

الباب الرابع عشر

التحليل الطيفي ونظرية التشتت

٣٨٩ — طرق الحصول على أطياف الاشعاع

أشرنا في الباب الخامس الى أن العناصر المختلفة تشع في حالات معينة أضواء اذا حلت بوساطة سبكتروسكوب مثلاً ، تكونت لها أطياف تتميز بها العناصر بعضها عن الآخر. وتسمى أطياف الأضواء المتشعة من العناصر « أطياف الاشعاع »^(١). وللحصول عليها طرق ، الشائع منها أربع

(أولاً) طريقة اللهب

وتصلح للحصول على أطياف بعض الفلزات ، وتتخلص في ادخال ملح من املاح الفلز في لهب مصباح بنزن . فاللهب يكاد لا يكون له لون ، فاذا أدخل الفلز فيه ، بخروعم بخاره اللهب فيتلون اللهب بلون خاص ، ويكون الضوء المنبعث منه هو المتشع من الفلز الموجود فيه . وتصلح هذه الطريقة للحصول على أطياف اشعاع الصوديوم ، والباريوم ، والسيريوم ، والكلسيوم ، والليثيوم ، والبوتاسيوم ، والروبيديوم ، والسترنشيوم ، والثاليوم ، وذلك بادخال كلوروراتها في اللهب

وطريقة ادخال الملح في اللهب أن يستعان بسلك من البلاتين فيثنى أحد طرفيه على هيئة حاقعة أو ملعقة صغيرة ، ثم يغمس في حامض الكلورودريك المركز ، ثم يسخن في لهب مصباح بنزن ، حتى يتطاير منه ما قد يكون عالقاً به من المواد ، فيغمر بعد ذلك طرفه المثني في الملح ، ويوضع بحيث يلامس لهب المصباح . غير أن سرعة تطاير الملح تحول دون استخدام هذه

الطريقة في كثير من الحالات . ومن أبسط الوسائل التي تتبع عندئذ ، أن يأتى بانبوبة صغيرة من الزجاج ، مسدود أحد طرفيها ، وتملاً بمحلول مركز من الملح المراد اختبار طيف فلزه ، ويسد طرفها الآخر بخيوط من « الازبستوس »^(١) أو بأسلاك رفيعة من البلاتين ، على هيئة فتيلة ، ويجعل الطرف الخارجى لهذه الفتيلة ناتئاً من الأنبوبة ، ويثنى قليلاً بحيث إذا ثبتت الأنبوبة في وضع رأسى وفتيلتها الى أسفل تكون الفتيلة ملامسة للهب وتمده باستمرار بالمحلول ، ومن المناسب اضافة قليل من حامض الكلورودريك أو أسات الامونيوم الى المحلول ، لكي يمتنع التحجر الذي قد يحدث في طرف الفتيلة

(ثانياً) طريقة التفريغ الكهربائى

وتصلح للحصول على أطيف اشعاع الغازات ، وفيها تتخذ أنبوبة من الزجاج كما بشكل (٣٠٨) عند كل من طرفيها قطب من الالومنيوم متصل بسلك من البلاتين ، والسلكان ملتصقان كل بأحد طرفى الأنبوبة . وتملاً الأنبوبة بالغاز المراد اختبار طيفه ، بعد تفريغها من الهواء ، ثم يخلخل الغاز حتى يصير ضغطه معادلاً لضغط مليمتر أو اثنين من الزئبق ، فإذا وصل قطبا الأنبوبة بطرفى ملف زمكرف ، وشغل الملف ، اضاءت الأنبوبة بضوء ذى لون معين يتوقف على نوع الغاز الموجود فيها . وتكون شدة الضوء المنبعث من الجزء الشعري من الأنبوبة كبيرة ويمكن الحصول على أنابيب من هذا القبيل معدة للاستعمال وبداخلها غازات مختلفة

(ثالثاً) طريقة القوس الكهربائى

وتصلح للحصول على أطيف اشعاع العناصر الصلبة كالحديد ، والنحاس ، والالومنيوم ، والكادميوم ، والمغنيزيوم ، والخاصين ، والفضة . وتتلخص هذه الطريقة في الحصول على قوس كهربائى بين قلبين من مادة من هذه المواد بدلاً من قلبين من الكربون كما هو المتبع عند استخدام القوس القولى المعتاد ويستحسن

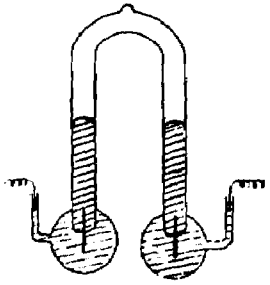


عند تطبيق هذه الطريقة للحصول على الطيف أن يكون التيار مستمراً وألا (شكل ٣٠٨) يكون شديداً جداً منعاً لظهور القطبين لا سيما القطب الموجب وهو الذى تكون درجة حرارته

أعلى . ويستحسن أن تكون شدة التيار ما بين ثلاثة وستة أمبيرات وأن يكون مستمداً من قوة دافعة ذات اتجاه واحد تساوى ما بين ١٥٠ و ٢٠٠ فولت . ولامرار التيار الكهربائي يقرب القطبان أحدهما من الآخر حتى يتلامسا ، ثم يفصلان بحيث يكون البعد بينهما مليمترين أو ثلاثة

ويمكن الحصول على طيف اشعاع الزئبق بهذه الطريقة . وكيفية ذلك أن يهيا قوس فولتي بين قلبن رأسيين من الكربون ، ويجعل أسفلهما مقوراً مثقوباً ، ويوصل بوساطة أنبوبة من المطاط بمستودع به زئبق بحيث إذا رفع المستودع أو خفض ارتفع تبعاً لذلك سطح الزئبق في القلم الكربوني المثقوب أو انخفض . ويجعل سطح الزئبق عند الطرف الاعلى للقلم الكربوني ، حتى إذا حدث القوس الكهربائي ، بخر الزئبق وانتشر بخاره فيما بين القلبن وأضاء القوس بالضوء البنفسجي المميز للزئبق

ويستعمل عادة للحصول على القوس الزئبقى جهاز كالمبين بشكل (٣٠٩) ويتركب من أنبوبة متسعة ذات شعبتين ، مسدود طرفاها وملتحمة بكل واحد منهما سلك من البلاتين ، جزء منه في



داخل الشعبة والجزء الآخر خارجها ، وتحتوى الانبوبة على مقدار من الزئبق ، ومفرغ مما بقى منها الهواء . ويحيط بطرف كل من الشعبتين اناء صغير كرى الشكل ملتحم بالجدار الخارجى للشعبة ويملاً زئبقاً ، عمله أن يمنع الى حد ما ارتفاع درجة الحرارة ارتفاعاً كبيراً ، ويوصل بوساطته التيار الكهربائي الى الزئبق الموجود داخل الانبوبة . ولاحداث

(شكل ٣٠٩)

القوس يوصل الزئبق في الاناءين الخارجين بالمصدر الذى تستمد منه الكهرباء ، ثم تمال الانبوبة لكي يتدحرج بضع قطرات من احدى الشعبتين الى الاخرى ، فيتم اتصال الدائرة خلال الفراغ الاعلى فى الانبوبة ، وهو المشبع ببخار الزئبق ، فيضئ بضوء يتكون عند تحليله طيف الاشعاع للزئبق . ويعرف هذا الجهاز « بالمصباح الزئبقى » أو « القوس الزئبقى » ^(١) وينسب الى مخترعه « أرون » ^(٢)

و كثيراً ما يستعمل في الصناعة وفي المعامل الطبيعية قوس زئبق يعرف بقوس « كوبر و هيووت »^(١)، وهو يتركب من أنبوبة طويلة من الزجاج قد يبلغ طولها ٢٧ بوصة ، مسدودة الطرفين ، ومنتفخة انتفاخاً بسيطاً عند كل من طرفيها . وبأحد طرفيها مقدار من الزئبق يتصل به سلك من البلاتين ملتحم بجدار الانبوبة وله طرف نائى الى الخارج . وعند الطرف الآخر للانبوبة حلقة صغيرة من الحديد متصلة هى أيضاً بسلك من البلاتين ملتحم بجدار الانبوبة . ويوصل السلكان البلاتينيان بالدائرة الكهربائية بحيث تكون الحلقة الحديدية القطب الموجب أو الانود ويكون الزئبق الموجود عند الطرف الآخر القطب السالب أو الكاثود ، فإذا أميلت الانبوبة قليلاً بحيث تندرج بضع قطرات من الزئبق من الكاثود الى الانود حدث القوس وأضاءت الانبوبة . وتستبدل بالانبوبة الزجاجية أخرى من الكوارتز عند دراسة اشعاع ما فوق البنفسجى ، نظراً لأن الزجاج يمتص الاشعة ذات الطول الموجى القصير فى اشعاع ما فوق البنفسجى^(٢)

(رابعاً) طريقة الشرارة الكهربائية

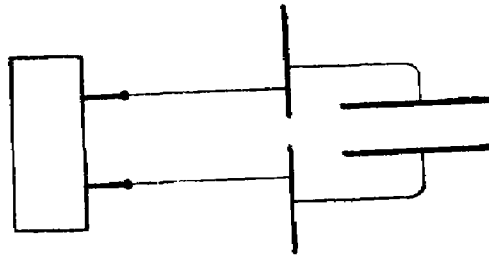
وهى تتلخص فى احداث تفريغ كهربائى اهتزازى ، فى الفرجة بين سلكين من النحاس أو الحديد فتضىء الشرارات الكهربائية بالضوء الذى يتكون منه طيف اشعاع المادة المصنوع منها طرفا السلكين . ويستعمل عادة ملف رمكرف . غير أن الشرارات التى تحدث بين طرفى ملفه الثانوى تضىء عادة بالضوء الذى يتكون منه طيف اشعاع الهواء ، ولكن اذا وصل مكثف مركب من زجاجة أو اثنين من زجاجات ليد ، توصيلاً على التوازي بالفرجة التى تحدث فيها الشرارات (أنظر شكل ٣١٠) ، فالشرارة تكون اهتزازية ، ويكون الضوء الحادث شاملاً ضوء اشعاع المعدن المصنوع منه حدا الفرجة

وتصلح هذه الطريقة للحصول على طيف اشعاع سائل أو محلول ، فيوضع السائل فى أنبوبة كانبوبة اختبار ، ملتحم فى قرارها الاسفل سلك من البلاتين يوصل بالطرف السالب

(١) Cooper-Hewitt

(٢) مما تجب العناية به فى جميع تجارب اشعاع ما فوق البنفسجى . استخدام « نظارات » من الزجاج . لأن الاشعة المافوق البنفسجية ذات الطول الموجى القصير لها تأثير مضر فى العين . والنظارات الزجاجية تقي العين منها

ملف رمكرف . وتدل في الانبوبة أنبوبة ضيقة من الزجاج مسدود طرفها الاسفل وماتحم به



(شكل ٣١٠)

سلك من البلاتين ، وبالانبوبة قليل من الزئبق،

وتثبت الانبوبة بحيث يكون طرف السلك البلاتيني

قريباً من سطح السائل وبغمر في زئبق الانبوبة

سلك يوصل بالطرف الآخر لل ملف . وتكون

الفرجة التي تحدث فيها الشرارات هي التي ما بين طرف السلك البلاتيني وبين سطح السائل .

