضعف أحدهما الآخر إذا توافر شرط المعادلة (٢)

٢٢٦ - أثر تعدد الانعكاسات الداخلية فى التداخل فى الأغشية الرقيقة

راعيان فى الحالة الأولى فى البند السابق التداخل بين الشعاع المنعكس رأساً عند السطح



(شكل ١٩٣)

الأول للغشاء وبين الشعاع المنعكس عند السطح الثانى وراعيان فى الحالة الثانية التداخل بين الشعاع الذى ينفذ خلال الغشاء رأساً وبين الشعاع الذى ينفذ بعد أن ينعكس انعكاساً داخلياً مرتين . وفى كلتى الحالتين لا يكون اتساع الاهتزازة فى الشعاعين واحداً . فإذا تداخل الشعاعان وتوافر شرط الظلمة لا يكون التداخل بينهما تاماً ، فلا تعدم الحركة الاهتزازية من جراء ذلك

ولكن إذا فرضنا أن ا ب ح د (شكل ١٩٣) صدر موجة مستوية تقع على سطح الغشاء فإن الموجة التى تأخذ المسير ا هـ و تتداخل (أولاً) والموجة التى تأخذ المسير ب ر م هـ وهذه تنعكس انعكاساً داخلياً مرة واحدة عند م (ثانياً) والموجة التى تأخذ المسير ح ط ح ر م هـ وهذه تنعكس انعكاساً داخلياً ثلاث مرات عند ح ، ر ، م (ثالثاً) والموجة التى تأخذ المسير د ك ي ط ح ر م هـ وهذه تنعكس انعكاساً داخلياً خمس مرات عند ك ، ط ، ر ، م ، هـ

ح ٦ ر ٦ م - . وهكذا فإذا أمكن إيجاد محصلة الاهتزازة الحاصلة بفعل المويجة التي تنعكس انعكاساً داخلياً واحداً وبفعل المويجة التي تنعكس انعكاساً داخلياً ثلاث مرات ، ثم بفعل التي تنعكس خمس مرات وهكذا . فإن التداخل الحادث عند ه يكون نتيجة هذه المحصلة والاهتزازة الحادثة بفعل المويجة التي تنعكس رأساً عند ه .

ولسهولة البحث في هذه المسألة نراعي الحالة التي يكون فيها فرق المسير بين الشعاع الواقع من ا على نقطة ه وبين الشعاع الواصل الى نقطة ه بعد أن يعانى انعكاساً داخلياً عند م - هو

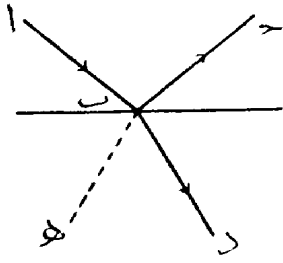
$$٢ \text{ و } ٣ \text{ م ح تا ه} = ٢ \text{ و } ٣$$

حيث يضعف الشعاعان أحدهما الآخر ولنفرض أن مادة المنشور ا أكبر كثافة ضوئية من الوسط الخارجى . فعند توافر هذا الشرط يكون فرق المسير بين الشعاع الاول وبين الشعاع الذى يصل الى نقطة ه بعد أن يعانى ثلاثة انعكاسات داخلية ضعف المقدار المذكور ، وبين الشعاع الاول وبين الشعاع الذى يصل الى نقطة ه بعد أن يعانى خمسة انعكاسات داخلية ثلاثة أمثال المقدار المذكور وهكذا . واذن تكون الفرق بين الشعاع الاول وبين كل واحد من هذه الأشعة أضعاف الطول الموجى . واذن يكون الفرق بين طور الاهتزازة الحادثة عند ه بفعل الشعاع ا ه (قبل الانعكاس) وأطوار الاهتزازة الحادثة بفعل الأشعة الأخرى التي تتعدد انعكاساتها الداخلية مساوياً أضعاف ٢ ط ، فيمكن اعتبار أطوارها جميعاً متحدة . فإذا عرف اتساع هذه الاهتزازات كان اتساع محصلتها مساوياً بمجموع هذه الاتساعات

٢٢٧ - العلاقة بين اتساعات الاهتزازة في الأشعة المنعكسة والمنكسرة

وكان « ستوكس » ^(١) أول من قدر العلاقة بين اتساع الاهتزازة في الشعاع الذى ينعكس عند السطح الأول للغشاء واتساعها في الأشعة الأخرى التي تتعدد انعكاساتها الداخلية . وطبق في ذلك قاعدة « قبول العكس »

فإذا فرضنا أن ا ب (شكل ١٩٤) شعاع ساقط ٦ ب ح مسير المنعكس ٦ ب د مسير المنكسر،



ورمزنا لاتساع الاهتزازة في الشعاع الساقط بالحرف ا وفرضنا
أن اتساعها في المنعكس كسر قدره ب من اتساعها في الساقط .
واتساعها في المنكسر كسر قدره د من اتساعها في الساقط . كان
اتساع الاهتزازة في المنعكس ا - ب وفي المنكسر ا - د

فاذا فرضنا أن الشعاع المنعكس ب - ح قد عكس مسيره فان ذلك (شكل ١٩٤)

يؤدي الى شعاع ينعكس في استقامة ب ا يكون اتساع الاهتزازة فيه ا - ب . ويؤدي الى شعاع
منكسر في استقامة ب هـ يكون اتساع الاهتزازة فيه ا - د . كذلك اذا عكس مسير الشعاع
ب د ، فان ذلك يؤدي الى شعاع منكسر في استقامة ب ا وشعاع منعكس في استقامة ب هـ .
غير أن الضوء في هذه الحالة يقع من الوسط الثاني الى الأول فتكون نسبة اتساع الاهتزازة في
المنعكس أو المنكسر الى اتساعها في الساقط غيرها في الحالة الأولى عند وقوع الضوء من الوسط
الأول الى الوسط الثاني . فاذا فرضنا أن اتساع الاهتزازة في المنكسر عند وقوع الضوء من الوسط
الثاني الى الأول كسر قدره هـ من اتساعها في الساقط ، وأن اتساعها في المنعكس كسر قدره و من
اتساعها في الساقط ، يكون اتساع الاهتزازة في الشعاع المنكسر ب ا الحادث عن عكس مسير ب د
هو ا - د ، ويكون اتساعها في الشعاع المنعكس ب هـ الحادث عن عكس مسير ب د هو ا - هـ ، و
وطبقاً لقاعدة قبول العكس فان عكس مسير ب - ح ، مسير ب د يؤدي الى حدوث شعاع
كالشعاع الأصلي ا ب ولكن مسيره معكوس . وبما أن اتساع الاهتزازة في الشعاع الحادث في
استقامة ب ا عن عكس مسير ب - ح هو ا - ب واتساعها في الشعاع الحادث في الاستقامة نفسها عن
عكس مسير ب د هو ا - د هـ ، واتساع الاهتزازة في الشعاع الساقط الأصلي هو ا ، ينتج أن

$$1 = 1 + 2 - 1 = 1 \therefore 1 = 2 + 3 - 1 \dots (1)$$

كذلك بما أن اتساع الاهتزازة في الشعاع الحادث في استقامة ب هـ عن عكس مسير ب - ح هو
ا - د واتساعها في الشعاع الحادث في الاستقامة نفسها عن عكس ب د هو ا - هـ ، وبما أنه طبقاً
لقاعدة قبول العكس لا يحدث في هذه الاستقامة شعاع ما عن عكس مسير الشعاعين ب - ح
ب د ينتج أن

$$١ + ١ + ١ = ٣ \quad \therefore - = - \dots (٢)$$

ويستدل من المعادلة (٢) على أن اتساع الاهتزازة في الشعاع المنعكس سواء أوقع الشعاع من الوسط الأول على الثاني أم من الثاني على الأول يكون واحداً في المقدار . وتفسر الإشارة السالبة بانها دليل التغير الحادث في الطور عند أحد هذين الانعكاسين

٢٢٨ - التداخل التام في الأغشية الرقيقة

فإذا رمزنا الآن لاتساع الاهتزازة في كل من الأشعة h و g بـ $ط$ الخ (شكل ١٩٣) بالحرف $ط$ فإن اتساعها في الشعاع المنعكس رأساً عنده يكون $١ - ط$. واتساعها في المنكسر $رم$ الحادث عن الشعاع الساقط $ب$ يكون $١ + ط$ ، فإذا انعكس $رم$ في استقامة $م$ يكون اتساع الاهتزازة في المنعكس $م$ هو $١ + ط$ ، فإذا انكسر الشعاع $م$ في استقامة $هـ$ ويكون اتساع الاهتزازة في المنكسر $١ + ط$. فيكون هذا المقدار اتساع الاهتزازة في الشعاع الذي ينفذ خارجاً من السطح الأول للغشاء بعد أن يعانى انعكاساً داخلياً واحداً . وبالمثل يمكن بيان أن اتساع الاهتزازة في الشعاع الذي يخرج في استقامة $هـ$ وبعد أن يعانى ثلاثة انعكاسات داخلية هو $١ + ٣ط$ واتساعها في الذي يخرج في الاستقامة نفسها بعد أن يعانى خمسة انعكاسات هو $١ + ٥ط$ وهكذا

واذن يكون اتساع محصلة هذه الاهتزازات هو مجموع المتوالية الهندسية اللانهائية الآتية

$$١ + ١ + ط + ١ + ٣ط + ١ + ٥ط + \dots$$

$$= (١ + ط + ٣ط + ٥ط + \dots)$$

$$\frac{١ + ط}{١ - ط} =$$

ولكن يتضح في البند السابق من معادلة (١) أن $١ + ط = ١ + ط$ ومن معادلة (٢) أن $١ - ط = ١ - ط$

$\therefore$ مجموع المتوالية يساوى

$$١ - ط = ١ - ط$$

اذن اتساع محصلة الاهتزازات الحادثة بفعل الشعاع الذي ينعكس انعكاساً داخلياً واحداً والذي ينعكس انعكاساً داخلياً ثلاث مرات وهكذا ، يساوى اتساع الاهتزازة في الشعاع الذي

ينعكس رأساً عند السطح الأول . والاشارة السالبة دليل على أن طوريهما متضادان . فيكون التداخل الحادث تداخلا تاماً يؤدي الى عدم الحركة الاهتزازية ويؤدي الى ظلمة تامة

هذا فيما يتعلق بالتداخل الحادث بالانعكاس . أما فيما يتعلق بالتداخل الحادث بالانكسار فان اتساع الاهتزازة في الشعاع ن س (شكل ١٩٣) النافذ رأساً خلال الغشاء يكون مساوياً ١ هـ . واتساع الاهتزازة في الشعاع الذي ينفذ في استقامة ن س بعد أن يعاني انعكاسين داخلين يكون مساوياً ١ هـ ٢ هـ . واتساع الاهتزازة في الشعاع الذي ينفذ في استقامة ن س بعد أن يعاني أربعة انعكاسات داخلية يكون ١ هـ ٤ هـ وهكذا واذن يكون اتساع محصلاتها جميعاً

$$١ هـ + ١ هـ ٢ هـ + ١ هـ ٤ هـ + \dots$$

$$١ = \frac{١ هـ}{٢ هـ - ١ هـ} =$$

أى أن نتيجة تداخل جميع الأشعة التي تنفذ خارجة في استقامة من ، ان يحدث في هذا الاتجاه شعاع كأحد الأشعة الأصلية الساقطة على السطح الأول للغشاء

٢٢٩ - هدب التداخل في الأغشية الرقيقة وألوان هذه الأغشية

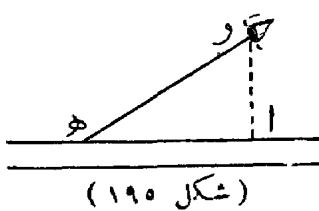
فرضنا فيما سبق أن موجة مستوية صدرها اب ح د (شكل ١٩٣) تقع على الغشاء . ومن المناسب تفسير هذا الفرض بما يجعله متفقاً والاعتبارات المألوفة . يتضح بالنظر الى شكل (١٩٣) انه اذا لم يكن الغشاء رقيقاً ، فلنكن يمكن الحصول على شعاع ينفذ في استقامة هـ و بعد أن يعاني انعكاسات داخلية عدة يجب أن يكون صدر الموجة المستوية ذا اتساع كبير . ولكن اذا كان الغشاء رقيقاً جداً فانه يكفي لتكرار تعدد الانعكاسات الداخلية أن يكون صدر الموجة المستوية ذا مساحة صغيرة . فاذا أضى سطح الغشاء بضوء صادر من مصدر معتاد فان أية نقطة من المصدر يمكن اعتبارها مركزاً تنتشر منه موجات كرية . فاذا وقعت موجة كرية منها على الغشاء وروعى جزء صغير من سطحها أمكن اعتباره مستوياً فيصح بالنسبة اليه ما سبق ذكره عن الموجة المستوية . والجزء الصغير من صدر الموجة الكرية الواقع على الغشاء هو بمثابة حزمه ضوئية ضيقة اتجاهها عمودى على الجزء المذكور من صدر الموجة . اذن يكفي لحدوث