وتوصل هذه الفرجة توصيلاً على التوازي بمكثف كما ذكر آنفاً

٣٩٠ - ضروب أطيف الاشعاع

أطيف الاشعاع تقسم عادة ثلاثة ضروب . ضرب منها يسمى « الطيف المتصل » ^(١) وفيه

تظهر أضواء الطيف متصل بعضها بالآخر ، كطيف الضوء المنبعث من جسم صلب سخن حتى

صار متوهجاً (كقطعة من المعدن تسخن في تنور كهربائي حتى تلتاق) أمر كطيف الضوء

المنبعث من السلك المتألق في مصباح كهربائي معتاد ، أو كطيف الضوء المنبعث من شمعة موقدة

وما الى ذلك . وضرب منها يسمى « الطيف الشريطي » ^(٢) وهو يتكون من مناطق أو شرائط

مضيئة في مواضع مختلفة تتخللها ظلمة . وإذا اختبرت المناطق المضيئة ترى في الغالب محدودة بحد

جلي عند أحد طرفيها وتقل شدة الاستضاءة فيها بالتدرج عند الطرف الآخر . وإذا كان منشور

السبكتروسكوب أو محزوزة شديد التشييت للضوء فقد توجد المنطقة الواحدة منها مكونة من خطوط

عدة متقاربة يزداد تقاربها بعضها الى الآخر عند الطرف الحاد حتى تتلاصق ، ويزداد تباعدها

عند الطرف الآخر . وأطيف اشعاع المركبات من النوع الشريطي . ومن أمثلته طيف التفريغ

الكهربائي في غاز ثنائي أكسيد الكربون المخلل . والضرب الثالث يسمى « الطيف الخطي » ^(٣)

وهو يتكون من خط أو عدة خطوط رفيعة مضيئة في مواضع مختلفة . فطيف اشعاع الصوديوم

مثلاً طيف خطي يتكون من خطين أصفرين متقاربين قد يظهران إذا لم تكن شدة تشييت

منشور السبكتروسكوب كبيرة كخط مفرد ، وطيف الايدروجين طيف خطى يتكون ، كما سبق ذكره من ثلاثة خطوط واضحة ، أحدها أحمر والثاني أخضر أزرق والثالث بنفسجى . وقد يكون الطيف الخطى مقصوراً على الخطوط المضئية فتتخلل هذه الخطوط ظلمة ، وقد يغشى هذه الخطوط طيف متصل ضئيل . والخطوط الطيفية يختلف بعضها عن الآخر فى الشدة . ومنها ما اذا اختبر بوساطة سبكتروسكوب شديد التشبث للضوء يوجد شبيهاً بالشرائط فى الطيف الشريطى غير أن بعضها تقل شدة الضوء فيه بالتدرج عند طرفيه ، وبعضها يكون محدوداً بحدين جليين عند طرفيه . ومن الخطوط الطيفية ما يظل خطوطاً رفيعة مهما كانت شدة التشبث أو شدة التحليل كبيرة

وقد دلت التجارب على أن طيف اشعاع المادة الواحدة قد يكون خطياً وقد يكون شريطياً فطيف الايدروجين الحادث عن التفريغ الكهربائى وان كان خطياً عند ما يكون الغاز مختللاً ، فان زيادة ضغطه يجعل الخطوط الطيفية تتحول بالتدرج الى شرائط . حتى اذا زاد الضغط فوق ما يعادل الثلاثين أو الاربعين سنتيمترا من الزئبق صار الطيف متصلاً . وارتفاع درجة الحرارة يجعل الخط الطيفى عريضاً . وان لنوع التفريغ الكهربائى تأثيراً فى الطيف فطيف الازوت الحادث عن التفريغ فى الانابيب المختلطة عند توصيل قطبى الانبوبة بملف رمكرف معتاد يكون شريطياً . أما اذا استعمل ملف شديد ووصل بدائره مكثف فان الطيف يكون خطياً

٣٩١ — معايرة السبكترومتر لقياس الاطوال الموجية

والخطوط الطيفية تمثل أضواء ذات أطوال موجية معينة . ويمكن قياس هذه الاطوال الموجية بتطبيق ظاهرة التداخل أو ظاهرة الحيود كما سبق ذكره . ولكن هناك وسيلة سهلة يمكن بها معايرة سبكترومتر معتاد ذى منشور ثلاثى من الزجاج ، اذا عرفت الاطوال الموجية لبضعة خطوط طيفية متوزعة بين طرفى الطيف ، فتمت عوير السبكترومتر أمكن إيجاد الطول الموجى لاي خط طيفى

وطريقة المعايرة أن يهيا السبكترومتر للاستعمال بالطريقة المعتادة (بند ١٠٧) ويهيا المنشور

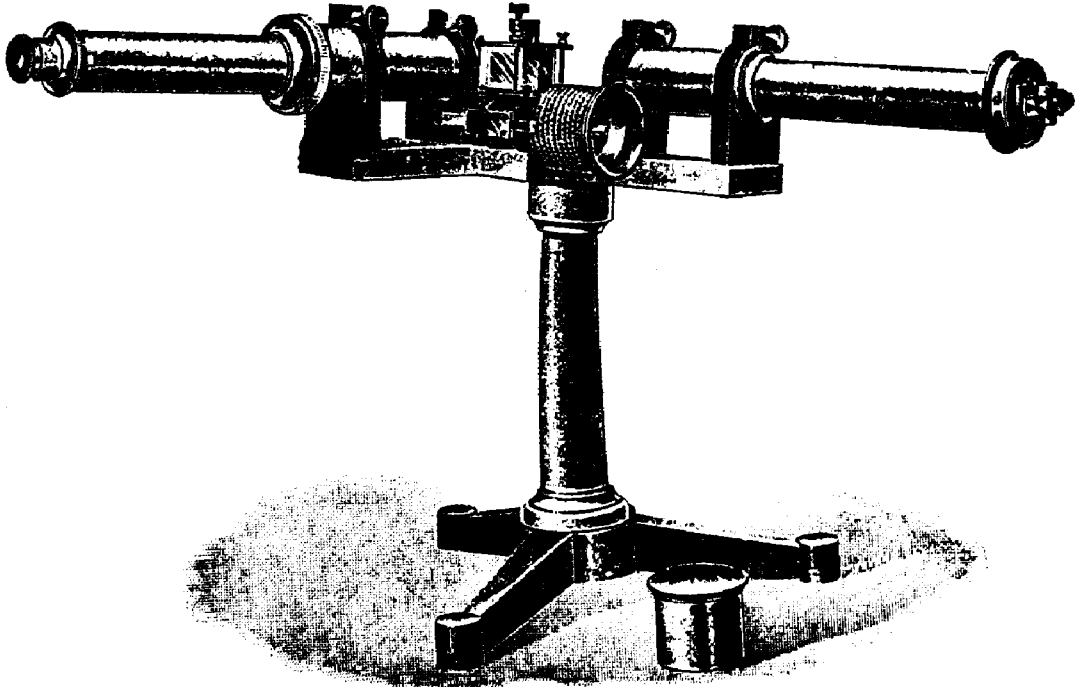
بحيث تكون زاوية انحراف الخط الاكثر انحرافاً مثلاً (أى الاقصر طولاً موجياً) من خطى طيف الصوديوم عند نهايتها الصغرى ، ويظهر هذا الخط منطبقاً على نقطة تقابل الخيطين فى القطعة العينية ، ويعين موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة بقراءة الورنية المتصلة به . ثم تستبدل بلهب الصوديوم أضواء لها خطوط طيفية معلوم أطوالها الموجية ، ومع بقاء المنشور فى موضعه الاول ثابتاً ، يحرك التلسكوب حتى يجعل كل خط من هذه الخطوط الطيفية منطبقاً على نقطة تقابل خيطى القطعة العينية . ويعين موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة فى كل حالة . ثم تبين بالرسم البيانى ، وبمقياس مناسب ، العلاقة بين الطول الموجى وقراءات الدائرة المدرجة وهى القراءات الدالة على مواضع التلسكوب فى الحالات المختلفة . فيكون هذا الخط البيانى هو المرجع الذى تعين منه الاطوال الموجية . فاذا أريد إيجاد الطول الموجى لخط مجهول يحرك التلسكوب (مع عدم تغيير موضع المنشور) حتى يرى الخط منطبقاً على نقطة تقاطع خيطى العينية ، ويعين موضع التلسكوب على الدائرة المدرجة ، وبالرجوع الى الرسم البيانى يستخرج الطول الموجى المقابل لهذه القراءة

والمنحنى الدال على العلاقة بين الطول الموجى وبين قراءات الدائرة المدرجة يكاد يكون قطعاً زائداً ، ويتطلب رسمه بالدقة تعيين نقط كثيرة عليه . ولذلك يفضل أحياناً رسم المنحنى الدال على العلاقة بين مقلوب مربع الطول الموجى وبين قراءات الدائرة المدرجة فهذا يكاد يكون مستقيماً ولا يتطلب رسمه تعيين نقط كثيرة عليه

٣٩٢ - سبكترومتر الطول الموجى

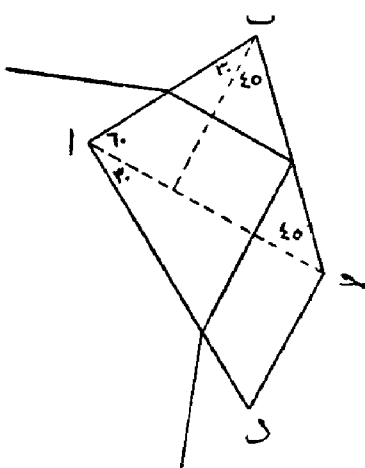
هو جهاز يمكن بواسطته تعيين الطول الموجى رأساً ، وهو من السبكترومترات المعروفة بذات الانحراف الثابت^(١). وشكل (٣١١) صورة لجهاز من هذا القبيل من صنع معامل «هاجر»^(٢) ، وفيه يثبت المجمع والتلسكوب بحيث يكونان متعامدين ، ويتخذ منشور كالمبين بشكل (٣١٢)

يمكن اعتباره مركباً من ثلاثة منشورات، زواياها كما هو مبين بالشكل في اثنين منها زاوية رأس المنشور ٣٠ درجة، وفي الثالث قائمة. والمنشور المركب مصنوع من نوع خاص من الزجاج شدة



(شكل ٣١١)

تشتيته للضوء كبيرة، ومبين بشكل (٣١٢) مسير شعاع من الضوء زاوية سقوطه على السطح ب ح ٤٥ درجة، ينعكس انعكاساً كلياً عند هذا السطح، ومسيره بعد الخروج من المنشور عمودى على مسيره الاول قبل وقوعه عليه. وإذا كان الشعاع الساقط على السطح ا ب من الضوء الأبيض فان الاشعة ذات الالوان المختلفة يتشتت بعضها عن الآخر عند الانكسار الحادث عند السطح



(شكل ٣١٢)

ا ب ، ويمكن بادارة المنشور قليلاً ، أن تجعل زاوية سقوط كل منها على السطح ب ح مساوية ٤٥ درجة فتكون زاوية انحرافه عن مسيره الاول مساوية قائمة. وإذا كان السطح ا ب متجهاً نحو المجموع، والسطح ا د نحو التلسكوب أمكن بادارة المنشور رؤية الاجزاء المختلفة من الطيف مع بقاء كل من المجموع والتلسكوب ثابتاً في مكانه لا يبرحه

ويوضع المنشور على قاعدة قابلة للدوران بواسطة لولب

دقيق ، يتصل به رأس اسطوانى الشكل كالمبين بشكل (٣١٣) ، وعلى السطح الاسطوانى حز لولبى مدرج تدل تدريجاته على الطول الموجى ، ويتحرك فى هذا الحز دليل

وعند استعمال الجهاز يجب اعداده أولاً ، فيوضع المنشور على القاعدة المعدة له فى وضع معين عليها ، وتضاء فتحة المجمع بضوء كضوء لهب الصوديوم مثلاً (أو أى ضوء آخر فى طيفه خطوط معلوم أطوالها الموجية) ، ونظراً لأن الجهاز مصنوع بحيث يكون طول المجمع ثابتاً ، يعدل طول التلسكوب حتى يرى خطا الصوديوم دقيقين واضحين . ثم يدار رأس اللولب حتى يقف الدليل ازاء العلامة الدالة على الطول الموجى لاحد الخطين ، ويعدل موضع المنشور على القاعدة بشئ من الخيطة حتى يرى هذا الخط منطبقاً على نقطة تقاطع الخطين الموجودين فى العينية ، وهذان الخطان مثبتان بحيث يمكن ازاختهما فى مجال النظر قليلاً فيتيسر اطباق الخط الطيفى على

نقطة تقاطعهما أطباقاً تاماً . وعندئذ يثبت

المنشور ، ويصير الجهاز معداً للاستعمال

فاذا أريد ايجاد الطول الموجى لآى خط

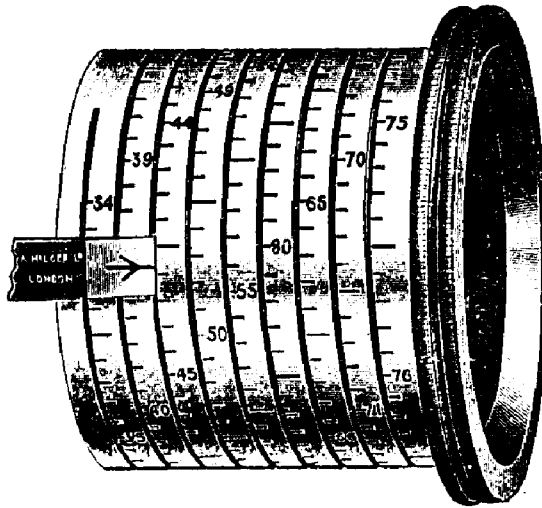
فى طيف أى ضوء تضاء فتحة المجمع بهذا

الضوء ، وينظر خلال التلسكوب ، ويدار رأس

اللولب حتى يصير الخط الطيفى منطبقاً على

نقطة تقاطع الخطين فى العينية ، فتكون القراءة

ازاء الدليل دالة على الطول الموجى المطلوب



(شكل ٣١٣)

٣٩٣ - كيفية دراسة الامتصاص عملياً

المواد التى يخترقها الضوء تمتص بوجه عام جانباً من الضوء النافذ فيها ، فالماء مثلاً وهو من أشف المواد المعروفة اذا كان مقطراً ، يمتص اذا اخترق الضوء طبقة سميكة منه ، جانباً من الاشعة الحمراء ، فيكون لونه بالضعف النافذ أزرق . كذلك الانواع المختلفة من الزجاج والمواد الشفافة بوجه عام ، اذا كانت من طبقات رقيقة فامتصاصها فى العادة قليل يكاد لا يؤثر فى

الضوء النافذ فيها . ولكنها اذا كانت طبقات سميكة بان أثرا امتصاصها .
ويميز عادة بين نوعين من الامتصاص أحدهما يسمى « الامتصاص العام » ^(١) حيث تمتص المادة الاضواء ذات الألوان المختلفة التي تنفذ فيها بنسبة تكاد تكون واحدة فيها جميعاً ، أو اذا اختلفت لا يكون اختلاف كبير بينها . والثاني نسميه « الامتصاص الخاص » ^(٢) حيث تتفق المادة أضواء ذات ألوان معينة فتمتصها بشدة دون غيرها

والطريقة المتبعة عادة لدراسة الامتصاص أن يهيا سبكتروسكوب أو سبكترومتر لرؤية طيف الضوء الأبيض الصادر من مصباح كهربائي أو قوس فولتي ، ويجعل في سبيل الضوء الواقع على فتحة المجمع ، الجسم المراد اختبار امتصاصه . فاذا كان له امتصاص خاص يرى طيف الضوء الأبيض وقد تجرد من الأضواء التي يمتصها الجسم ، فتظهر مواضع هذه الأضواء في الطيف مظلمة ، في حين أن الأضواء الأخرى التي لا يمتصها الجسم تظهر في مواضعها . والذي يرى في هذه الحالة هو طيف الضوء الأبيض وقد تخللته مناطق مظلمة هي مناطق امتصاص المادة ويسمى الطيف « طيف امتصاص المادة » ^(٣) تميزاً له عن « طيف الإشعاع »

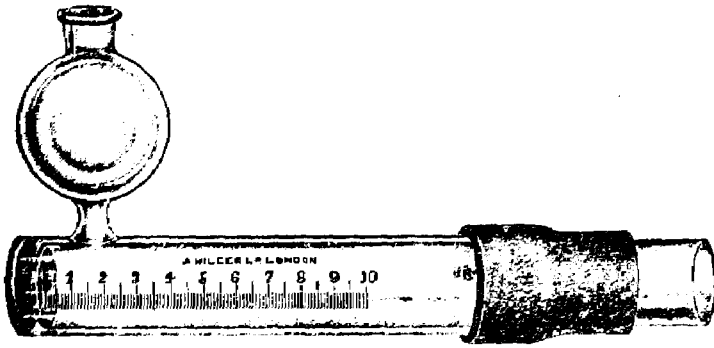
ولدراسة امتصاص السوائل والمحلولات تستعمل أواني من الزجاج ، يكون الجانبان المتقابلان أو المتناظران من جوانبها مستويين متوازيين منتظمي السمك ، فيوضع السائل في الاناء ، ويوضع الاناء في مسير الضوء الأبيض الواقع على فتحة المجمع بحيث يقع على الجانبين المذكورين عمودياً عليهما ، فيخترق الضوء طبقة السائل المحصورة بينهما ، وإذا أريد تغيير سمك السائل على حسب الإرادة يستعمل اناء كما بشكل (٣١٤) يتركب من أنبوبة مدرجة من الزجاج يتصل بها مستودع . والأنبوبة مسدود أحد طرفيها بلوح مستوى ويزلق في داخلها من الطرف الآخر أنبوبة أخرى مسدود طرفها الداخلي بلوح مستوى أيضاً . وهذان اللوحان المستويان من الزجاج أو الكوارتز . وتمسك الأنبوبتين أن تتحركا . أنبوبة قصيرة من المطاط

General Absorption (١)

Selective Absorption (٢)

The Absorption Spectrum (٣)

كما هو مبين بالشكل ، لا يتسرب منها السائل ، ويثبت الاناء بحيث يكون محور الانبوبتين أفقياً



(شكل ٣١٤)

ويكون المستودع الى أعلى ،

وبحيث ينفذ الضوء الواقع على

فتحة المجمع في استقامة المحور.