التداخل فى الأغشية الرقيقة بالكيفية التى سبق ذكرها أن تقع عليها حزمة ضيقة جداً من الأشعة ، أو كما يقال بإيجاز أن يقع عليها شعاع من الضوء صادر من مصدر أياً كان

ويمكن النظر الى الظاهرة من وجهة أخرى . فإذا فرضنا أن h (شكل ١٩٣) شعاع ساقط على سطح الغشاء وانعكس منه جزء فى استقامة h ثم نفذ جزء خارجاً فى استقامة r بعد أن ينعكس انعكاساً داخلياً واحداً عند m ثم آخر فى استقامة p - بعد أن ينعكس ثلاثة انعكاسات داخلية وهكذا ، تكون جميع هذه الأشعة متوازية ومستمدة من شعاع واحد فى الأصل هو h ، وتكون اذن قابلة للتداخل حيث تكون نتيجة هذا التداخل متوقفة على ما بينها من فروق المسير . ونظراً لأن اتساع الاهتزازة فى هذه الأشعة يقل كلما تعدد الانعكاس يتضح أن مسيرات الأشعة التى يكون لها تأثير يذكر تكون متقاربة جداً تكاد تكون متطابقة اذا كان سمك الغشاء صغيراً جداً فيتسنى فى هذه الحالة وقوعها جميعها على العين وحدوث التداخل الذى سبق ذكره بين الضوء المنعكس عند السطح الأول والضوء المنعكس عند السطح الثانى للغشاء

بعد هذا التوضيح يسهل شرح كيفية حدوث الظواهر المتعلقة بالتداخل التى ترى اذا نظر الانسان الى غشاء رقيق فى ظروف خاصة . وسنراعى فيما يلى حالتين : —

الاولى حالة غشاء رقيق منتظم السمك يقع عليه ضوء صادر من مصدر منبسط عريض . ولنفرض أولاً أن الضوء بسيط ذولون واحد . فاذا كانت العين فى نقطة مثل o (شكل ١٩٥) ووجهت بحيث ترى نقطة مثل h ، أو بالأحرى مساحة تفاضلية من سطح الغشاء ، فنظراً لضيق



(شكل ١٩٥)

انسان العين ، فإن الحزمة الضوئية الواقعة عليها تكون ضيقة لاسيما اذا كانت العين على بعد مناسب من الغشاء ، واذن لسهولة الشرح يمكن اعتبار الرؤية حادثة عن وقوع الشعاع المفرد h وعلى العين

فى التداخل بالانعكاس تكون نقطة h من السطح مضيئة اذا توافر شرط المعادلة

$$2m \cos \theta = (1 + n_2) \frac{\lambda}{2}$$

باعتبار أن m رمز لسمك الغشاء ، n_2 معامل انكسار الضوء فيه ، θ لزاوية الانكسار ، و

للطول الموجى ، وباعتبار أن n_2 تكون لها احدى القيم الآتية : صفر او ١ او ٢ او ٣ الخ .

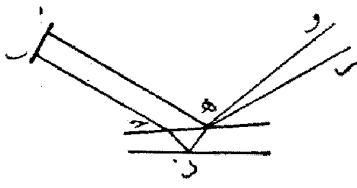
فاذا تحددت قيمة θ فالنقط التي مثل h حيث تكون قيمة زاوية الانكسار عندها واحدة واذن قيمة زاوية السقوط واحدة ، المحل الهندسى لها محيط دائرة مركزها نقطة a ، مسقط العمود الواقع من o على سطح الغشاء . فترى العين اذن مناطق مضيئة من السطح على هيئة دوائر وبينها بعضها والآخر ظلمة . فترى العين هدباً مستديراً كحلقات وتكون هذه الحلقات هي المحل الهندسى للنقط التي تكون فيها زاوية الانكسار واحدة ، واذن زاوية السقوط واحدة

كذلك اذا روعى التداخل بالانكسار فان العين ترى هدباً على هيئة حلقات مركزها نقطة تقابل العمود الواقع من العين مع سطح الغشاء . وحيث يتوافر شرط المعادلة المذكورة آنفاً تكون الظلمة

أما اذا أضىء سطح الغشاء بضوء أبيض صادر من مصدر منبسط كما يحدث اذا وقع على سطح الغشاء ضوء السماء ، فان الهدب التي ترى تكون ملونة . ويتضح من بند (٢٢٠) انه لكي ترى الهدب يجب أن يكون سمك الغشاء صغيراً جداً حتى لا يكون فرق المسير بين شعاعين متداخلين كبيراً . ويلاحظ أيضاً انه اذا توافر شرط الظلمة بالنسبة الى ضوء ذى لون معين فان الضوء الواصل الى العين من الجزء المعين من سطح الغشاء يكون لونه متمماً للون ذلك الضوء . واذن يكون لون هذا الجزء من السطح اذا وقع على العين الضوء المنعكس ، ولونه اذا وقع عليها الضوء النافذ خلال الغشاء يكون أحدهما متمماً للآخر

والألوان الزاهية التي تبدو على الأغشية الرقيقة كغشاء من محلول الصابون أو طبقة رقيقة جداً من زيت السيارات عند ما تتلوث به الطرق بعد رشها بالماء . هذه الألوان ناشئة عن التداخل وتحدث بالكيفية التي تقدم ذكرها . وقد دلت التجارب على أنه اذا كان الغشاء رقيقاً جداً يكاد لا يكون له سمك ، فان لونه الخادث بالانعكاس يعدم أى يظهر سطح الغشاء أسود . وهذا يدل على أن طور الاهتزازة فى الضوء المنعكس عند أحد السطحين مضاد لطورها فى الضوء المنعكس عند الآخر

والاثر الثانى التي نراعيها هنا حالة غشاء رقيق متغير السمك . ولنفرض أن a ب (شكل ١٩٦) صدر موجة مستوية واقعة على الغشاء . فالشعاع المنعكس عن السطح الأول عند h فى



(شكل ١٩٦)

استقامة هـ و لا ينطبق على الشعاع هـ الذي يخرج من الغشاء بعد أن يعانى انعكاساً داخلياً عند د . وإذا فرضنا ان الزاوية بين سطحي الغشاء صغيرة جداً كانت الزاوية بين الشعاعين هـ و هـ صغيرة واذن أمكن وقوعهما معاً على العين وهى تنظر الى نقطة هـ . وإذا رمزنا لزاوية سقوط الشعاع حـ د على السطح الأسفل للغشاء بالحرف هـ ولطول العمود الواقع من هـ على هذا السطح بالحرف ز ، أمكن بيان أن شرط حدوث الضياء في حالة الانعكاس أن يكون

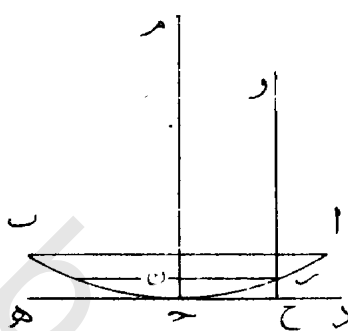
$$2 \text{ و } م \text{ حتا } \frac{1}{4} (1 + n^2)$$

فإذا أضى سطح الغشاء بضوء ذى لون واحد صادر من مصدر منبسط فاختلفت زوايا سقوط الأشعة المختلفة وتغير سمك الغشاء يجعل المسألة معقدة . ولكن إذا فرضنا أن الضوء يسقط على الغشاء عمودياً عليه ، أى إذا فرضنا أن قيمة هـ صغيرة جداً يكون فرق المسير بين الشعاعين المتداخلين (باغفال تغير الطور الحادث عند أحد الانعكاسين) مساوياً ٢ و م . فإذا ساوى هذا المقدار ١ حـ حدث عن التداخل بالانعكاس ظلية وإذا ساوى $\frac{1}{4} (1 + n^2)$ حدث ضياء . فتكون مواضع الظلية أو الضياء هى التى يكون عندها سمك الغشاء واحداً وتكون الهدب هى المحل الهندسى للنقط التى يكون عندها سمك الغشاء واحداً

٢٣٠ — حلقات نيوتن^(١)

من الامثلة المألوفة للتداخل فى الاغشية الرقيقة المتغيرة السمك ، التداخل الحادث بفعل طبقة رقيقة من الهواء محصورة بين السطح المحدب لعدسة من الزجاج وبين السطح المستوى للوح من الزجاج يلبس سطحه المستوى السطح المحدب للعدسة . فإذا فرضنا أن ا حـ ب (شكل ١٩٧) السطح المحدب لعدسة محدبة مستوية وهو يلبس فى نقطة حـ السطح المستوى د حـ هـ للوح من الزجاج ، وفرضنا أن شعاعاً من ضوء ذى لون واحد مثل ور واقع على ا ب (السطح

المستوى للعدسة) عمودياً عليه فان الشعاع الواصل الى نقطة ر يؤدي الى شعاعين



(شكل ١٩٧)

أحدهما ينعكس عند هذه النقطة لوقوعه في مادة الزجاج على

السطح الفاصل بينه وبين الهواء ، والآخر ينفذ الى الطبقة

الهوائية ويقع على السطح د ح هـ للوح الزجاجي عند نقطة ح

فينعكس ويخترق الطبقة الهوائية مرة أخرى ويقع على السطح

المحذب للعدسة نافذاً فيها . فاذا كان تكور السطح ا ح ب

صغيراً جداً كاد يكون مسار الشعاع المنعكس عند ر

ومسار الشعاع المنعكس عن السطح د ح هـ عند ح متطابقين ، فيتداخلان ، ويؤدي تداخلهما

الى اشتداد الضياء أو محوه تبعاً لمقدار فرق المسير بينهما . وبما أن أحد الانعكاسين يحدث والضوء

واقع من الزجاج على الهواء والثاني يحدث والضوء واقع من الهواء على الزجاج ، فإن الثاني يكون

مقروناً بتغير في الطور قدره π ، فاذا كان فرق المسير (ويساوي $2r$ ح) مساوياً r ، حيث

تكون r صفراً أو 1 أو 2 الخ حدثت ظلمة أما اذا كان مساوياً $(2 + r)$ حدث ضياء .

والمحل الهندسي للنقط التي مثل ح ويكون عندها سمك الطبقة الهوائية واحداً ، يحيط دائرة

مركزها نقطة التلامس . اذن اذا وقعت عمودياً على السطح ا ب حزمة متوازية من أشعة ذات

لون واحد فموضع الظلمة والضياء تكون حلقات متحدة المركز مركزها نقطة التلامس . وموضع

التلامس حيث يعدم سمك الطبقة الهوائية يكون موضع ظلمة

واذا استبدل بالضوء ذي اللون الواحد ضوء أبيض . فان موضع التلامس يظل موضع ظلمة

ولكن الحلقات التي تحيط به تكون ملونة . ونظراً لان الطول الموجي للضوء البنفسجي اقصر

تكون الحلقة البنفسجية أول حلقة . وللسبب المتقدم في بند (٢٢٠) فان الحلقات الملونة يضمحل

سطوع الونها بالتدرج كلما بعدنا عن موضع التلامس . فتكاد لا تتميز الحلقات بعد عدد محدود

منها حيث يحدث ضوء أبيض .