فاذا دلىء المستودع بالسائل كان

السلك الذى يخترقه الضوء هو

البعد بين الطرف المسدود

للانبوبة الداخلية والطرف المسدود للخارجية

ولدراسة امتصاص الانجزة وبعض الغازات تستعمل أنابيب طويلة مسدود طرفها بلوحين

من الزجاج أو الكوارتز تملأ بالغاز أو البخار المراد اختبار امتصاصه . وقد دلت التجارب على أن

الانجزة أو الغازات التى تظهر فى العادة شفاقة لها مناطق امتصاص اذا اخترق الضوء طبقات

سميكة جداً منها . فبخار الماء مثلاً اذا كان جافاً شفاف ولكن اذا اخترق الضوء سمكاً منه يبلغ

الثلاثين أو الاربعين متراً كان له طيف امتصاص

٣٩٤ - ضروب اطياف الامتصاص

وتدل التجارب على أن أطياف الامتصاص للاجسام الصلبة والسوائل هى بوجه عام اطياف

شريطية أى على أن هذه الاجسام تمتص مناطق عريضة معينة من الطيف . فمحلول الفوكسين^(١)

فى الكحول له منطقة امتصاص عند الجزء الاخضر من الطيف ويكاد لا يمتص الاضواء

الآخرى . ومحلول برمنجانات البوتاسيوم اذا لم يكن مركزاً له ثلاثة أو أربعة شرائط امتصاص

منفصل بعضها عن الآخر فى الجزء الاخضر من الطيف ودم الانسان له ثلاثة شرائط مظلمة فى

الجزء بين الاصفر والاخضر

أما أطياف امتصاص الانجزة والغازات فهى بوجه عام خطية . فمثلاً ثانى اكسيد الازوت

له عدة خطوط امتصاص رأى منها « بروستر » ما ينيف على الألفى خط . ومثل هذه الخطوط

تظهر أيضاً في طيف امتصاص بخار البزمين وبخار اليود . غير أن لكثير من الأبخرة والغازات أطيف امتصاص شريطية بل منها ما له طيف شريطي وآخر خطي في آن واحد ، كغاز الكلور مثلاً فله شريط امتصاص في الجزء البنفسجي من الطيف وعدة خطوط امتصاص موزعة في الأصفر والأخضر والأزرق من الطيف

ويمكن تعيين الأطوال الموجية للأضواء التي تمتصها المادة باستعمال سبكترومتر معاير ، أو باستعمال سبكترومتر الطول الموجي ، فإذا كان طيف الامتصاص شريطياً يعين الطول الموجي لطرفي كل شريط ، فيكون امتصاص المادة واقعاً على هذين الطولين الموجيين وما ينحصر بينهما ، أما إذا كان طيف الامتصاص خطياً فيعين الطول الموجي لكل خط منها

٣٩٥ - طيف امتصاص بخار الصوديوم

للحصول على طيف امتصاص بخار الصوديوم يهياً سبكتروسكوب لرؤية طيف الضوء الأبيض الصادر من مصدر في درجة عالية من الحرارة كقوس فولتي مثلاً ، وقد يستحسن استخدام عدسة لامة تلم بوساطتها الأشعة على فتحة المجمع ثم يوضع في مسير الضوء الواقع على الفتحة لمب مصباح بزن مشبع ببخار الصوديوم ، فيظهر الطيف المتصل للضوء الأبيض وقد تحلله خطان مظلمان متقاربان في الجزء الأصفر في الموضع الذي فيه الخطان الأصفران اللذان يتكون منهما طيف إشعاع الصوديوم ، بحيث إذا وضع حاجز يحجب الضوء الأبيض دون ضوء لمب الصوديوم ، عن فتحة المجمع ظهر الخطان الأصفران مكان الخطين المظلمين

وظلمة الخطين المظلمين في هذه الحالة هي في الحقيقة ظلمة نسبية . فبخار الصوديوم يشع فعلاً الضوء الأصفر الذي يتكون منه خطأ إشعاعه . ولكنه في الوقت نفسه يمتص من الضوء الأبيض النافذ فيه الضوء المماثل تماماً للضوء الذي يشعه ، فيتجرد طيف الضوء الأبيض من الخطين الأصفرين اللذين امتصهما البخار ، ويظهر مكان هذين الخطين ، الخطان الأصفران اللذان يشعهما البخار ، فإذا كانت درجة حرارة مصدر الضوء الأبيض أكثر ارتفاعاً من درجة حرارة بخار الصوديوم ، كانت شدة ضياء هذين الخطين أقل من شدة الضوء الذي امتصه البخار ، فيظهر

وقد توسع « وود »^(١) في دراسة طيف امتصاص بخار الصوديوم ، واتخذ لذلك أنبوبة طويلة من الصلب مسدود طرفها بلوحين مستويين من الزجاج يخترقها الضوء الأبيض في اتجاه محورها ، ووضع فيها قطعاً من الصوديوم وملأها باليدروجين وسخنها الى درجات عالية من الحرارة . فهذه الكيفية تمتلئ الانبوبة ببخار الصوديوم الكثيف ويخترق الضوء طبقة سميكة منه . فوجد علاوة على خطي الامتصاص المذكورين خطوط امتصاص عدة في الجزء الاحمر والجزء الاخضر من الطيف

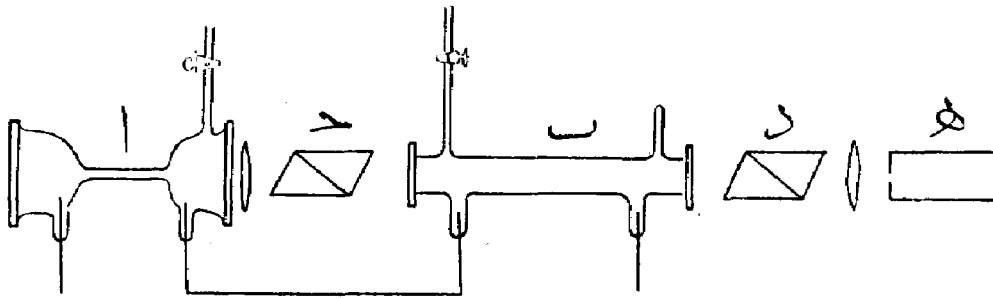
٣٩٦ - طيف امتصاص الايدروجين

توجد أدلة سيأتى ذكرها فيما بعد، تدل على أن لغاز الايدروجين طيف امتصاص يتكون من خطوط مظلمة تنطبق مواضعها على مواضع الخطوط المضيئة التى يتكون منها طيف اشعاعه ، ولكن لم يكن من السهل فى بادىء الامر بيان ذلك عملياً ، ودلت البحوث فى هذا الشأن ، على أن خاصة الامتصاص ، تلحق غاز الايدروجين عند ما يكون الغاز فى حالة الاشعاع أى عند ما يكون مخلخلاً ، ويمر فيه تفرغ كهربائى، كما هو الحال عند الحصول على طيف اشعاعه. أما اذا كان الغاز فى حالته المعتادة فهو شفاف يكاد لا يمتص شيئاً ما من الضوء النافذ فيه

وأول من بين بالتجربة طيف امتصاص الايدروجين « فلوغر »^(٢) وذلك سنة ١٩٠٧ . واتخذ فى تجاربه أنبوبة شعرية تحتوى على غاز الايدروجين المخلخل ، وأمر فيها تفرغاً كهربائياً اهتزازياً من ملف رمكورف متصل بطرفى ملفه الثانوى مكثف (أنظر بند ٣٨٩) . وجعل الضوء الصادر من هذه الانبوبة ينفذ فى أنبوبة أكثر اتساعاً تحتوى هى أيضاً على غاز الايدروجين المخلخل ، وبها قطبان جعلهما متصلين اتصالاً على التوالى بدائرة الانبوبة الاولى . بحيث تكون الانبوبة الثانية فى حالة اشعاع عند ما ينفذ فيها الضوء الصادر من الاولى . فخطوط الاشعاع التى ترى فى طيف ضوء الانبوبة الاولى خطوط عريضة (بند ٣٩٠) ولكن عند ما ينفذ ضوء

الاولى فى الثانية وهى فى حالة اشعاع وجد الخط الاحمر فى طيف الايدروجين قد استبدل به خط مظلم . وفى سنة ١٩٠٨ استخدم « لادنبرغ »^(٢) و « ولوريا »^(٣) جهازاً كالمبين بشكل (٣١٣) وأجزاءه الاساسية هى

(أولاً) أنبوبة شعرية ١ ، بها غاز ايدروجين غير مخالخل ويمر فيها تفريغ من ماف رمكرف متصل بمكثف ، فنظراً لعلو الضغط فيها وضيق الانبوبة يكون طيف الضوء الصادر منها متصلاً



(شكل ٣١٣)

(ثانياً) أنبوبة ب أكثر اتساعاً تحتوى هى أيضاً على ايدروجين ولكنه مخالخل ، ضغطه يعادل ضغط مليمتر من الزئبق . وهذه هى أنبوبة الامتصاص ، وتتصل على التوالى ، بالدائرة الكهربائية المتصلة بها الانبوبة الاولى

(ثالثاً) منشور نكل ح بين الانبوتين ا ب وآخر د بين الانبوبة ب وفتحة هـ فاذا هيمى المنشوران ح د بحيث كان مستوياهما الرئيسيان متعامدين ، وأمر التفريغ الكهربائى فالطيف الذى يتكون ، يكون هو طيف الاشعاع الصادر من الانبوبة ب . نظراً لانقطاع الضوء الصادر من ا من جراء عدم نفوذه فى المنشور د فاذا أدير المنشور ح وصل بعض الضوء الصادر من الانبوبة ا الى الفتحة ، ويمكن تغيير شدة هذا الضوء على حسب الارادة بتغيير وضع المنشور

واستطاع « لادنبرغ » و « لوربان » باستخدام الجهاز بيان أن امتصاص الغاز فى الانبوبة ب يترتب عليه ظهور خطين مظلمين أحدهما مكان الخط الاحمر فى طيف اشعاع الايدروجين والثانى مكان الخط الاخضر

٣٩٧ — خطوط فرونهوفر في الطيف الشمسي

إذا اختبر طيف ضوء الشمس بوساطة سبكتروسكوب روى أن أضواء الطيف المختلفة تتخللها خطوط مظلمة رأسية كثيرة العدد موزعة في الطيف من أوله الى آخره في مواضع معينة منه ، وهذه الخطوط المظلمة تعرف بخطوط فرونهوفر نسبة الى فرونهوفر الذي كان أول من كشفها . وقد استطاع فرونهوفر أن يحصى منها نيفاً وخمسمائة خط ورمز للواضح منها بحروف الهجاء A, B, C الخ . والخطوط الثلاثة المرموز لها بالحروف A, B, C في الجز الاحمر من الطيف والخط المرموز له بالحرف D في الجز البرتقالي الأصفر ، والمرموز له بالحرف E في الجزء الأخضر والمرموز له بالحرف F في الأخضر الأزرق والمرموز له بالحرف G في النيلي والمرموز له بالحرف H في البنفسجي

وقد ظلت حقيقة هذه الخطوط غامضة حتى كشف « كرتشوف » ^(١) في أواسط القرن التاسع عشر قانوناً يعرف باسمه سيأتى ذكره بالتفصيل فيما بعد ^(٢) ، ينص في صورته الوصفية على أن المادة تمتص من الضوء النافذ فيها ، نوع الاشعاع الذي يتشعع منها عند ما تكون في حالة اشعاع ، كما تدل على ذلك التجارب التي سبق ذكرها فيما يختص بامتصاص بخار الصوديوم وامتصاص الايدروجين مثلاً . فذهب كرتشوف في تعليل خطوط فرونهوفر المذكورة الا أنها خطوط امتصاص الأبخرة والغازات المحيطة بالجزء الاوسط من الشمس الذي هو في درجة عالية من الحرارة ومصدر الضوء الابيض المنبعث منها . فهذه الأبخرة والغازات في درجة اخفض وتمتص من الضوء الابيض النافذ فيها الاضواء ذات الاطوال الموجية المساوية الاطوال الموجية للاضواء التي تشعها هي . فاذا قوبلت خطوط فرونهوفر بالخطوط في أطياف اشعاع المواد المعروفة على سطح الارض ، ووجد بعض خطوط فرونهوفر منطبقة على خطوط اشعاع بعض هذه المواد دل ذلك ، وفقاً لهذا التعليل ، على وجود هذه المواد ضمن الأبخرة والغازات المحيطة بالشمس فشلا اذا ظهر في طيف ضوء الشمس خطان مظلمان في الموضع الذي يظهر فيه خطا اشعاع

الصوديوم ، دل ذلك على أن بخار الصوديوم من المواد أو العناصر الموجودة في الشمس وبهذه الكيفية يستدل على أن كثيراً من العناصر المعروفة على سطح الأرض ، كالصوديوم والحديد والبكسيوم ، والباريوم والمغنيزيوم والمنغنيز والكروميوم والنيكل والكوبلت والايديروجين والالومنيوم والخاصين والنحاس وغير ذلك موجودة في الشمس . بل واتخذ انطباق بعض خطوط فرونهوفر على خطوط اشعاع بعض العناصر كاللايد وجين مثلاً ، دليلاً على أنها خطوط امتصاص هذا الغاز . وذلك قبل أن يستطاع عملياً الحصول في المعامل على طيف امتصاصه . واكثر من هذا أن من خطوط فرونهوفر ما لا ينطبق على اطياف اشعاع المواد التي كانت معروفة وقتئذ . فاستدل من هذا على وجود مواد في الشمس لم تكن معروفة على سطح الأرض ، ومن المواد التي كشف بهذه الكيفية وجودها في الشمس قبل أن تعرف على سطح الأرض غاز الهليوم ويسمى الجزء الاوسط من الشمس ، وهو الذي يصدر منه الضوء الابيض ذو الطيف المتصل « الكرة الضوئية » ^(١) وطبقة الأبخرة والغازات التي تحيط بالكرة الضوئية والتي هي أيضاً في حالة اشعاع ، ولكن درجة حرارتها أخفض تسمى « الكرة اللونية » ^(٢) . ولأنه توجد حول الكرة اللونية طبقة أو اثنتان من الأبخرة والغازات تحيط بها ، فأكثر خطوط فرونهوفر يعزى الى الامتصاص الحادث في الكرة اللونية . واذا كانت الكرة اللونية تحتوي حقيقة على المواد التي يعزى اليها حدوث خطوط فرونهوفر ، فانه اذا تيسر اختبار طيف اشعاع هذه الكرة دون اشعاع الكرة الضوئية المركزية ، كان حتماً ظهور خطوط اشعاع المواد التي تدل خطوط فرونهوفر على وجودها ، فتبدل بخطوط فرونهوفر المظلمة خطوط مضيئة مكانها ، وقد عززت المشاهدات التي أجريت في أثناء الكسوف الكلي للشمس هذه النتيجة ، وذلك في أثناء الفترة التي تحتجب فيها الكرة الضوئية

٣٩٨ - سبكتروسكوب ما فوق البنفسجي

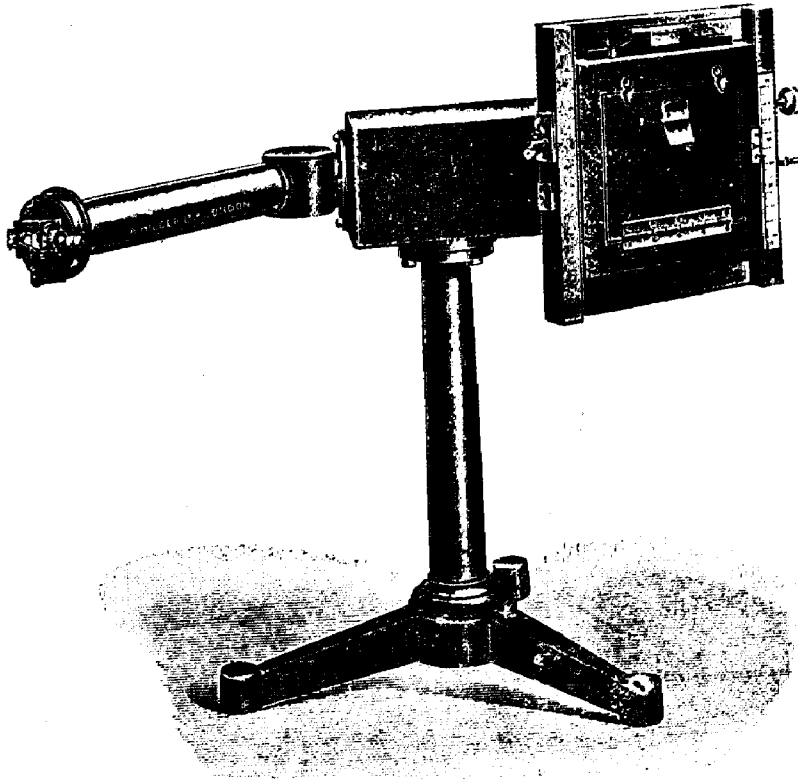
لما كان الزجاج يمتص من الاشعة المافوق البنفسجية الموجات القصيرة وجب عند اختبار

هذه الاشعة ودراستها أن تكون المنشورات والعنسات التي تستعمل للحصول على الطيف من مادة منفذة للاشعاع المافوق البنفسجى . والمادة التي تستعمل فى العادة الكوارتز ، ونظراً لأن الكوارتز من المواد التي تحدث الانكسار المزدوج ولها خاصة ادارة مستوى الاستقطاب ، وجب مراعاة ذلك فى المنشورات والعنسات المصنوعة من الكوارتز

وقد سبق بيان كيفية تجنب أثر الانكسار المزدوج والاستقطاب الدوراني فى منشور « كورنو »^(١) فاذا أريد استخدام جهاز كالتلسكوب لدراسة الاشعاع المافوق البنفسجى ، وجب أن تكون عدسة المجمع ، والعدسة الشيئية فى التلسكوب منفذتين أيضاً لهذا الاشعاع وتصنع كل من هاتين العدستين عادة من الكوارتز ، بحيث يكون المحور الضوئى منطبقاً على محور العدسة ، وبحيث تكون احدهما من الكوارتز الايمن والاخرى من الكوارتز الايسر وليان اشعاع ما فوق البنفسجى طريقتان . احدهما يستعان فيها بطاهرة التلون . فيوضع عند موضع الخيطين المتقاطعين فى القطعة العينية ، أى عند المستوى البؤرى للعينية ، لوح شفاف من مادة فلورية ، بحيث يكون عمودياً على محور التلسكوب . فاذا وقع اشعاع مافوق البنفسجى على اللوح الفلورى ، تلون اللوح ، ويرى تلونه عند النظر اليه خلال القطعة العينية فى التلسكوب ، وهى قطعة معتادة من الزجاج . واذا وجد فيما فوق البنفسجى خطوط من قبيل الخطوط الطيفية فى الجزء المرئى من الطيف ، كانت مواضع وقوع هذه الخطوط على اللوح الفلورى خطوطاً مضئية ، ويمكن تهيئة الجهاز بحيث ترى واضحة دقيقة

والطريقة الثانية يستعان فيها بالفتوغرافية ، فيوضع فى داخل غلاف أسود غير منفذ للضوء لوح فتوغرافى بحيث يقع الطيف الحادث على سطحه الحساس . وهذا يتطلب بادية الامر أن تكون عدسة المجمع ، وكذلك العدسة الشيئية وهما اللتان تتكون بواسطتهما على اللوح الفتوغرافى صورة حقيقية للطيف ، أن تكون كلتاهما لالونية . ومن المستطاع تركيب عدسة لالونية من الكوارتز والفلوريت^(٢) (والفلوريت أيضاً من المواد المنفذة للاشعاع المافوق البنفسجى) غير أن هذا ليس مرغوباً فيه ، نظراً لندرة الفلوريت الذى يصلح لهذا الغرض . ولذلك تصنع

عادة كل من العدستين مفردة ، وبهيا المجمع بحيث تكون الاشعة التي تخرج منه متوازية ، هي التي موضعها في الطيف حوالى المنتصف أى يجعل البعد بين فتحة المجمع وبين عدسته ، أطول من البعد البؤرى لهذه العدسة بالنسبة الى الاشعة المافوق البنفسجية ، وأقصر منه بالنسبة الى الاشعة الحمراء ، فتخرج الاشعة المافوق البنفسجية من المجمع مدومة ، والاشعة الحمراء متفرقة ، فاذا نفذت خلال المنشور ووقعت على العدسة التي تكون الطيف على اللوح فان هذه العدسة تلم الاشعة المافوق البنفسجية في موضع أقرب اليها من الموضع الذي تلم فيه الاشعة الحمراء ، ولأنكى تلم الاشعة جميعها على سطح اللوح الفتوغرافى ، يوضع هذا اللوح مائلا على محور العدسة المائل المناسب لا عمودياً عليه .