وتسمى الحلقات الحاصلة بهذه الكيفية حلقات نيوتن . ويمكن الحصول عليها ورؤيتها

بسهولة اذا وضعت عدسة محدبة مستوية نصف قطر تكور وجهها المحذب متر أو يزيد بحيث

يلبس هذا الوجه السطح المستوي للوح من الزجاج . فاذا نظر اليها في ضوء النهار بحيث يصل الى العين ضوء منعكس تيسر بالعين المجردة رؤية الحلقات ، وكلما زاد نصف قطر تكور السطح المحذب للعدسة ، كانت الحلقات أكبر وأظهر للعين

وقد يستخدم أحياناً جهاز يتركب من لوحين من الزجاج . قد حذب قليلا احد سطحي أحدهما ، وقعر أحد سطحي الآخر تقعيراً طفيفاً ، بحيث يكون نصف قطر السطح المحذب أصغر قليلا من نصف قطر السطح المقعر . فاذا وضع السطح المحذب على المقعر انحصرت بينهما طبقة رقيقة جداً من الهواء متغيرة السمك . فتكون الهدب التي تحدث بفعلها كبيرة متسعة يسهل رؤيتها بالعين المجردة

ويمكن تعديل التجربة للحصول على حلقات تتحول فيها الحلقات المظلمة الى مضيئة والمضيئة الى مظلمة ، ويكون موضع التلامس ضياء في التداخل بالانعكاس . فاذا جعل الغشاء الرقيق من مادة شفافة (غير الهواء) ، بين نوعين من الزجاج أحدهما من الزجاج الصخري والآخر من الزجاج التاجي وكان معامل الانكسار في مادة الغشاء وسطاً بين معامليه في نوعي الزجاج ، وسار الضوء من الزجاج الصخري (الاكبر كثافة ضوئية) الى مادة الغشاء ، ومنها الى الزجاج التاجي (الأصغر كثافة ضوئية) فان كلا من الانعكاسين لا يكون مقروناً بتغير ما في الطور . كما أنه اذا سار الضوء في الاتجاه المضاد فان كلا منهما يكون مقروناً بتغير في الطور . واذن شرط حدوث الضياء (بالانعكاس) في الحالتين أن يكون μ و μ (باعتبار أن μ سمك الغشاء و μ معامل انكسار الضوء فيه) مساوياً μ_1 و شرط حدوث الظلمة أن يكون μ و μ مساوياً $(\mu_1 + \mu_2) \frac{\lambda}{4}$. ويختار لاجراء هذه التجربة نوع من الزيوت معامل انكسار الضوء فيه يقع بين قيمتيه في نوعي الزجاج

وتتكون أيضاً في الحالات السابقة حلقات تكون نتيجة التداخل بالانكسار . واذا كان الضوء ذا لون واحد فالحلقة التي ترى مضيئة بالضوء المنعكس ترى مظلمة بالضوء النافذ والعكس بالعكس واذا كان الضوء أبيض فان لونها في احدي الحالتين يكون المتمم للونها في الأخرى

٢٣١ - تطبيق حلقات نيوتن لتعيين الطول الموجي

رأينا في حالة الغشاء الهوائي انه اذا كانت نقطة ر (شكل ١٩٧) موضع ضياء مثلاً في التداخل بالانعكاس وكان طول المستقيم ر ح مساوياً سمك الغشاء عند هذه النقطة فان

$$2 \overline{r \text{ ح}} = \overline{2} (1 + \frac{1}{2})$$

حيث تكون للمقدار $\overline{2}$ احدى القيم الآتية : صفر أو ١ أو ٢ أو ٣ الخ . ويلاحظ انه حيث تكون قيمة $\overline{2}$ صفراً تتكون أول حلقة مضيئة تلي الظلام المركزى . أما اذا كانت نقطة ر موضع ظلمة فان $2 \overline{r \text{ ح}} = \overline{2}$

حيث تكون للمقدار $\overline{2}$ احدى القيم الآتية : صفراً أو ١ أو ٢ أو ٣ الخ . ويلاحظ انه حيث تكون قيمة $\overline{2}$ صفراً تتكون الظلمة الحادثة عند موضع التلامس

فاذا رسمنا من نقطة التلامس وهى نقطة ح (شكل ١٩٧) نصف قطر السطح المحدب للعدسة وليكن ح م فالمستوى المار بنقطة ر عمودياً على ح م . والسطح المحدب للعدسة يتقاطعان عند محيط دائرة مركزها نقطة ن ، ويمثل محيط الدائرة المحل الهندسى للنقط التى مثل ر حيث يكون سمك الغشاء عندها ثابتاً . وتكون هذه الدائرة بمثابة حلقة مضيئة أو حلقة مظلمة تبعاً لتوافر شرط الضياء او الظلمة

فاذا رمزنا لنصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة بالرمز $\overline{2}$ يتضح من الشكل أن

$$\overline{2} \text{ ح} = (\overline{2} \text{ ح} - \overline{2} \text{ ن})$$

وبما أن $\overline{2} \text{ ح} = \overline{2} \text{ ن} + \overline{2} \text{ ر ح}$ مقدار صغير ينتج أن

$$\frac{\overline{2} \text{ ر ح}}{\overline{2}} = \overline{2}$$

وبالرمز لطول المستقيم ن ر وهو نصف قطر الحلقة بالحرف $\overline{1}$ يكون

$$\frac{\overline{1}}{\overline{2}} = \overline{2} \text{ ح}$$

فعند حدوث الحلقة المضئية النونية يكون نصف قطرها r_1 طبقاً للمعادلة

$$\frac{r_1^2}{2} (1 + n^2) = \frac{r_1^2}{2}$$

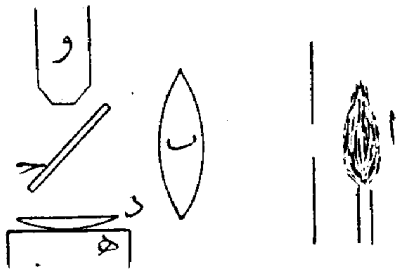
$$\therefore r_1^2 = \frac{r_1^2}{2} (1 + n^2) \dots \dots (1)$$

ومن هذه المعادلة يتضح أنه إذا أمكن قياس نصف قطر إحدى الحلقات المضئية وكان نصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة معروفاً أمكن استخراج قيمة الطول الموجي للضوء كذلك إذا رمزنا لنصف قطر الحلقة المظلمة النونية بالرمز r_2 يكون

$$r_2 = \frac{r_1^2}{2}$$

$$\therefore r_2^2 = \frac{r_1^2}{2} \dots \dots (2)$$

ولتطبيق حلقات نيوتن لتعيين الطول الموجي لضوء لهب الصوديوم مثلاً ، يتخذ جهاز



(شكل ١٩٨)

كالمين بشكل (١٩٨) يتركب من عدسة لامة ب توجه

أشعة متوازية نحولوح من الزجاج ح موضوع بحيث

يعكس الأشعة المتوازية فتقع عمودياً على السطح المستوي

لعدسة محدبة مستوية د ذات سطح محدب تحديباً مناسباً

ملاص لسطح مستوي للوح من الزجاج ه . ولرؤية

الحلقات ولا يمكن قياس أقطارها يوجد ميكروسكوب متحرك مرموز لطرفه الأسفل في الشكل

بالحرف و . وكثيراً ما يجمع الجهاز من أجزاء منفصلة توضع عند الحاجة في المواضع المذكورة .

ولسهولة الحصول على الحلقات يوضع اللوح الزجاجي ه أفقياً وتوضع فوقه العدسة د . ثم يؤتى

بالميكروسكوب ومحور رأسى ويوضع بحيث يكون محوره الرأسى ماراً بنقطة تلامس العدسة باللوح

الذى تحتها (على قدر الامكان) وينظر خلاله الى قطعة صغيرة من الورق مثلاً توضع بين العدسة

وبين اللوح ويهيا الميكروسكوب حتى ترى بوضوح تام . فيكون مهياً الى حد ما لرؤية الحلقات

عند تكونها وبعد هذا تزال قطعة الورق المذكورة وتظلم الغرفة ويعد لخب الصوديوم ويوضع عند a كما هو مبين بالشكل وتوضع العدسة اللامعة b بحيث يكون اللهب على بعد منها يساوى بعدها البورى أو يكاد ، ثم يوضع اللوح الزجاجى c ، وهنا قد يكون من المناسب ازاحة الميكروسكوب فى الاتجاه الأفقى دون رفع أنبوتة أو خفضها ، وينظر وخط البصر رأسى مار ماً يمكن بنقطة تلامس العدسة d باللوح الذى تحتها وينظر بهذه الكيفية خلال اللوح c ، ويغير ميل هذا اللوح حتى يرى سطح العدسة d مضيئاً . فإذا كان نصف قطر السطح المحدب للعدسة d طويلاً الطول المناسب أمكن فى هذه الحالة رؤية الحلقات بالعين المجردة ، فيعاد الميكروسكوب الى مكانه الأول ويكون من السهل رؤية الحلقات خلاله مكبرة . أما اذا لم يخول تكور سطح العدسة d ظهور الحلقات للعين المجردة ، فإن الميكروسكوب يعاد الى الوضع الذى يصير فيه محوره الرأسى ماراً ما أمكن بنقطة تلامس العدسة d باللوح الذى تحتها لكي يتيسر رؤية الحلقات . وقد يحتاج الأمر فى كلتى الحالتين الى تعديل طفيف فى بعد الميكروسكوب عن العدسة d ، لكي يصل وضوح الحلقات ودقتها الى أقصى حد . والحلقات تزداد دقة اذا حجب اللهب بحاجز معتم به فتحة ينفذ منها الضوء الواقع على العدسة b ويوضع بحيث تكون الفتحة على بعد من العدسة يساوى بعدها البورى . ومتى تم الحصول على الحلقات واضحة دقيقة تقاس أقطارها بواسطة الميكروسكوب المتحرك

هذا من حيث تهيئة الجهاز للحصول على الحلقات ولكن هناك مسألة أخرى يلزم مراعاتها . ففى استنباط المعادلتين (١) و (٢) فرضنا أن موضع تلامس العدسة d باللوح h نقطة هى مركز الحلقات . ولكن يتبين عملياً أن مركزها دائرة منبسطة مظلمة تزداد اتساعاً كلما زاد التضاضط بين العدسة d واللوح h . واتساعها طبعاً مقرون باتساع جميع الحلقات ، ونأشئ عن شئ من التشوه يحدث فى أحد السطحين اللذين يحددان الطبقة الهوائية أو كليهما . ولكى يتلافى الخطأ المترتب على هذا ، يقاس نصف قطر أية حلقة من الحلقات المضيئة ولنرمز له بالرمز a_n . ثم نصف قطر أية حلقة مضيئة أخرى ولنرمز له بالرمز a_m فيكون

$$a_1^2 - a_n^2 = \frac{\lambda}{2} (n^2 - 1)$$

$$= \frac{\lambda}{2} (n^2 - 1)$$

ويتبين من هذه المعادلة انه اذا عرف نصف قطر أية حلقة ونصف قطر أية حلقة أخرى وعرف عدد الحلقات التي بينهما أمكن استخراج قيمة n ، ولا يتطلب ذلك معرفة قيمتي n و 6

٢٣٢ - الحصول على هذب عريضة

تبين فيما سبق أن شرط حدوث الظلمة في التداخل بالانعكاس في الأغشية الرقيقة منصوص عليه بالمعادلة

$$n = 2m \text{ حتا } n$$

ومن هذه المعادلة يتضح أن سمك الغشاء في موضع تحدث فيه ظلمة هو

$$\frac{n}{2m \text{ حتا } n} = 0$$

فلكى ننتقل من هدبة مظلمة الى هدبة مظلمة تليها يجب أن يبلغ سمك الغشاء في موضع هذه الظلمة المقدار (١)

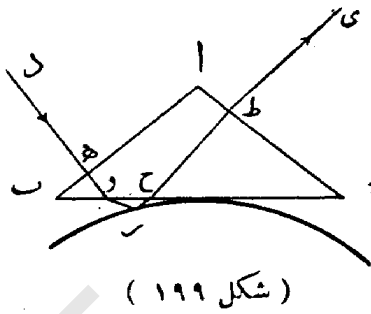
$$\frac{n(1+n)}{2m \text{ حتا } n} = 0$$

واذن يجب أن يتغير سمك الغشاء بالمقدار

$$\frac{n}{2m \text{ حتا } n} = 0$$

فاذا كانت زاوية θ كبيرة كان المقدار المذكور كبيراً . وهذا يعنى أنه كلما كبرت قيمة زاوية θ كان عرض الهدبة اكبر

وتطبق الفكرة المذكورة في جهاز يصلح للحصول على هذب عريضة يمكن رؤيتها بسهولة بالعين المجردة . والجهاز يتركب من منشور من الزجاج ABC (شكل ١٩٩) موضوع



وسطحه ب - على سطح محدب من الزجاج بحيث
ينحصر بين السطحين طبقه من الهواء متغيرة السمك .

فاذا سقط على السطح ا ب شعاع كالشعاع د ه ، ونفذ في مادة المنشور في استقامة ه و ، ثم وقع على السطح

ب - وكانت زاوية السقوط عليه قريبة من الزاوية الحرجة ، فانه عند نفوذه الى الطبقة الهوائية في استقامة و θ تكون زاوية انكساره في هذه الطبقة كبيرة . فتتوافر الفكرة التي أوردنا هافيا سبق وتصير هذب التداخل التي ترى اذا نظر في استقامة θ ، عريضة . وقد تجعل الزاوية الواقعة بين السطحين ا ب θ بحيث اذا وقعت الأشعة على أحدهما عمودية عليه ، كانت زاوية سقوطها على ب - أصغر قليلا من الزاوية الحرجة ، وترى الهدب اذا نظر نحو السطح الآخر عمودياً عليه .