(شكل ٣١٦)

وتستعمل في تصوير الأطياف بهذه الكيفية ألواح فتوغرافية خاصة تكون حساسة للجزء المافوق البنفسجى من الطيف وحساسة أيضاً للجزء المرئ منه الى ما يقرب من الطرف الاحمر (١) ويسمى الجهاز المعد لتصوير

الاطياف « سبكتروجراف » (٢) أو مصور الاصياف تمييزاً له عن السبكتروسكوب أو مبین

(١) من الألواح المستعملة لهذه الغاية Wratten Panchromatic Plates

(٢) Spectrograph

الأطياف . وشكل (٣١٦) يوضح نوعاً من أنواع السبكتروجراف . وهو يشبه السبكتروسكوب لولا أن التلسكوب قد استبدل به جهاز يعمل كآلة تصوير فتوغرافى

٣٩٩ - طيف ما فوق البنفسجى

إذا طبقت احدى الطريقتين المذكورتين لدراسة أشعة ما فوق البنفسجى يرى أن التلون أو التأثير الفتوغرافى الحادث بفعل الاشعاع الصادر من القوس الفولتى ، أو من الشرارة الكهربائية ، يمتد الى مدى أكبر من التلون أو التأثير الفتوغرافى الحادث بفعل الطيف الشمسى دالا ذلك أن تلك المصادر تصدر من الاشعة المافوق البنفسجية ما هو اقصر موجة من الاشعة المافوق البنفسجية الموجودة فى أشعة الشمس الواصلة الى سطح الارض . ودلت التجارب أيضاً على أن لكثير من المواد أطيافاً فيما فوق البنفسجى قد تكون خطية وقد تكون شريطية ، وان لها اطياف امتصاص فيما فوق البنفسجى كما أن لها أطياف امتصاص فى الجزء المرئى من الطيف . ودلت التجارب أيضاً على أن خطوط فرونفور المظلمة ليست مقصورة على الجزء المرئى من الطيف بل توجد خطوط منها فيما فوق البنفسجى من طيف الشمس

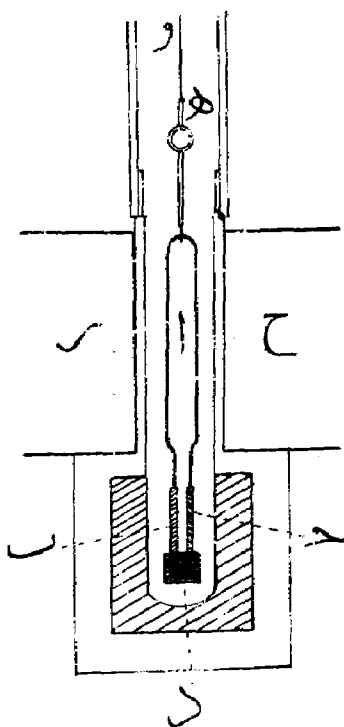
وقد قيست نهاية ما يمتد اليه الجزء المافوق البنفسجى من طيف الشمس ، فوجد أن أقصر موجاته يقع طولها حوالى ٠,٠٠٠٠٣ من السنتيمتر ، ودلت التجارب على أن هذا الحد يتغير بعض التغير تبعاً للارتفاع عن سطح البحر ، وتبعاً لتغير الفصول

ودلت التجارب على أن الكوارتز الذى هو أكثر المواد شفافاً للأشعة المافوق البنفسجية يمتص ما يكون طول له الموجى أصغر من ٠,٠٠٠٠١٨ من السنتيمتر . ودلت على أن الفلوريت ينفذ موجات أقصر من هذه ، فأتخذت عدسات ومنشورات من الفلوريت أمكن بواسطتها بيان موجات مما فوق البنفسجية يبلغ طولها الموجى ٠,٠٠٠٠١ من السنتيمتر عرفت بموجات « شومان »^(١) نسبة الى كاشفها ، وهذه الموجات يمتصها الهواء ، واستطاع « شومان » الكشف عنها بأجراء تجاربه فى الفراغ . ونظراً لأن المادة الجيلاتينية المستخدمة فى صنع الألواح الفتوغرافية

تمتص هي أيضاً الموجات القصيرة استعمل شومان ألواحاً فتوغرافية خاصة كانت الطبقة الجيلاتينية فيها غاية في الرقة

٤٠٠ — الاجهزة الدقيقة لبيان اشعاع مادون الاحمر وقياس طاقة الاشعاع

الاجهزة الدقيقة الحساسة التي استعملت لبيان اشعاع مادون الاحمر، ولقياس طاقة الاشعاع نوعان أحدهما يسمى المقياس الدقيق للاشعاع أو « الرديوميكرومتر »^(١)، وهو جهاز اخترعه « بويز »^(٢) ويعرف باسمه . تتوقف نظريته على الظاهرة الكهربية الحرارية ،^(٣) المعروفة في علم الكهربية . والجزء الاساسي من الجهاز يتركب من حلقة (شكل ٣١٧) مصنوعة من سلك دقيق من النحاس ، طرفاه من أسفل متصلان بقضيين صغيرين خفيفين ب و ، أحدهما من البزموت^(٤) ، والثاني من الانتيمون^(٥) . وهما متصلان عند طرفيهما الاسفلين بصفيحة رقيقة من النحاس على شكل مربع أو قرص مستدير تبلغ مساحتها مليمتريين مربعين ومدلول



[شكل ٣١٧]

عليها في الشكل بالحرف د ، وسطح هذه الصفيحة الذي يعرض نحو مصدر الاشعاع مكسو بطبقة من السناج . والحلقة النحاسية مثبتة من أعلى في طرف أنبوبة ه شعيرية خفيفة من الزجاج مثبت طرفها الاعلى بسلك دقيق من الكوارتز (مدلول عليه بالحرف و) بحيث تكون الحلقة معلقة بين قطبي مغناطيس شديد دائم ر ه ح . ونظرية الجهاز أنه اذا وقع الاشعاع الحراري على السطح الاسود للصفيحة د ، ارتفعت درجة حرارتها قليلاً ، فيسخن ملتقى البزموت والانتيمون ، فيتولد تيار كهربائي يسير في الحلقة النحاسية ، فتتحرف الحلقة حتى يتعادل الازدواج المغناطيسي المؤثر فيها وازدواج اللي في السلك الكوارتزي . ولقياس زاوية الانحراف توجد مرآة صغيرة مثبتة في الانبوبة الشعيرية الزجاجية بالقرب

من طرفها الأعلى. وتعتبر زاوية الانحراف مقياساً لكمية الاشعاع الواقع على الصفيحة د أولطاقته ولوقاية القضيبين البزموتى والانتيمونى من تأثير المغناطيس الدائم تحيط بهما كتلة من الحديد الرخو (المطاوع) فيها فجوة مقورة يدلى فيها القضيبان ، وبالكثلة الحديدية فتحة ينفذ منها الاشعاع الى الصفيحة المكسوة بالسناج . ويوضع الجهاز كله فى وسط غلاف سميكة من الخشب يقيه عبث التيارات الهوائية وكذلك الاشعاع الصادر من المصادر الاخرى . ولما كان من اللازم الا ينفذ الاشعاع فى سبيله الى الصفيحة خلال ألواح من الزجاج أو ما شابهها ، نظراً للامتصاص الذى يحدث من جراء ذلك ، وكان من اللازم فى الوقت نفسه وقاية الجهاز من التيارات الهوائية ، يثبت فى الفتحة التى ينفذ منها الاشعاع الى الصفيحة أنبوبة طويلة من الورق بداخلها حواجز بها فتحات صغيرة واقعة على محور الانبوبة ، فينفذ الاشعاع خلال هذه الفتحات ويمتنع وصول التيارات الهوائية الى الجهاز

وقد بلغ هذا الجهاز من الحس درجه جعلته يبين الاشعاع الصادر من شمعة على بعد مياين أو ثلاثة أميال ، اذا استقبل هذا الاشعاع على مرآة مقعرة قطر حافتها ١٦ بوصة وجمع بعد انعكاسه عن سطحها على الصفيحة النحاسية المعدة لاستقباله (١)

واذا أريد استعمال الجهاز لقياس (أويان) طاقة الاشعاع فى موضع معين من الطيف يستبدل بالصفيحة المربعة أو المستديرة ، صفيحة مستطيلة عرضها صغير جداً ، بحيث اذا هيئت فى الوضع المناسب كاد يكون الجزء الواقع عليها من الطيف خطأ ذا طول موجى معين .

والنوع الثانى من الأجهزة يسمى «البولومتر» (٢) واخترعه «لانجلي» (٣) ، وتتوقعه نظريته على تغير المقاومة الكهربائية بتغير درجة الحرارة ، والبولومتر الذى اخترعه لانجلي يتركب الجزء الاساسى فيه من قطع مستطيلة ضيقة ، يبلغ طول الواحدة سنتيمتراً وعرضها نصف المليمتر مقطوعة من صفيحة رقيقة جداً من البلاتين يتراوح سمكها بين جزء من مائة وجزء من خمسمائة جزء من المليمتر ، وهذه القطع متصل بعضها بالآخر كما هو مبين بشكل (٣١٨) وتحضر من

(١) صفحة ٧٥٠ Theory of Heat تأليف Preston

(٢) Langley

(٣) Bolometer

صفحة واحدة تثقب بآلة حادة قاطعة ، بحيث تقطع مجموعة القطع المستطيلة على الصورة المبينة دفعة واحدة . وهذه القطع مكسو أحد سطحيها بطبقة من السناج وتوصل بحيث يتكون منها أحد



الفروع الأربعة من قنطرة ويتستون^(١) فإذا هيئت القنطرة بحيث تكون في حالة تعادل ثم أسقط الإشعاع على مجموعة القطع أو على واحدة منها، تغيرت مقاومتها ، فيحرف الجلفانومتر بمقدار يعتبر متناسباً ومقدار الإشعاع الواقع على الجهاز .

وجعل لانجلي بمجموعة القطع داخل غلاف مبطن بالنحاس لكي تبقى درجة (شكل ٣١٨) حرارته ثابتة وجعل الغلاف في باطن اسطوانة سميكة من الخشب أو الابونيت وجعل الإشعاع ينفذ إلى القطع خلال فتحات في حواجز داخل هذه الاسطوانة لكي يمتنع وصول التيارات الهوائية إلى الداخل . والبلومترات في العادة تحتوي على مجموعتين من القطع المذكورة وهما متماثلتان على قدر الامكان . وتوصل احدهما بحيث يتكون منها أحد فروع قنطرة ويتستون وتوصل الأخرى بحيث يتكون منها فرع آخر . وتوصل بهذا الفرع مقاومة يمكن تهيتها حتى يتم التعادل .

وقد يستبدل في البلومترات بالبلاتين البلديوم^(٢) أو الفولاذ ويشترط في المعدن الذي يستخدم أن يكون تغير مقاومته تبعاً لتغير درجة الحرارة كبيراً أو بالأحرى أن يكون معامل درجة الحرارة للمقاومة كبيراً ، وإلا يتأكد سريعا أو يتغير بتعرضه للجو . وتصنع بلومترات يستبدل فيها بقطع البلاتين سلك دقيق من الفولاذ كخييط العنكبوت ملفوف حول إطار مناسب . وإذا أريد قياس الطاقة في موضع معين من الطيف فانه يكتب بقطعة واحدة من البلاتين كلما كان عرضها أصغر كانت أصغر وقد يستبدل بها في هذه الحالة سلك رفيع دقيق بحيث يحل في موضع من الطيف يكاد يكون ذا طول موجي معين

٤٠١ - سبكتروسكوب ما دون الأحمر

مما يراعى في السبكتروسكوب الذي يستعمل لتحليل أشعة ما دون الأحمر أن يكون منشوره

(١) Wheatstone Bridge

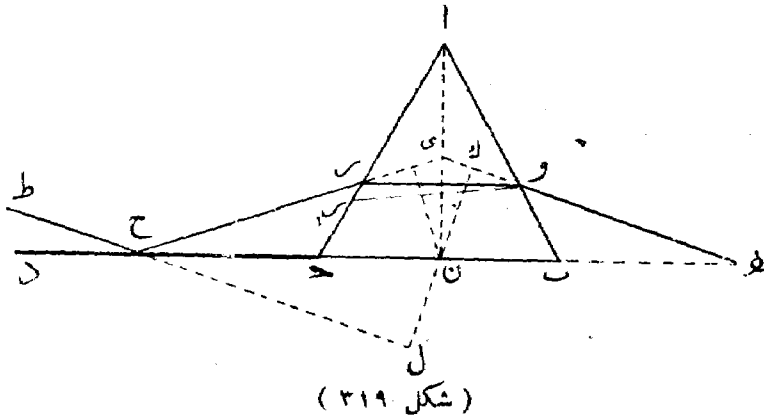
(٢) Palladium

من مادة منفذة للاشعاع الحرارى كالمالح الصخرى ^(١) والفلوريت ^(٢) والسلفين ^(٣) لا من الزجاج لأن الزجاج لا ينفذ الاشعاع الحرارى اذا زاد طول موجاته عن 0.000025 من السنتيمتر فى حين أن الفلوريت ينفذ منه من الموجات ما يبلغ طولها 0.0011 من السنتيمتر ، والمالح الصخرى والسلفين ينفذان ما يبلغ طول موجاته 0.0018 من السنتيمتر

ولما كانت الاجهزة الدقيقة التى تستخدم لبيان الاشعاع الحرارى وقياس طاقته كالريدميكر متر تتطلب بطبيعة تركيبها أن تبقى ثابتة لا تنتقل من مكانها ، فإن المنشور الذى يستعمل لاحداث طيف مادون الاحمر يكون عادة من المنشورات ذات الانحراف الثابت ، أى التى تكون النهاية الصغرى لزاوية انحراف الاشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة واحدة ، حتى اذا هيء المنشور بحيث يحرف اشعاعاً معيناً بمقدار النهاية الصغرى للانحراف ويجعله اذ ذاك واقفاً على الريدميكر متر أو البلومتر أمكن بادارة المنشور حول نفسه دون أن يتغير اتجاه سقوط الاشعة عليه ، ودون أن يتغير موضع البلومتر أو الريدميكر متر ، أن يقع اشعاع آخر ذو طول موجى أطول أو أقصر على هذا الجهاز ، ولا تزال تكون زاوية انحرافه مساوية النهاية الصغرى لزاوية الانحراف ومنشور كالذى سبق وصفه فى سبكترومتر الطول الموجى يصلح لهذه الغاية . وتصنع معامل هليجرتروميلا حساساً خاصاً يمكن تركيبه بدلا من عينية التلسكوب فى سبكترومتر الطول الموجى ، حتى اذا أعد السبكترومتر بلولب رأسه الاسطوانى (شكل ٣١٣) نمتد تدريجاته الى 0.0002 من السنتيمتر أمكن استخدام الجهاز لدراسة أشعة مادون الاحمر التى لا يتجاوز طولها الموجى هذا المقدار ، حيث يلاحظ أنه نظراً لصنع المنشور وعدسات الجهاز من الزجاج لا يكون الجهاز صالحاً لبيان الموجات التى تكون أطول من ذلك

ومن أبسط المنشورات ذات الانحراف الثابت التى يمكن استخدامها فى اشعاع مادون الاحمر منشور ^(٤) يتركب كما بشكل (٣١٩) من منشور ثلاثى منتظم ا ب ح مثبتة به مرآة مستوية عاكسة ح د سطحها العاكس فى امتداد ب ح ، حيث يجعل ا الحرف الحارفى للمنشور ،

ويجعل مستقيم تلاقي المستوى المنصف للزاوية α والسطح β (وهو المستقيم الذي يرسم عند



(شكل ٣١٩)

ب عمودياً على

مستوى الشكل)

محوراً يدار حوله

المنشور . ولشرح

عمل هذا المنشور

نفرض أن ه وشعاع

ساقط على المنشور ويعاني النهاية الصغرى للانحراف فسيره ور خلال المنشور يكون موازياً

للسطح β فاذا كان مسيره بعد خروجه من المنشور في استقامة رح وبعد انعكاسه عن

المرآة في استقامة ح ط ، ومد ه و ح ر ليتقابلا عند

ومد ح ب ليقطع الشعاع الساقط ه و عند ه يتضح أن

$\angle \text{رو} = \angle \text{دي} \text{رو}$ (من التماثل الذي تتطلبه النهاية الصغرى للانحراف)

وبما أن $\angle \text{دي} \text{ور} = \angle \text{دي} \text{ه} \text{ب}$

$\angle \text{دي} \text{رو} = \angle \text{رح} \text{ب} = \angle \text{ط} \text{ح} \text{د}$

$\therefore \angle \text{ط} \text{ح} \text{د} = \angle \text{دي} \text{ه} \text{ب}$

$\therefore \text{ه} \text{و} \text{ مواز للمستقيم ح ط}$

ومن التماثل يتضح أن نقطة ن هي منتصف ه ح فاذا أسقط العمود ن ك على ه و أو

امتداده والعمود ن ل على امتداد ط ح فإن العمودين يكونان متساويين

فاذا كان الشعاع ه و من الضوء الأبيض وكان ور مسير أحد الأشعة الملونة التي

يتحلل إليها عند الانكسار ، والذي يعاني في هذا الوضع النهاية الصغرى للانحراف ، وليكن الشعاع

الأحمر مثلاً ، فإنه يتضح من الشكل أن مسير الشعاع البنفسجي مثلاً ، والمنشور في الوضع المذكور ،

لا يكون في استقامة ور وإنما يكون كالمستقيم ور بحيث تكون زاوية انحرافه عند الانكسار

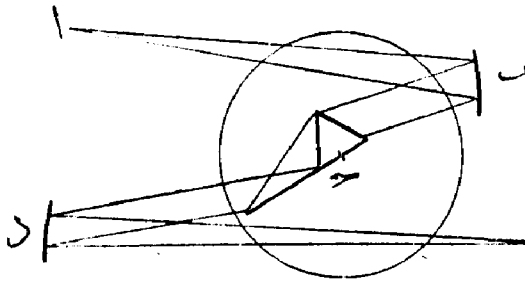
الأول وهي زاوية $\angle \text{دي} \text{ور}$ أكبر من زاوية انحراف الأول . ولكن إذا أدير الجهاز كله قليلاً

حول المستقيم المار بنقطة ن عمودياً على مستوى الشكل دون أن يتغير مسار الشعاع الساقط ه و ، أمكن جعل مسار الشعاع بنفسجي داخل المنشور موازياً للسطح ب - ج فيعاني ه و في هذا الوضع النهاية الصغرى للانحراف

ونظراً لثبوت نقطة ن وثبوت المستقيم ه و في أثناء الدوران ، فإن طول العمود ن ك يبقى ثابتاً ويمكن كما في الحالة السابقة بيان أن طول هذا العمود مساو طول العمود المرسوم من ن على امتداد مسار هذا الشعاع بعد انعكاسه عن المرآة واذن يكون مسار هذا الشعاع بعد انعكاسه عن المرآة - د منطبقاً على مسار الأول

فادارة الجهاز المركب من المنشور والمرآة حول المحور المذكور تأتى بالأشعة المختلفة ذات الأطوال الموجية المختلفة كل على حدها ، في استقامة ح ط ، وهى تعانى النهاية الصغرى للانحراف خلال المنشور ، فإذا وضع الجهاز المبين للأشعاع على استقامة ح ط ، أمكن بادارة المنشور بالكيفية المذكورة أن تجعل الأشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة واقعة عليه ، وهو ملازم مكانه لا يبرحه .