وللهذب الحادثة بواسطة الجهاز المذكور خاصة تمتاز بها . وهى أنها تكاد تكون هدباً لالونية اذا استخدم الضوء الابيض فى تكوينها ، وكانت زاوية السقوط على السطح ب - ق قريبة من الزاوية الحرجة . وعلة ذلك أن الاشعة ذات الالوان المختلفة تشتت عند نفوذها الى الطبقة الهوائية الرقيقة . فتكون زاوية انكسار الشعاع البنفسجى مثلاً اكبر من زاوية انكسار الشعاع الاحمر . ويؤدى هذا الى زيادة البعد بين كل هدبتين بنفسجيتين أو زيادة عرض الواحدة منها ، فبدلاً من أن تكون هذه الهدب متقاربة بعضها الى الآخر كما لو قوبلت بالهدب الحمراء تكون متباعدة قليلاً من جراء هذا . ويساعد تباعدها على جعلها تنطبق على الهدب الحمراء حتى اذا لم يكن الانطباق تاماً ولم تكن الهدب لالونية على وجه التمام فان عدد الهدب الملونة المرئية يكون اكبر كثيراً مما فى التجارب الاخرى . ويزداد تشتت الاشعة الملونة بعضها عن الآخر عند ما تقرب زاوية السقوط داخل الزجاج من الزاوية الحرجة . فاذا دنت زاوية السقوط من قيمة الزاوية الحرجة كثيراً . فان الهدب البنفسجية تكون أبعد بعضها عن الآخر من الهدب الحمراء وتكون أيضاً أعرض من هذه . فيترتب على ذلك أن الهدب لا تتطابق ويكون ترتيب الالوان فيها معكوساً

٢٣٣ - تطبيق التداخل في الأغشية الرقيقة لاختبار استواء السطوح

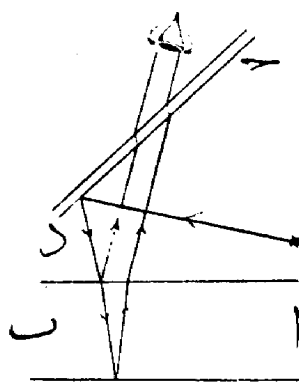
يمكن تطبيق التداخل في الأغشية الرقيقة لاختبار استواء السطوح . والفكرة العامة في ذلك أنه اذا تكونت طبقة رقيقة بين سطحين مستويين تمام الاستواء يميل أحدهما على الآخر ميلاً طفيفاً فان الهدب التي ترى عند وقوع الضوء عمودياً على السطح تكون مستقيمة موازية لمستقيم تقاطع السطحين أو تقاطع امتداديهما . أما اذا كان أحدهما مستوياً تمام الاستواء والآخر ليس كذلك . فان الهدب تكون بمثابة المحال الهندسية التي يكون عندها سمك الطبقة الرقيقة واحداً وتطبيق هذه الفكرة لاختبار استواء السطح تتضمن تكوين غشاء رقيق بين هذا السطح المراد اختباره وبين سطح آخر مستوى تمام الاستواء واختبار الهدب التي تتكون . ويمكن كما فعل « اللورد رايلي » ^(١) استخدام السطح الافقي لماء ساكن ، قد غنى بنقائه وتجريده من المواد العالقة فيه ، فيوضع السطح المراد اختباره في اناء متسع منبسط ويصب فوقه الماء حتى يصير سمك الطبقة التي فوقه حوالى المليمتر أو أقل ويعنى بأن يكون البعد بين أطراف السطح المراد اختباره وبين جدران الاناء كبيراً حتى لا يكون لانحناء سطح الماء بفعل التوتر السطحي أثراً . فاذا عكست حزمة من الأشعة المتوازية المستمدة من ضوء لهب الصوديوم ، بواسطة لوح من الزجاج مثبت من فوق سطح السائل بحيث تسقط رأسياً على سطح الماء ونظر خلال اللوح بواسطة ميكروسكوب مثلاً كما في تجربة حلقات نيوتن تيسر رؤية الهدب (لا سيما اذا غنى مبدئياً بجعل السطحين متوازيين ما أمكن) ويمكن من أشكالها معرفة ما اذا كان السطح مستوياً

٢٣٤ - التداخل في الألواح السميكة وهذب هايدنجر

ولوانه لا يوجد نظرياً فرق ما بين التداخل في الأغشية الرقيقة وبين التداخل في الألواح السميكة فانه يجوز التمييز بين التداخلين ، نظراً لأن الحصول على هذب التداخل في حالة الألواح السميكة يتطلب العناية بأمور خاصة . ويتضح بالرجوع الى شكل (١٩٣) انه لكي ينطبق

الشعاع هـ و المنعكس عند هـ عند السطح الأعلى للغشاء والأشعة الأخرى التي تنعكس عن السطح الأسفل مرة أو أكثر يجب أن يكون صدر الموجة المستوية الساقطة ا ب ح د متسعاً اتساعاً كافياً اذا كان سمك الغشاء كبيراً واذا كان صدر الموجة متسعاً أدى الى عدة أشعة مثل هـ و وموازية له ، فلكي تستقبل العين هذه الأشعة المتوازية يلزم النظر بوساطة تلسكوب . كذلك اذا اعتبرنا أن و هـ (شكل ١٩٣) شعاع ساقط ينعكس جزء منه عند السطح الاعلى في استقامة هـ ا وينشأ عن تعدد انعكاساته في الغشاء الأشعة ر ب ط ح الخ فان هذه الاشعة تكون متباعدة اذا كان سمك الغشاء كبيراً . فلكي تقع جميعها على العين يلزم استقبالها بوساطة تلسكوب أيضاً . وفي كلتي الحالتين اذا لم يكن سمك الغشاء كبيراً جداً فقد يكفي أن ينظر بالعين المجردة وهي مهيأة لرؤية الجسم البعيد أى وهي غير متكيفة . وتحدث في الألواح السميكة المنتظمة السمك هذب تكون هي أيضاً من جراء سقوط الاشعة المختلفة من المصدر المنبسط العريض بزوايا مختلفة . ويشترط لرؤية الهذب أن يكون الضوء ذا لون واحد نظراً لان فرق المسير بين الشعاعين المتداخلين كبير (أنظر بند ٢٢٠) ولا يمكن الحصول على هذب ملونة في الألواح السميكة بتداخل الضوء الأبيض وتسمى الهذب الحاصلة في الألواح السميكة هذب « هايدنجر » ^(١) نسبة الى كاشفها

ويتضح من شكل (٢٠٠) الفكرة الأساسية في طريقة يتسنى بها الحصول على الهذب



(شكل ٢٠٠)

ورؤيتها . فالضوء يسقط من مصدر ممتد ذي لون واحد كلهب الصوديوم . فينعكس عند سطح لوح من الزجاج ح د بحيث يسقط عمودياً أو يكاد يكون عمودياً على لوح سمك من الزجاج ا ب قد عني باستواء سطحيه وتوازيهما . وينظر خلال اللوح الزجاجي ح د لرؤية الهذب الحادثة عن التداخل بالانعكاس وذلك بتلسكوب معد لرؤية الجسم البعيد أو بالعين المجردة غير

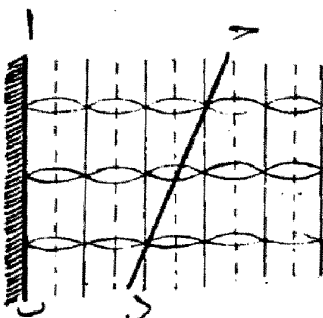
المتكيفة اذا لم يكن سمك اللوح ا ب كبيراً جداً . والهذب التي ترى تكون على هيئة حلقات متحدة المركز تمثل الواحدة منها المحل الهندسي للنقط التي تكون زاوية السقوط عندها واحدة .

وقد تستبدل باللوح حد مرآة مقعرة في منتصفها فتحة ينظر خلالها نحو اللوح ا ب ويعمل سطحها العاكس في توجيه الاشعة عمودية على هذا اللوح . فتكون الحلقات أشد ضياء و سطوعا

٢٣٥ - الموجات الضوئية المستقرة

إذا تداخل قطاران من الموجات يسيران في استقامة واحدة وفي اتجاهين متضادين وكانت مدة الاهتزازة واتساعها واحداً عدت الحركة الاهتزازية في مواضع تسمى العقد ، حيث تجتمع القمة مثلاً في أحد القطارين بالقرار من الآخر ، واشتدت الحركة في مواضع أخرى تسمى البطون حيث تجتمع القمة مثلاً من أحد القطارين بالقمة من الآخر أو القرار بالقرار . ويكون البعد بين عقدتين متتاليتين أو بطنين متتاليتين مساوياً نصف الطول الموجي ومن أمثلة الموجات المستقرة تلك التي تتكون على الاوتار من تداخل الموجات العرضية الساقطة من أحد طرفي الوتر نحو الطرف الآخر والموجات المنعكسة من هذا الطرف نحو الاول أو تلك التي تتكون في أعمدة الهواء المفتوحة الطرفين أو المغلق أحد طرفيها ، حيث تتداخل الموجات الطولية الهوائية الساقطة والموجات المنعكسة

فاذا كان الضوء حركة موجية ترتب على هذا امكان حدوث الموجات المستقرة في الضوء



(شكل ٢٠١)

أيضاً فإذا سقط ضوء ذو طول موجي معين عمودياً على سطح عاكس مثل ا ب (شكل ٢٠١) فإن تداخل الموجات الساقطة والموجات المنعكسة يحدث عقداً و بطوناً وثم موجات مستقرة . وإذا كان الضوء واقعاً من وسط لطيف ومنعكس عند سطح وسط كثيف فتغير الطور الحادث عند الانعكاس يجعل القمة مثلاً في

الموجة الساقطة تنعكس قراراً فيكون موضع السقوط ملتيقة بقرار أو قرار بقمة ، فتكون هناك عقدة . وإذا كانت أشعة الضوء الساقطة على السطح ا ب متوازية كان توزيع العقد والبطون بكيفية كالمبينة بشكل (٢٠١) فتعدم الحركة الاهتزازية في مستويات موازية للسطح مبينة

بالمستقيمات المتصلة في الشكل تسمى المستويات العقدية . وتشتد الحركة الاهتزازية في مستويات مبينة بالمستقيمات المتقطعة تسمى المستويات البطنية . ويكون البعد بين المستويين المتتاليين من تلك أو من هذه مساوياً نصف الطول الموجي

وقد استدل « فينر » على حدوث الموجات المستقرة في الضوء مستعيناً بغشاء (فلم) فتوغرافي رقيق جداً لا يتجاوز سمكه جزءاً من عشرين جزء من الطول الموجي للضوء وكان الغشاء منبسطاً على سطح لوح من الزجاج . فاذا وضع الغشاء في استقامة حد و وقعت خلال الغشاء أشعة ضوء ذي لون واحد عمودياً على السطح العاكس ا ب وتكونت العقد والبطون فان بعض أجزاء الغشاء ينطبق على مواضع العقد فتعدم عنده الحركة الاهتزازية وبعضها ينطبق على البطون فتشتد لديه الحركة الاهتزازية . فلا يتأثر الغشاء الفتوغرافي الحساس في المواضع الأولى ويتأثر بشدة في المواضع الثانية . فاذا عولج الغشاء بالطريقة المعتادة ، فحمض وثبت ، وجدت عليه خطوط معتمة يتخللها مناطق شفافة وتكون المواضع المعتمة هي مواضع تلاقي الغشاء بالمستويات البطنية حيث وجد الضوء وكان له أثره الفتوغرافي . وتكون المواضع الشفافة هي مواضع تلاقي الغشاء بالمستويات العقدية حيث عدم الضوء ولم يكن له أثر

ويلاحظ في هذه التجربة أنه اذا أمكن وضع الغشاء ح د بحيث ينطبق تماماً على أحد المستويات العقدية فبالرغم من نفوذ الضوء الساقط وكذلك الضوء المنعكس خلاله فانه لا يتأثر لولا أن وضعه بهذه الصفة ليس من الامور المتيسرة عملياً . وقد وضع « فينر » في تجاربه الغشاء الفتوغرافي قريباً جداً من السطح العاكس بحيث يميل بزاوية صغيرة عليه ، وكان الغشاء الفتوغرافي نفسه (لا اللوح الزجاجي المحضر على سطحه الغشاء) متجهاً نحو السطح العاكس وقد كان نجاح تجاربه متوقفاً على تحضير أغشية فتوغرافية رقيقة جداً حتى يتسنى عند انطباق أحد أجزائها على موضع العقدة أن تعدم الاهتزازة خلال السمك كله عند هذا الموضع

٢٣٦ - طريقة ليمان في التصوير الفتوغرافي بالألوان

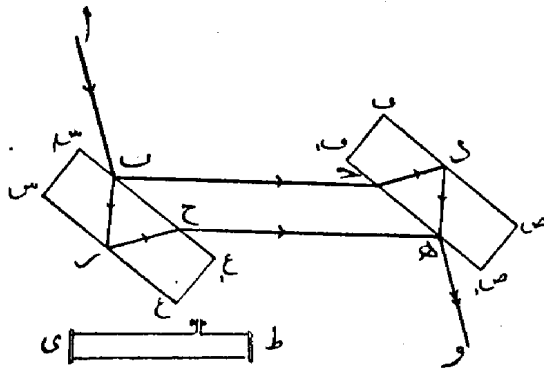
وقد اتخذت الموجات الضوئية المستقرة وسيلة للتصوير الفتوغرافي بالألوان . وأول من استطاع هذا « ليمان »^(١) . وطريقته تتلخص في أن يوضع لوح فتوغرافي يتركب من لوح من الزجاج مكسو أحد سطحيه بطبقة فتوغرافية حساسة ، بحيث تكون الطبقة الحساسة ملامسة سطحاً زئبقياً عاكساً ويكون اللوح الزجاجي متجهاً نحو الجهة التي يقع منها الضوء . فإذا أسقط خلال اللوح الفتوغرافي ضوء ذو طول موجي معين عمودياً على سطح الزئبق حدثت في الطبقة الفتوغرافية نفسها من جراء تداخل الموجات الساقطة على سطح الزئبق والموجات المنعكسة عنه حدثت الموجات المستقرة فتتكون في الطبقة الفتوغرافية المستويات العقدية والمستويات البطنية كالمبينة بشكل (٢٠١) . وحيث تكون المستويات البطنية تتأثر المادة الفتوغرافية أشد تأثير وحيث تكون المستويات العقدية لا تتأثر . فإذا عولج اللوح الفتوغرافي فحمض وثبت بالطريقة المعتادة تكونت في باطن الطبقة الجيلاتينية الفتوغرافية ، مستويات معتمة موازية للسطح العاكس بينها مناطق شفافة . وتتكون تلك المستويات المعتمة حيث كانت المستويات البطنية أي حيث كانت المواضع التي تأثرت فيها المادة الفتوغرافية الحساسة فتحللت مركبات الفضة بفعل الضوء . وإن كانت تلك المستويات معتمة شيئاً ما فنظراً لرقعتها تكون شفافة إلى حد كبير . ويكون طبعاً البعد بين المستويين المتتاليين منها مساوياً لنصف الطول الموجي للضوء

فإذا سقط بعد ذلك على اللوح الفتوغرافي عمودياً عليه ضوء من نوع الضوء الأول فإن الضوء ينعكس عن الطبقات التي تكونت برسوب الفضة عند المستويات البطنية . والضوء المنعكس عن إحدى هذه الطبقات يختلف مسيره عن الضوء المنعكس عن التي تليها بمقدار الطول الموجي (نظراً لأن البعد بين الطبقتين مساوياً لنصف الطول الموجي) فيحدث عن تداخل الاضواء المنعكسة عن الطبقات المختلفة ضياء شديد بالرغم من أن الضوء المنعكس عن الطبقة الواحدة ضعيف . فإذا نظر إلى اللوح الفتوغرافي بحيث يصل إلى العين الضوء المنعكس رؤى سطحه مضيئاً

بشدة وإذا وقع عليه ضوء أبيض فإن الضوء الذى يكون طول الموجى مساوياً ضعف البعد بين طبقتين متتاليتين هو الذى يشتد ضياؤه من جراء التداخل المذكور فيغلب اذن فى المنعكس لون هذا الضوء و يظهر سطح اللوح الفتوغرافى ملوناً بلونه بالرغم من أن الضوء الواقع علىه أبيض وقد كانت العقبة فى سبيل تحقيق هذا عملياً صعوبة الحصول على طبقات فتوغرافية حساسة تكون حبيباتها دقيقة صغيرة لا تتجاوز أبعادها كسراً صغيراً من الطول الموجى . و يكفى لتطبيق ما ذكر عملياً أن يوضع اللوح الفتوغرافى فى آلة التصوير بحيث تكون الطبقة الجيلاتينية الحساسة ملاصقة لسطح زئبقى نظيف . ويكون اللوح الزجاجى متجهاً نحو عدسة الآلة وقد حضرت مقاطع من الطبقات الجيلاتينية بعد تحميض اللوح وتثبيتته ، دل فحصها بوساطة الميكروسكوب على حقيقة وجود الطبقات المعتمدة المتوازية التى تدل على وجود المستويات البطنية

٢٣٧ — مقاييس التداخل — مقياس جامن

مقاييس التداخل (١) أجهزة مبنى عملها على ظاهرة التداخل تستعمل للحصول على هدب التداخل ولتطبيق ظاهرة التداخل فى أغراض شتى سيأتى ذكر شئ منها فيما يأتى والجهاز الذى نذكره هنا منسوب الى مخترعه « جامن » (٢) ويتركب من لوحين سميكين من الزجاج متماثلين مادة وسمكا قد عني جل العناية باستواء سطحيهما وتوازيهما يبلغ سمك الواحد منهما سنتيمتراً أو يزيد ومفضض أحد سطحى كل منهما واللوحان موضوعان كما هو مبين بشكل (٢٠٢) بحيث يكونان رأسيين متوازيين بالتقريب



(شكل ٢٠٢)

وبحيث يكون السطح س ع من اللوح س ع ع س ، والسطح ف ص من الآخر السطحين المففضضين ويتصل بأحد اللوحين وليكن ف ص ص ف ، مساران محويان يتسنى بوساطة أحدهما ادارة اللوح حول محور رأسى عمودى على

مستوى الورقة. وبوساطة الاخر ادارته حول محور أفقى

واشرح عمل الجهاز نفرض أن a شعاع من ضوء ذى لون واحد أى ذى طول موجى معين يسقط على اللوح s ع s ، فعند b ينقسم الشعاع قسمين أحدهما ينعكس فى استقامة b والآخر ينكسر داخل اللوح فى استقامة b ر ثم ينعكس عند السطح المفضض فى استقامة h وينفذ جزء منه خارجاً فى استقامة h . فإذا وقع الشعاع b ح على اللوح الثانى ينكسر جزء منه فى استقامة h د فينعكس عند السطح المفضض فى استقامة h د ثم ينفذ جزء منه خارجاً فى استقامة h و ، كذلك عند وقوع الشعاع h على السطح الاول من اللوح الثانى ينعكس جزء منه فى استقامة h و . فيكون h و مسير شعاعين أحدهما b ح د ه و والاخر b ح ه و . وكلاهما مستمد من شعاع واحد فى الاصل هو a . فإذا كان اللوحان متماثلين تمام التماثل ومتواز بين تماماً لا يكون بين الشعاعين فرق فى المسير فيحدث من تداخلهما ضياء فاذا حرف اللوح f ص f ص ف حدث فرق بين المسيرين ، فاذا بلغ فرق المسير نصف الطول الموجى أو ثلاثة أنصافه وهكذا حدثت من تداخل الشعاعين ظلمة ، أما اذا بلغ فرق المسير الطول الموجى أو أضعافه حدث ضياء .

وعند استعمال الجهاز يتخذ مصدر منبسط من الضوء كفتحة عريضة تضاء بضوء لهب الصوديوم ويوجه الضوء نحو السطح s ع ، بوساطة عدسة وينظر الى السطح f ص ، أما بالعين المجردة أو بوساطة تلسكوب . فالأشعة التى تصل الى العين من الأجزاء المختلفة من السطح تكون صادرة من نقط مختلفة من المصدر . واقعة بزوايا سقوط مختلفة ، فترى عادة هدب وتكون الهدبة المركزية فيها مضيئة ، وهى تحدث من تداخل الأشعة التى يكون فرق المسير بالنسبة اليها معدوماً

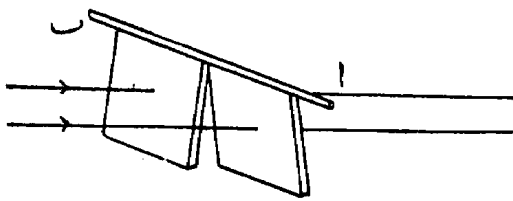
٢٣٨ - تطبيق مقياس چامن لتعيين معامل الانكسار لاسيما فى الغازات

من الاغراض التى استخدم لها مقياس « چامن » ايجاد معامل انكسار الضوء لاسيما فى الغازات المختلفة ، ودراسة تأثير تغير ضغط الغاز ودرجة رطوبته وما الى ذلك فى معامل

انكسار الضوء فيه . ولتطبيقه في مثل هذا يوجه الضوء من مصدر ذي لون واحد بوساطة عدسة لامة نحو اللوح س ع ع س ، ويوضع في سبيله حاجز به فتحة مستديرة ذات اتساع مناسب لكي تكون الحزمة الضوئية الواقعة على اللوح ضيقة وتكون كذلك من كل الحزمتين السائرتين في اتجاه ب ح ٦ ح ه ، فيتسنى أن يوضع في مسير أيتهما وقت الحاجة المادة المراد إيجاد معامل انكسارها . فإذا هيء الجهاز لرؤية الهدب ثم وضع في مسير إحدى الحزمتين المتداخلتين لوح رقيق من المادة تتحول الهدب عن مواضعها . فإذا حلت الهدبة محل الهدبة النونية التي تليها ، ورمزنا لسمك اللوح بالحرف س ، ولمعامل انكسار الضوء فيه بالحرف م ، وللطول الموجي بالحرف ن كان

$$n = (1 - m) s$$

ولايجاد معامل انكسار الضوء في الغازات يوضع في مسيرى الحزمتين ب ح ٦ ح ه أنبوبتان (كالانبوبة ط ي بشكل ٢٠٢) مسدود طرفاً كل منهما بلوح مستوى من الزجاج بحيث تنفذ الحزمة خلال الانبوبة الموضوعة في مسيرها في اتجاه محورها فإذا فرغت الانبوتتان من الهواء وهيء الجهاز للحصول على الهدب وكان أحد الخيطين المتقاطعين في عينية التلسكوب الذي ينظر به الى الهدب منطبقاً على إحدى الهدب المضئية ثم ملئت إحدى الانبوتتين بالغاز رويداً رويداً أخذت الهدب تتحول عن مواضعها فإذا كان تحولها بطيئاً أمكن عد الهدب التي تمر في مجال النظر بالخيوط المذكور حتى تمتلئ الانبوبة بالغاز الى الضغط المطلوب . فيكون هذا العدد هو الدال على قيمة n في المعادلة السابقة وتكون س رمزاً لطول الانبوبة .



(شكل ٢٠٣)

وقد استخدم جامن في تجاربه جهاز يسمى «المكافئ» يتركب من لوحين متماثلين من الزجاج متساوي السمك مثبتين كما بشكل (٢٠٣) بحيث يميل أحدهما بالنسبة الى الآخر بزاوية صغيرة . ويوضع

المكافئ بحيث يكون أحد لوحيه في مسير إحدى الحزمتين المتداخلتين . ويكون الآخر في مسير الأخرى بحيث يمكن ادارتهما معاً حول المحور الأفقي اب ، مع بقاء الزاوية بينهما ثابتة ، بوساطة

مسار محوى ، فيتسنى بإدارة المكافئ تغيير سمك الطبقة التى تحترقها كل من الحزمتين ويحدث تبعاً لهذا فرق فى المسير بينهما ، يترتب عليه أن تتحول الهدب عن مواضعها . وإذن يتسنى بإدارة المكافئ فى الاتجاه المناسب إبطال التحول الحادث فى الهدب من جراء ادخال الغاز فى احدى الانبوتين أو تغيير ضغطه . فإذا كان المكافئ معياراً بحيث كان معلوماً تغير المسير بين الحزمتين من جراء ادارته بزاوية معينة أمكن إيجاد فرق المسير الحادث من جراء ادخال الغاز أو بوجه عام من جراء وجود المادة المطلوب إيجاد معامل انكسار الضوء فيها فى مسير احدى الحزمتين

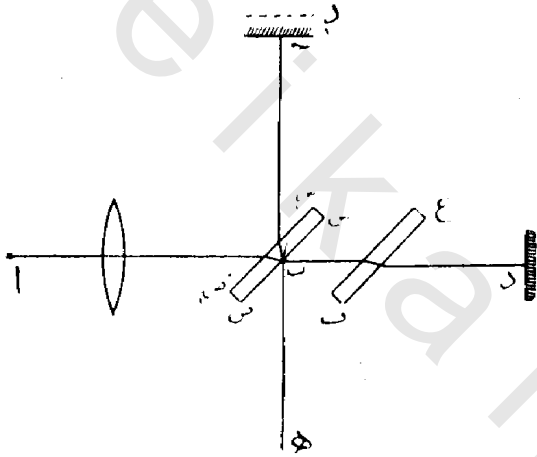
٢٣٩ — تطبيق مقياس جامن لتعيين سمك أغشية الصابون

وقد أجريت تجارب أجراها أولاً « رينولد »^(١) و « روكر »^(٢) طبقاً فيها مقياس جامن لقياس سمك أغشية الصابون الرقيقة جداً عند ما تظهر بالانعكاس دظلة أى عند ما يكون سمكها صغيراً جداً فلا يكون هناك فرق محسوس فى المسير بين الضوء المنعكس عن أحد سطحيها وبين الضوء المنعكس عن الآخر فيحدث من تداخل الضوءين ظلمة ، نظراً لتغير الطور الحادث عند أحد الانعكاسين

ونظرية هذه التجارب كنظرية التجارب السابقة تتلخص فى وضع عدد كاف من أغشية الصابون فى مسير احدى الحزمتين المتداخلتين وتقدير فرق المسير الحادث من جراء ذلك فإذا كان معامل انكسار الضوء فى محلول الصابون ولذلك الطول الموجى معروفين أمكن إيجاد السمك الكلى واذن متوسط سمك الغشاء الواحد منها . ولتكوين أغشية الصابون فى هذه التجارب يغمس أحد طرفى أنبوبة من الزجاج فى محلول الصابون ثم تنزع منه فيكون على طرفها هذا غشاء من الصابون فإذا أميلت الأنبوبة قليلاً أمكن زلق الغشاء الى داخلها . فيغمس طرفها مرة أخرى وهكذا حتى يبلغ عدد الأغشية التى تتكون فى داخلها خمسين أو يزيد . فتوضع الأنبوبة بعد ذلك فى مسير احدى الحزمتين

وقد دلت التجارب على أن سمك الغشاء الواحد يساوى 10×10^{-7} من السنتيمتر دالا ذلك على أنه قريب من أبعاد الجزيء

ومن مقاييس التداخل التي طبقت في أغراض شتى عدة جهاز اخترعه « ميكلسن »^(١) ويعرف باسمه . والفكرة الأساسية في هذا الجهاز موضحة بشكل (٢٠٤) اذ يسقط من شعاع من ضوء ذي لون واحد بزاوية قدرها ٤٥° على لوح من الزجاج محدود بسطحين مستويين متوازيين س ص_١ س_٢ وقد فضض سطحه س ص ببطقة من الفضة تجعل الضوء الواقع عليها ينعكس عنها بقدر ما ينفذ منها . فاذا وصل الشعاع الى نقطة ب على السطح المفضض س ص انقسم قسمين



(شكل ٢٠٤)

أحدهما ينعكس فيخرج من الوجه س_١ ص_١ ويسقط عمودياً على سطح مستوي عاكس عند ح ، والآخر ينفذ خارجاً من السطح س ص ويسقط عمودياً على سطح مستوي عاكس عند د . فينعكس الأول عن السطح ح وينعكس الثاني عن السطح د ويعود الشعاعان سائرين في مسيريهما الأولين الى نقطة ب . وهنا ينفذ من

الأول شعاع في اتجاه ب ه وينعكس من الثاني شعاع في الاتجاه نفسه وهذان الشعاعان مستمدان من شعاع واحد فيكونان قابلين للتداخل . ولكي يكون مسيراهما متماثلين يوضع في مسير ب د لوح من الزجاج ع ف مواز للأول ومن مادته ومماثل له شكلاً وسمكاً فيخترق كل واحد من الشعاعين المتداخلين سمكين متماثلين من الزجاج

ولاستعمال الجهاز يوضع عند ا مصدر منبسط من ضوء ذي لون واحد ، ويوجه الضوء على اللوح س_١ ص_١ س_٢ بوساطة عدسة فاذا انظر الى السطح س ص في استقامة ه ب بوساطة تلسكوب رؤيت هدب . ويسهل توضيح كيفية تكون هذه الهدب اذا اعتبرنا التداخل في هذا الجهاز مثالا من أمثله التداخل في الأغشية المتساوية السمك . فاذا نظر في استقامة ه ب نحو السطح س ص رؤيت للسطح العاكس د صورة د متكونة بالانعكاس ، واذا

كان السطحان γ و δ متعامدين واللوح δ ص δ ص δ س δ يميل على الواحد منهما بزاوية قدرها θ ، فان الصورة δ تكون موازية للسطح العاكس γ ويكون بينهما بعد هو الفرق بين بعد γ عن δ وبين بعد δ عن δ ، واذن يمكن اعتبار التداخل حادثاً بين شعاعين ينعكس أحدهما عن السطح التقديرى δ وينعكس الآخر عن السطح γ كما يحدث التداخل بين شعاعين ينعكس أحدهما عند أحد سطحي غشاء منتظم السمك وينعكس الآخر عند السطح الآخر . ويكون الغشاء في هذه الحالة من الهواء وسمكه هو البعد بين الصورة التقديرية δ وبين السطح γ . فالرمز للسمك بالحرف δ ولزاوية السقوط على السطح γ أو على السطح التقديرى δ بالحرف θ كان الفرق في المسير الحادث بفعل الغشاء الهوائى مساوياً δ و δ ، ولما كان أحد الشعاعين المتداخلين (وهو الواقع على السطح γ) ينعكس عند δ انعكاساً داخلياً والآخر (وهو المنعكس عند السطح δ أو السطح التقديرى δ) ينعكس عند δ انعكاساً خارجياً فإنه اذا كان أحد هذين الانعكاسين مقروناً دون الآخر بتغير في الطور كانت نتيجة التداخل ضياء اذا كان

$$\delta = \delta (1 + \delta) \quad \delta \text{ و } \delta \text{ حتماً}$$

وكانت نتيجته ظلمة اذا كان

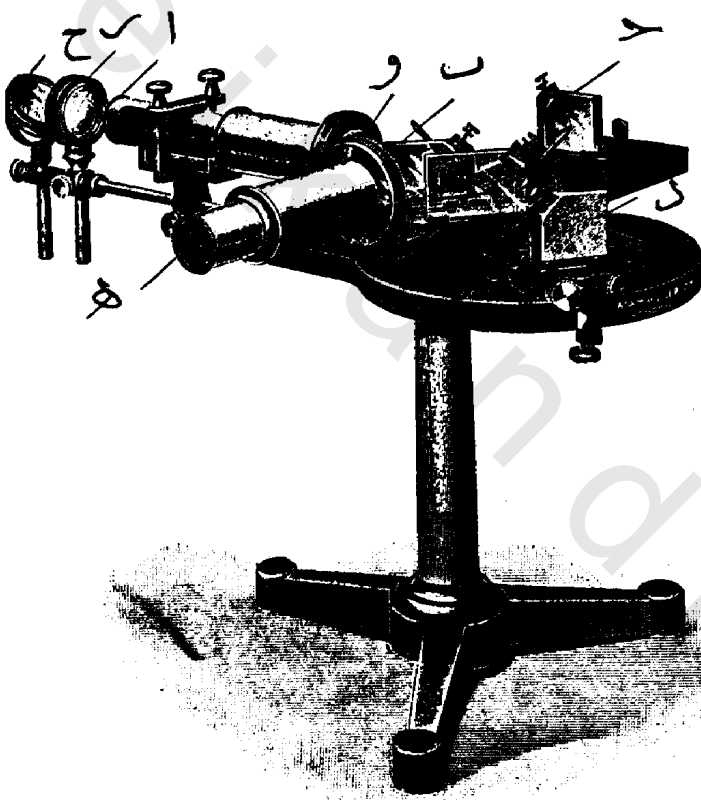
$$\delta = \delta \text{ و } \delta \text{ حتماً}$$

فاذا كان السمك δ ثابتاً واختلفت زوايا سقوط الاشعة المختلفة تكونت هدب تكون مستديرة أو أقواساً من دوائر متحدة المركز .

٢٤١ — كيفية اعداد مقياس ميكلسن للاستعمال

يمثل (شكل ٢٠٥) نوعاً بسيطاً من مقياس ميكلسن من صنع معامل « هيلجر » (١) نتخذه نموذجاً لبيان كيفية توزيع الأجزاء الأساسية في الجهاز وايضاح كيفية اعداده للحصول على الهدب . فاللوح المفضلض أحد سطحيه هو المدلول عليه بالحرف δ و γ هو السطح

العاكس الذى يقع عليه الضوء المنعكس عن السطح المفضض للوح ٦ د السطح العاكس الآخر الذى يقع عليه الضوء الذى ينفذ خلال اللوح وبينه وبين هذا اللوح يرى اللوح المكافئ. وكل من السطحين العاكسين ٦ د هو سطح مستوى مفضض للوح من الزجاج موضوع بحيث يقع الضوء على السطح المفضض. ويطلق على كل منهما عادة اسم المرآة. والمرآة ٦ د قابلة للازاحة فى اتجاه عمودى على سطحها ومواز لسطح المرآة ٦ د وذلك عادة بوساطة لولب دقيق مدرج. والمرآتان واللوحة متصل بها مسامير محواة لكى يتيسر امالتها بالنسبة الى الرأسى وادارتها قليلا حول محور رأسى. ويوجد فضلا عن هذه



(شكل ٢٠٥)

الاجزاء الاساسية مجمع يوجه الضوء نحو اللوح ٦ وهو يتركب من أنبوبة فى أحد طرفيها فتحة مستديرة ذات اتساع مناسب يمكن توسيعها وتضييقها على حسب الارادة وبالقرب من هذا الطرف من الانبوبة وعلى سطحها الاسطوانى توجد فتحة أفقية مستطيلة متسعة يتسنى بالنظر خلالها رؤية

الحاجز الذى به الفتحة المستديرة المذكورة من الخلف. وفى الطرف الآخر للانبوبة توجد عدسة لامة بعدها البؤرى يساوى طول الانبوبة. كذلك يوجد بالجهاز تلسكوب صغير هو المدلول عليه بالحرف هـ لكى ترى الهدب بوساطته. وأمام الفتحة المستديرة للجمع توجد عدسة لامة رلتكشيف الضوء على الفتحة ومرآة ٦ ليتسنى بوساطتها عكس الضوء من المصدر حيث يوضع المصدر لاعلى امتداد محور المجمع بل على امتداد العمود عليه وفى الجانب الآخر منه بالنسبة الى التلسكوب

ويستحسن أن يكون بين المصدر وبين الجهاز حاجز يحول دون وقوع الضوء على أجزاء الجهاز وتسربه الى مجال النظر والا قل جلاء الهدب ووضوحها

ولتهيئة الجهاز لرؤية الهدب توضع أولاً المرآتان γ و δ وكذلك اللوح β في مواضعها على حواملها بحيث يكون البعد بين اللوح β وبين كل من المرآتين واحد بالتقريب وبحيث تكون جميعها رأسية على قدر الامكان ثم يزال اللوح β من موضعه ويؤتى بمصدر ضوء شديد ولا بأس من أن يكون أبيض وتضاء به فتحة المجمع . فيقع الضوء من المجمع على المرآة δ رأساً ثم ينعكس عنها فينفذ خلال عدسة المجمع متجمعاً على الحاجز الذي به الفتحة المستديرة حيث يمكن بالنظر خلال الفتحة الموجودة بالسطح الاسطوانى للانبوبة رؤية صورة للثقب المستدير تتكون على ظهر هذا الحاجز لاسيما اذا كان ظهره أبيض . ثم يعدل وضع المرآة δ حتى تقع هذه الصورة على الثقب المستدير . وهذه الكيفية يتحقق الى حد كبير وقوع الأشعة الخارجة من المجمع عمودياً على سطح المرآة δ . وبعد هذا يوضع اللوح β في مكانه فينعكس جزء من الضوء عن سطحه المفضض نحو المرآة γ وينعكس عن سطح هذه المرآة نحو السطح المفضض للوح β ومنه نحو عدسة المجمع فينفذ منها مكوناً صورة أخرى للثقب المستدير على ظهر الحاجز الذي به هذا الثقب فاذا عدل موضع اللوح β أمكن جعل هذه الصورة واقعة على الثقب المستدير نفسه . وبهذه الكيفية يتحقق أيضاً الى حد كبير وقوع الأشعة عمودياً على سطح المرآة γ . فاذا نظر خلال التلسكوب وحجبت إحدى المرآتين بقطعة من الورق المقوى مثلاً (مع الاحتراس بالالتصاق الورقة بالسطح المفضض) رؤيت خلال التلسكوب صورة للفتحة المستديرة حادثة بالانعكاس عن سطح المرآة الأخرى . واذا كانت المرآتان مكشوفتين رؤيت صورتان تكونان منطقتين احدهما على الأخرى أو تكادان تكونان كذلك حيث يمكن بتعديل طفيف في وضع اللوح β جعلهما منطقتين . فاذا استبدل بعد ذلك بالضوء الأبيض ضوء ذولون واحد كضوء لمب الصوديوم ونظر خلال التلسكوب رؤيت عادة الهدب وقد يساعد اراحة المرآة γ قليلاً في الاتجاه العمودى على سطحها على رؤية الهدب اذا كان الضوء ضوء لمب الصوديوم وسيوضح السبب في ذلك فيما بعد

فاذا ماتم الحصول على الهدب بهذه الكيفية وأزيلت المرآة γ في الاتجاه العمودى على سطحها

ترتب على ذلك أن يحدث فرق في المسير بين كل شعاعين متداخلين فتتحول الهدب عن مواضعها فإذا أزيحت المرآة بمقدار نصف الطول الموجي كان فرق المسير الحادث من جراء ذلك مساوياً الطول الموجي فتحل الهدبة المضيئة مكان المضيئة التي تليها أي تراح الهدب بمقدار عرض الهدبة الواحدة . وهكذا

وللحصول على الهدب الملونة التي تحدث عند ما يكون الضوء أبيض يجب أن يكون مسير الشعاعين المتداخلين متماثلين متساويين فيستعمل اللوح المكافئ ونهياً المرآة - حتى يكون مسير الشعاع المنعكس إليها مساوياً لمسير الشعاع النافذ إلى المرآة د والافتى تجاوز فرق المسير بضع مرات الطول الموجي اندمجت الهدب الملونة بعضها في الآخر وحدث ضياء أبيض مستمر (بند ٢٢٠) ولكي تنهياً المرآة في الوضع المذكور تراح قليلاً قليلاً في الاتجاه العمودي على سطحها حتى تظهر الهدب كأقواس من دوائر أقطارها كبيرة فيشاهد أن تقوس الهدب ينعكس اتجاهه متى تجاوزت المرآة - وضماً معيناً . فإذا نعين هذا الوضع واستبدل بالضوء ذي اللون الواحد ضوء أبيض رؤيت الهدب الملونة وقد يكون من اللازم لرؤيتها أن يعدل تعديلاً طفيفاً موضع المرآة - فتراح ببطء بعيداً عن اللوح أو قريباً منه حتى إذا ما حلت بالوضع المذكور ظهرت الهدب الملونة في مجال النظر وأمكن تعيين موضع الهدبة المركزية وهي نظراً لتغير الطور الحادث عند انعكاس أحد الشعاعين المتداخلين عن السطح المفضض للوح - تكون هدبة مظلمة

٢٤٢ — أمثلة من التطبيقات العامة لمقياس ميكلسن

يطبق مقياس « ميكلسن » للأغراض التي يطبق لها مقياس « جامن » بل إن مقياس ميكلسن يفضل على هذا لتعامد مسيرى الحزمتين المتداخلتين ، فيسهل وضع ألواح رقيقة أو ما يةوم مقامها في سبيل احدهما دون الأخرى . فهو يطبق لايجاد معامل الانكسار ولقياس سمك الأغشية الرقيقة كما سبق بيانه في مقياس جامن . ويستعان في هذه الحالات بالضوء الأبيض لا مكان تمييز الهدبة اللالونية (١) ويفضل الحصول على مجموعة من هدب ذات لون واحد تغشاها مجموعة من

(١) تسمى الهدبة المظلمة المركزية لالونية أيضاً ويراعى ما سبق في بند (٢٢٤) فيما يختص بالهدبة اللالونية

الهدب الملونة . وذلك بوضع مصدر ضوء أبيض قوة اضاءته مناسبة (كشمعة موقدة مثلاً) خلف مصدر الضوء ذى اللون الواحد

ومن أسهل ما يستخدم له المقياس تعيين الطول الموجى لضوء ذى لون واحد . ويمكن لذلك الحصول على الهدب والنظر إليها خلال التلسكوب بحيث يقع أحد خطيه المتعامدين (أو موضع تقاطعهما) على إحدى الهدب المضئية فإذا أزيحت المرآة حـ (بادارة رأس اللولب المعد لذلك) بمقدار معلوم ويبطء أمكن حصر عدد الهدب التى تمر بالخط المذكور . فإذا رمزنا لعددتها بالحرف n وللطول الموجى بالحرف λ فإن فرق المسير الحادث من جراء إزاحة المرآة يساوى $n\lambda$ ويساوى ضعف المسافة التى أزيحت خلالها المرآة

ويطبق المقياس أيضاً فى اختبار ما إذا كان الضوء ذو اللون الواحد ضوءاً بسيطاً (أى ذا طول موجى واحد) حقاً أو هو ضوء مركب مثلاً من ضوءين الطول الموجى ل أحدهما يكاد يساوى الطول الموجى للآخر ولكنه يختلف عنه قليلاً كما هو الحال فى ضوء لهب الصوديوم . ولتوضيح هذا نفرض أن مصدر الضوء يصدر ضوءين الطول الموجى لأحدهما λ_1 والطول الموجى للآخر λ_2 وليكن λ_1 اكبر من λ_2 . فإذا كان الأمر كذلك أمكن إيجاد قيمة للبقدار n ^(١) بحيث يكون

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} + \lambda_2 n = \lambda_1 n$$

فإذا فرضنا مثلاً أن المقياس مهياً لرؤية الهدبة المركزية ، فإن المركزية فى هدب أحد الضوءين والمركزية فى هدب الأخرى تكونان منطقتين ونظراً لأن الفرق بين الطولين الموجيين صغير تكون الهدب القريبة من المركزية متطابقة أيضاً . فتظهر الهدب بجلاء ووضوح . ولكن إذا أزيحت المرآة حـ باستمرار حدث بين الشعاعين المتداخلين فرق فى المسير يترتب عليه تحول الهدب عن مواضعها . فإذا بلغ هذا الفرق المقدار $n\lambda_1$ كانت نتيجة التحول أن هدب الضوء ذى الطول الموجى λ_1 قد أزيحت فحلت المركزية منها مكان الهدبة

(١) فإذا فرضنا مثلاً أن $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{1.1}{1.0}$ ، فإن $1.1 = 1.0 + \lambda_2 n$ ، فكون $n = 0.1$ ، يكون $\lambda_2 n = 0.1 \lambda_2$ ، $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} + \lambda_2 n = 1.1 + 0.1 = 1.2$ ، حيث تكون قيمة n هى ٠.١

النونية التي تليها في حين أن هذب الضوء الآخر قد أزيحت فحلت المركزية لا مكان النونية التي تليها بل في منتصف ما بين هذه والهذبة التي تليها . واذن تكون نتيجة هذا أن الهذب المضئية في أحد الضوءين تقع مكان المظلة في الآخر . فإذا كانت شدتا الضوءين متساويتين تبدل بالهذب ضياء مستمر منتظم . واذالم يكونا بشدة واحدة قل جلاء الهذب ووضوحها ، فإذا استمرت ازاحة المرآة - حتى يبلغ فرق المسير ضعف المقدار السابق ، تطابقت الهذب المضئية في الضوءين فتنبلج الهذب وتستبين وهكذا .

فازاحة المرآة - بالتدريج وباستمرار تغير مظهر الهذب من وضوح وجلاء الى غموض وضمور الى وضوح وجلاء تغيراً دورياً . فإذا رمز للمسافة التي تزاح خلالها المرآة لكي يتغير مظهر الهذب من جلاء الى ضمور الى جلاء بالحرف s ، فإن فرق المسير الحادث من جراء ذلك يكون $s/2$ ويشمل هذا المقدار عدداً من الموجات الطويلة أقل بواحد من عدد الموجات القصيرة التي يشملها . فيكون

$$\frac{1}{s_2} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{s} \quad \therefore \quad 1 - \frac{s_2}{s_1} = \frac{s_2}{s}$$

فإذا عرف الطول الموجي لأحد الضوءين وقيس المقدار s أمكن استخراج الفرق بين الطولين الموجيين

وقد طبق ميكلسن مقياسه على أساس هذه الفكرة لتحليل الأضواء التي تعد ذات لون واحد أى لتحليل أضواء الخطوط الطيفية واختبار ما اذا كانت حقاً أضواء بسيطة

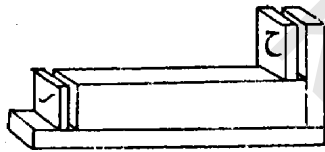
٢٤٣ - تطبيق مقياس ميكلسن لتحديد طول المتر

وطبق ميكلسن مقياسه لأغراض شتى سنأني هنا بإيجاز بمثالين منها . والمثال الأول تطبيقه لتحديد طول المتر . والمتر بعد طولى محدود بعلمتين على قضيب من البلاتين والارديوم محفوظ في المكتب الدولي للوزن والمكاييل في باريس عندما تكون درجة حرارة القضيب درجة الصفر المئوى . وكانت الغاية من التجارب تحديد هذا البعد بالإضافة الى الطول الموجي لضوء معين فيصير هذا هو المرجع في تحديد وحدة الأطوال . واتخذ ميكلسن الخط الأحمر والخط

الاخضر والخط الازرق في طيف الكاديوم الحادث بطريقة القوس الكهربائي (١) أضواء حدد المتر بالإضافة الى أطوالها الموجية نظراً لان هذه الخطوط بسيطة دل اختبارها على أساس الفكرة التي شرحناها فيما سبق على أن لها طولاً موجياً معيناً

ولما كان تعيين عدد الموجات الضوئية التي يشملها طول المتر رأساً بالضبط يكاد يكون مستحيلاً من الوجهة العملية لان هذا الطول يشمل أكثر من مليون ونصف مليون من الطول الموجي لاطول الموجات المذكورة، وحصر مثل هذا العدد عملية شاقة لا يمكن الاعتماد على نتيجتها، توخى ميكلسن طريقة خاصة نوردها فيما يلي

فاتخذ أجهزة تسمى « أتالونات » (٢) يتركب الواحد منها من قضيب من البرونز كاليمين



(شكل ٢٠٦)

بشكل (٢٠٦) عند طرفيه مرآتان ر ح مستويتان تمام الاستواء تمكن تهيئتهما بمسامير محواة بحيث تكونان متوازيتين . وحضر ميكلسن من هذه الاتالونات تسعة جعل في أطولها البعد

بين المرآتين عشرة سنتيمترات وفي الذي يليه خمسة ثم ٢,٥ وهكذا وكان البعد بين المرآتين في أقصرها ٣,٩ من المليمتر . ونسمى البعد بين المرآتين طول الاتالون . وعدل ميكلسن مقياس التداخل بعض التعديل ، فأضاف اليه لوحاً عاكساً هو المدلول عليه بالحرف و في شكل (٢٠٧) بحيث ينعكس الضوء عنده الى المرآة ح وهذه قابلة للازاحة بواسطة مسمار لولبي دقيق في اتجاه عمودي على سطحها . واستبدل بالمرآة الاخرى في المقياس أتالونين طول أحدهما ضعف طول الآخر موضوعين جنباً الى جنب كما هو مبين بالشكل (٢٠٧) وأحدهما وهو القصير قابل للازاحة بواسطة مسمار لولبي دقيق في اتجاه يوازي تماماً الاتجاه الذي تزاخ فيه المرآة ح . فاذا نظر خلال التلسكوب يرى مجال النظر مكوناً من أربعة أرباع هي أولاً سطح المرآة الامامية السفلى للاتالون القصير وهي المدلول عليها بالحرف ر وبجوارها سطح المرآة الامامية السفلى للاتالون الطويل وهي المدلول عليها بالرز ر . وفوق المرآة ر يرى سطح المرآة العليا الخلفية للاتالون القصير وهي المدلول عليها بالحرف ح وبجوار هذه يرى سطح المرآة العليا الخلفية

للاتالون الطويل وهي المدلول عليها بالرمز ح . ويرى على هذا كله صورة المرآة > وهي الصورة التي تحدث بالانعكاس عند ب

والفكرة الاساسية التي تقوم عليها التجارب تتلخص فيما

يأتى :

« إذا أريد إيجاد الفرق بين طول الاتالونات وبين ضعف طول الاتالون الذى يليه فى القصر ، مقيساً ذلك الفرق بالنسبة

الى الطول الموجى لضوء معين تجرى العمليات الآتية

(شكل ٢٠٧)

(أولاً) يهيا الجهاز بحيث يكون مسير الضوء من ب الى المرآة > ومنها الى ب مساوياً مسيره من ب الى المرآة ر ، ومنها الى ب حتى اذا استعمل الضوء الابيض حدثت الهدب الملونة فى الربع المشغول بسطح المرآة ر ، فاذا أميل سطح هذه المرآة قليلاً حول محور رأسى بحيث يصير مائلاً بزاوية صغيرة بالنسبة الى صورة المرآة > ، صار التداخل فى الجهاز شديداً بالتداخل فى الاغشية المتغيرة السمك ، فتصير الهدب رأسية ، ويمكن تهيتها حتى يكون موضع الهدبة المركزية (حيث يعدم بتأثير فرق المسير بين الشعاعين المتداخلين) وهى هدبة مظلمة (كما تبين فيما سبق) عند حرف المرآة ر ، القريب من المرآة ر . وبعد هذا يعدل الاتالون القصير ويعدل وضع مرآته ر ، حتى تظهر فى الربع المشغول بهذه المرآة ، هدب شبيهة بالهدب السابقة وموضع الهدبة المركزية فيها وهى مظلمة عند حرف المرآة ر القريب من المرآة ر ، فاذا ما تم هذا يصير فى النصف الاسفل من مجال النظر هدب رأسية متماثلة ، فى وسطها هدبتان مظلمتان متقاربتان تكادان تتلامسان

(ثانياً) تزاح المرآة > فى اتجاه عمودى على سطحها بعيداً عن اللوح و حتى تصير بالنسبة الى المرآة ح فى وضع شبيه تماماً لوضعها السابق بالنسبة الى المرآة ر . وتظهر هدب رأسية فى الربع المشغول بسطح المرآة ح دون الاجزاء الاخرى من مجال النظر

(ثالثاً) يزاح الاتالون القصير بعيداً عن اللوح ب حتى تأخذ مرآته الامامية السفلى ر وضعاً بالنسبة الى المرآة > شبيهاً تماماً لوضعها السابق بالنسبة اليها . فتظهر الهدب الرأسية

في الربع المشغول بسطح المرأة ر

(رابعاً) تراح المرأة > بعيداً عن اللوح و حتى تصير بالنسبة الى المرأة ح في وضع شبيه تماماً لوضعها بالنسبة اليها في العملية الثانية . فتظهر الهدب مرة أخرى في الربع المشغول بالمرأة ح

فاذا كان طول الاتالون الطويل ضعف طول القصير بالضبط فان الهدب تظهر في الوقت نفسه في الربع المشغول بالمرأة ح . ويتحقق هذا فعلاً اذا كان طول أحد الاتالونين بالنسبة الى الآخر قد حدد في مبدئ الامر بالدقة الكافية ، ولكن قد تكون الهدبة المركزية مزاحة قليلاً عن موضعها . فاذا قيست هذه الازاحة بالنسبة الى عدد من الهدب المتكونة بضوء ذى لون واحد تعين الفرق بين طول الاتالون الطويل وضعف طول القصير بالنسبة الى الطول الموجى لهذا الضوء «^(١)

بمثل هذه الكيفية يتسنى قياس الفرق بين طول كل أثالون وضعف طول الذى يليه في القصر واذن أمكن معرفة الفرق بين طول أطول الاتالونات وبين ثمانية أمثال طول أقصرها (أى طول الاتالون الذى طوله ٠.٣٩ من المليمتر مضروباً في اثنين ثمان مرات) . فاذا أمكن تعيين عدد الاطوال الموجية التى تنحصر بين مرآتى طول القصير ، نحدد بالضبط عدد الموجات الضوئية المنحصرة بين مرآتى أطول الاتالونات . وطريقة تعيين عدد الاطوال الموجية المنحصر بين مرآتى أقصر الاتالونات تتضح فكرتها الاساسية مما يأتى

« يوضع الاتالون القصير في المقياس في الوضع رح المبين بشكل (٢٠٧) وبجواره أثالون آخر ر ح . ويهيا الجهاز بحيث يكون مسير الضوء من ت الى المرأة > مساوياً مسيره من ت الى المرأة ر . ويؤمال سطح هذه قليلاً حول محور رأسى بحيث تظهر في الربع المشغول بسطحها الهدب الرأسية كما في الحالات السابقة . ويهيا سطح المرأة ر بحيث يكون موازياً تماماً لسطح المرأة > ، وتظهر في الربع المشغول بالمرأة ر هذب مستديرة على هيئة حلقات مركزها مظلم . ثم تراح المرأة > بعيداً عن اللوح و ببطء بحيث يتسنى متابعة الهدب الحلقيّة

وهي تنقلص وتختفي في المركز من جراء فرق المسير الحادث عن الازاحة، ويتسنى حصر عددها .
غير أن ازاحة المرأة > تجعل الهدب الرأسية في الربع المشغول بالسطح ر تختفي حتى اذا ما
صارت المرأة > بالنسبة الى المرأة ح في وضع شبيه تماماً لوضعها السابق بالنسبة الى المرأة ر
ظهرت الهدب الرأسية في الربع المشغول بالمرأة ح وتكون المرأة > قد أزيحت خلال مسافة
تساوى بالضبط طول الاتالون ر ح . ويكون عدد الحلقات التي حصر عددها في أثناء ذلك ،
هو عدد الموجات المحصورة بين مرآتي الاتالون ر ح . ومن اللازم أن يكون الضوء الذي
يستعمل للحصول على الحلقات ذا طول موجي معين (هو الطول الموجي الذي يراد تحديد المتر
بالنسبة اليه) في حين أن يكون الضوء الذي يستعمل للحصول على الهدب الرأسية أبيض ^(١)
ويبقى بعد ذلك مقابلة المسافة التي تساوى عشر مرات طول أطول الاتالونات بالمتر العياري
ولاجراء هذه العملية يهياً أحد الخططين أو احدى العلامتين اللتين تحددان المتر العياري بحيث
تكون منطبقة مع علامة أو خط موجود على الاتالون الطويل وينظر اليهما بواسطة ميكروسكوب
ويكون الاتالون مهياً بحيث تظهر الهدب الرأسية في الربع المشغول بمرآته العليا الخلفية (المرأة
ح، مثلاً) ثم يزاح الاتالون بعيداً عن اللوح ب مع ثبوت المرأة > حتى تظهر الهدب الرأسية
في الربع المشغول بالمرأة السفلى الامامية (المرأة ر، مثلاً) . وبعد هذا تزاح المرأة > الى
الخلف حتى تظهر الهدب الرأسية في الربع المشغول بالمرأة العليا الخلفية . وتكرر هذه العملية.
فاذا كان عشر مرات طول الاتالون مساوياً بالتمام البعد بين العلامتين على المتر العياري انطبقت
العلامة الموجودة على الاتالون بالعلامة الاخرى على المتر العياري عند اتمام ازاحة الاتالون
خلال مسافة طولها يساوى عشرة أمثال البعد بين مرآتيه واذا كان ثمت فرق أمكن قياسه بالنسبة
الى الطول الموجي للضوء المعين .

والتجارب التي لحصنا فكرتها الاساسية فيما سبق أجراها ميكلسن في المكتب الدولي
للوزن والمكييل في باريس واعانه « بنواه » ^(٢) في اجرائها . وكانت نتائج التجارب أن
المتر يشمل

(أولاً) بالنسبة الى الطول الموجى للخط الاحمر من طيف الكاديوم

موجة ١ ٥٥٣ ١٦٣,٥

(ثانياً) بالنسبة الى الطول الموجى للخط الأخضر من طيف الكاديوم

موجة ١ ٩٠٠ ٢٤٩,٧

(ثالثاً) بالنسبة الى الطول الموجى للخط الازرق من طيف الكاديوم

موجة ٢ ٠٨٣ ٣٧٢,١

وذلك عند ما تكون درجة حرارة الجو ١٥ مئوية والضغط الجوى ٧٦ سنتيمتر آمن الرئبق ومن اللازم تحديد الضغط ودرجة الحرارة لان معامل انكسار الضوء فى الغاز واذن سرعته واذن طول موجته ، يتوقف على درجة حرارة الغاز وضغطه . ويتضح مبالغ دقة التجارب من أن الاختلاف بين نتائج التجربة اذا أعيدت كان لا يتعدى رقم الآحاد

٢٤٤ - تجربة ميكلسن ومورلى

ومن تطبيقات الجهاز تطبيقه فى التجربة المشهورة التى تعرف بتجربة «ميكلسن ومورلى» (١)

هـ هى التى كان الغرض منها بيان حركة الارض فى الاثير :

والفكرة الاساسية فى هذه التجربة

أنه اذا هيء الجهاز للحصول على الهدب

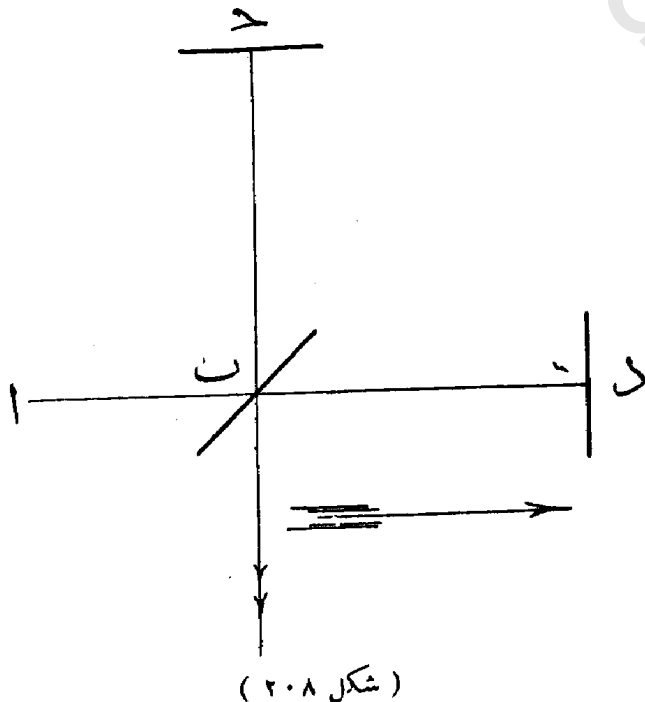
وكان مسير الشعاع ب د (شكل ٢٠٨)

منطبقاً على اتجاه حركة الأرض ومسير

ب ح عمودياً عليه ثم ادير الجهاز

بمقدار زاوية قائمة بحيث يصير ب ح

منطبقاً على حركة الأرض والآخر



عمودياً عليه ، حدث بين الشعاعين المتداخلين فرق في المسير تكون نتيجه ان الهدب تتحول عن مواضعها

ولتقدير الفرق في المسير الحادث من جراء هذا الدوران نفرض أن

$$b = d = c \text{ بالضبط}$$

ولنرمز لهذا البعد مقيساً في الهواء بالحرف s ، فإذا فرضنا أن الأرض تتحرك في استقامة b بسرعتها في فلكها حول الشمس ورمزنا لهذه السرعة بالحرف c ورمزنا لسرعة الضوء في الاثير الساكن بالحرف d كان الزمن الذي يستغرقه الضوء في الذهاب من b الى d هو

$$\frac{s}{d - c}$$

وكان الزمن الذي يستغرقه في المجيء من d الى b هو

$$\frac{s}{d + c}$$

واذن يكون الزمن الذي يستغرقه في الذهاب والاياب مساوياً

$$\frac{s}{d - c} = \frac{s}{d + c} + \frac{s}{d - c}$$

واذن يكون مسير الشعاع السائر في استقامة حركة الأرض ذهاباً واياباً (وهو البعد الذي

يقطعه الضوء) مساوياً

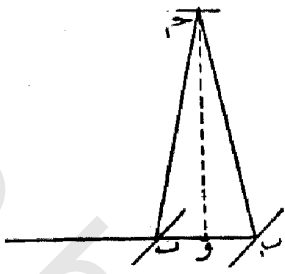
$$\text{بالتقريب} \quad \left(\frac{c^2}{d^2} + 1 \right) s = \frac{s^2}{\frac{c^2}{d^2} - 1} = \frac{s^2}{\frac{c^2}{d^2} - 1}$$

وذلك باهمال الحد الذي يشمل $\frac{c^2}{d^2}$ وما بعده

والشعاع الآخر فنظراً لانعكاسه عند b عن سطح متحرك في استقامة a بسرعة الأرض فان زاوية انعكاسه تكون أكبر قليلاً من زاوية السقوط (وقد سبق بيان ذلك في بند ١٩٣) واذن يكون مسيره عند الذهاب من b الى المرأة c ليس على استقامة b كما هو مبين بشكل (٢٠٨) وانما على استقامة b كما بشكل (٢٠٩) وتكون عودته في استقامة c b ^(١) بحيث يكون

(١) ولو أن المرأة c تتحرك في استقامة حركة الأرض فان حركتها تكاد تكون عمودية على الشعاع b c الواقع عليها فلا تختلف زاوية الانعكاس عن زاوية السقوط كثيراً

البعد ب، هو البعد الذي قطعته الأرض في البرهة التي يستغرقها الضوء في الذهاب والاياب
 فإذا كانت نقطة و هي منتصف ب، كان الزمن الذي يستغرقه الضوء
 في الوصول من ب إلى ح مساوياً الزمن الذي تستغرقه الأرض في قطع
 البعد ب و واذن يكون



(شكل ٢٠٩)

$$\frac{c}{v} = \frac{b}{c}$$

$$\text{ولكن } \sqrt{c^2 + v^2} = \sqrt{c^2}$$

$$\therefore \sqrt{c^2 + v^2} = \sqrt{c^2} \quad \therefore \sqrt{c^2 + v^2} = \sqrt{c^2}$$

$$\therefore \frac{c}{\sqrt{c^2 + v^2}} = \frac{c}{c}$$

$$= \left(\frac{c}{\sqrt{c^2 + v^2}} + 1 \right) \quad \text{بالتقريب}$$

واذن مسير الشعاع الثاني في الذهاب والاياب يساوى

$$2 \left(\frac{c}{\sqrt{c^2 + v^2}} + 1 \right)$$

فيكون فرق المسير بين الشعاعين مساوياً و $\frac{c}{v}$ حيث يلاحظ أن مسير الشعاع السار في
 استقامة حركة الأرض وهو د أطول

كذلك اذا كانت حركة الأرض في استقامة ب ح (شكل ٢٠٨) يكون مسير هذا الشعاع أطول

بالمقدار المذكور

فإذا هيء الجهاز للاستعمال وكان الشعاع ب د في استقامة حركة الأرض ثم أدير الجهاز بمقدار قائمة
 بحيث جعل ب ح في استقامة حركة الأرض والآخر عمودياً عليها ترتب على ذلك حدوث فرق في المسير
 بين الشعاعين المتداخلين قده ٢ و $\frac{c}{v}$. ويكون مظهر هذا الفرق أن تتحول الهدب عن مواضعها
 ولاجراء التجربة على أساس هذه الفكرة ثبتت أجزاء المقياس على قاعدة من الحجر وجعلت

هذه القاعدة فوق حلقة من الخشب تطفو على سطح زئبق موضوع في حوض من الحديد . وأدير الجهاز بسرعة منتظمة بطيئة بحيث كان يستغرق في آتمام الدورة ما لا يقل عن خمس دقائق . وكانت الهدب تراقب والجهاز يدور حتى لا يحدث من جراء إيقافه فجأة أو إدارته فجأة انفعال قد يترتب عليه وحده تغير في مواضع الهدب . وقد كانت نتيجة التجربة سلبية ينفي ظاهرها أنه يوجد بين الأرض والأثير حركة . وكان مما أفضت اليه هذه النتيجة السلبية نشوء نظرية « اينشتين »^(١) في الإضافة (٢)

Einstein (١)

Theory of Relativity انظر الفصل الثاني من الباب السابع من كتاب علم الطبيعة نشوء ورقبه (٢)

وتقدمه الحديث للمؤلف صفحة ٣٨١