ولتجنب الامتصاص ما أمكن تستبدل بالعدسات التى توجد فى السبكتروسكوبات المعتادة مرايا مقعرة تعمل فى تجمع الأشعة وتكوين الطيف . وشكل (٣٢٠) يوضح تركيب جهاز تستخدم فيه المرايا العاكسة والمنشور الذى سبق ذكره . وفيه نقطة ا تمثل الفتحة التى تنفذ منها الأشعة التى يراد تحليلها ، فتقع الأشعة على سطح مقعر ب ، وتنعكس عنه متوازية ، فتقع



(شكل ٣٢٠)

على المنشور الثابت الانحراف - و بعد أن تنعكس عن مرآته متوازية تقع على سطح مقعر آخر د يلها عند ه حيث يوضع الترمويل ، أو البلومتر ، أو الرديوميكرومتر

ومن أبسط الوسائل لمعايرة مثل هذا الجهاز

بحيث اذا تحدد موضع المنشور أمكن معرفة الطول الموجى للأشعاع عند ه ، أن يستخدم طيف امتصاص الماء . فقد بينت البحوث أن الماء يمتص الأطوال الموجية الآتية مقيسة بالسنتيمتر وهى

المحزوز على مرآة مقعرة ه فتعكس ملبومة عند فتحة و وتنفذ منها ساقطة على قطع من المالح الصخرى أو السلفين هي ر ح ط كى واحدة بعد الاخرى ثم تسقط على مرآة مقعرة ك وقطعة أخرى ل بحيث تلم عند مـ حيث يوضع الجهاز المستخدم لبيان الاشعاع كترمويل حساس . فالاشعة المتجمعة عند مـ بعد أن تعانى هذه الانعكاسات المتتالية تكون هي فضالة الاشعة . وجعل « روبنز » فى تجاربه المصدر ا ٦ الفتحة ب والمرآة ح والمحزوز د (دون الاجزاء الأخرى) مثبتة بحيث تكون قابلة للدوران حول محور رأسى مار بمستوى المحزوز ، وطريقة استخدام الجهاز أن يهيا الجزء القابل للدوران بحيث تقع الاشعة المتوازية عمودية على المحزوز ، فتنفذ من غير حيود . وتلم على الترمويل عند مـ فينحرف الجلفانومتر المتصل به . فاذا أدير الجزء القابل للدوران ، صارت الاشعة الواقعة على المرآة ه هي الاشعة الحائدة من المحزوز ، ولا تقوى هذه الاشعة بعضها الآخر عند نجمعها الا اذا بلغت زاوية الحيود القيمة المناسبة فيقل اذن انحراف الجلفانومتر ، ثم يزداد اذا ما بلغت زاوية الحيود القيمة المناسبة لتكون الطيف الاول فاذا قيست زاوية سقوط الاشعة على المحزوز وزاوية حيودها حين يقوى بعضها الآخر عند مـ ومتوسط البعد بين فتحتين من فتحات المحزوز ، أمكن تقدير الطول الموجى لفضالة الاشعة المتجمعة عند مـ

٤٠٣ — ظاهرة دبلر

اذا فرض أن مصدر اضطراب تردده فى الثانية الواحدة ن وسرعة انتشار الموجات الصادرة منه م وكان المصدر ساكناً ، فإن عدد الموجات التى تمر فى الثانية الواحدة بأية نقطة فى الوسط الذى تنتشر فيه هذه الموجات يكون ن . فاذا استقبل هذه الموجات شخص ساكن فعدد الموجات التى تصل اليه فى الثانية الواحدة يكون ن أيضاً . ولكن اذا فرضنا أن المصدر أو الشخص يتحرك أحدهما بالاضافة الى الآخر فإن عدد الموجات التى يستقبلها الشخص فى الثانية الواحدة يختلف تبعاً لاختلاف قدر هذه السرعة واتجاهها

فاذا فرضنا أن مصدراً عند نقطة ما مثل ا على المستقيم اب ، يتحرك فى استقامة اب

بسرعة نرمز لها بالحرف v ، ففي الزمن الذي يستغرقه في عمل اهتزازة كاملة ، أى في البرهة $\frac{1}{n}$ من الثانية ، يتحرك المصدر مسافة قدرها $\frac{v}{n}$ فإذا ابتدأت من المصدر عند ابتداء هذه البرهة الزمنية مرة مثلاً ، تكون هذه القمة قد وصلت الى مسافة قدرها $\frac{v}{n}$ واذن يكون البعد بين النقطة التى تبلغها هذه القمة (على المستقيم ab) وبين المصدر عند ما يبتدىء في اصدار القمة التالية مساوياً

$$\frac{v}{n}$$

ويساوى هذا الطول الموجى في استقامة ab . فإذا كان الشخص الذى يرقب هذه الموجات عند b وكان ساكناً ، فإن الموجات التى تصل اليه في الثانية الواحدة ، تكون سلسلة أو قطاراً طوله v . أما اذا كان متحركاً نحو a بسرعة نرمز لها بالحرف u فإنه يستقبل في الثانية الواحدة علاوة على هذا القطار ، عدداً من الموجات يتخلل المسافة u التى يقطعها ، كما أنه اذا كان متحركاً بسرعة u فى الاتجاه المضاد ، أى بعيداً عن a فإنه يستقبل في الثانية الواحدة ، القطار الذى طوله v منقوصاً منه عدد الموجات التى تتخلل المسافة u التى يقطعها . اذن اذا كان الشخص متحركاً فى اتجاه حركة المصدر a بسرعة قدرها u فإنه يستقبل في الثانية الواحدة عدداً من الموجات المتتالية يبلغ طولها جميعاً $v + u$

$$\text{وبما ان طول الموجة الواحدة منها } \frac{v}{n}$$

يكون عدد الموجات التى يستقبلها الشخص في هذه الحالة مساوياً

$$\frac{v + u}{\frac{v}{n}} \quad \text{ت} \quad \dots \quad (١)$$

فيتراءى لهذا الشخص أن تردد المصدر ليس n وإنما يساوى المقدار (١) المذكور والمقدار (١) يتضمن الحالات الخاصة التى يكون فيها المصدر أو الشخص ساكناً أو متحركاً فى الاتجاه المضاد . فمثلاً اذا فرضنا أن الشخص ساكن والمصدر يتحرك بسرعة قدرها v نحوه يتراءى للشخص أن التردد

$$\frac{1}{\frac{v}{n} - v} = n \quad \text{ت}$$

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

أى على فرض أن سرعة المصدر وهى v صغيرة بالنسبة الى سرعة انتشار الموجات وهى c .
أما اذا كان المصدر متحركاً بعيداً عن الشخص ، أى فى الاتجاه المضاد ، كانت اشارة السرعة v سالبة ، فيتراءى للشخص أن التردد هو

$$= \left(1 - \frac{v}{c} \right) T \quad \text{بالتقريب}$$

كذلك اذا فرضنا أن المصدر ساكن والشخص يتحرك نحوه بسرعة قدرها v ، كانت اشارة السرعة v سالبة ، ويتراءى للشخص أن تردد المصدر

$$= \frac{c+v}{c} \cdot T = \left(1 + \frac{v}{c} \right) T$$

أما اذا كان متحركاً بعيداً عن المصدر ، تراءى له أن التردد هو

$$= \frac{c-v}{c} \cdot T = \left(1 - \frac{v}{c} \right) T$$

ويتبين من هذه الحالات أنه اذا كان المصدر أو الشخص يتحرك أحدهما نحو الآخر ، أى كانت الحركة بينهما حركة اقبال ، تراءى للشخص أن التردد أعلى من حقيقته . واذا كانا متحركين احدهما بعيداً عن الآخر ، أى كانت الحركة بينهما حركة ادبار تراءى للشخص أن التردد أخفض من حقيقته

والظاهرة تعرف بظاهرة « دبلر »^(١) وهى عامة تحدث فى الحركة الموجية بوجه عام . فهى تحدث فى الصوت ، حيث اذا كان مصدر الصوت أو الشخص الذى يسمعه ، أحدهما أو كلاهما مقبلاً نحو الآخر سمع الشخص درجة الصوت أعلى . واذا كان أحدهما أو كلاهما مدبراً عن الآخر سمع الشخص درجة الصوت أخفض . ويمكن اختبار حدوثها فى الصوت اذا أنصت الانسان الى صوت « صفارة » قطار سريع ، فاذا كان القطار مقبلاً سمعت درجة الصغير أعلى واذا كان مدبراً سمعت أخفض . وسهولة التحقق من حدوث الظاهرة فى الصوت ناشئة عن صغرى قيمة سرعة الصوت فاذا اعتبرنا أن سرعة الصوت ٣٤٠ م٢ فى الثانية ، وكان القطار فى



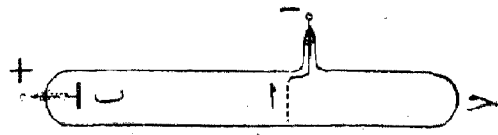
المثال السابق متحركاً بسرعة ٦٠ كيلومتر في الساعة أى بسرعة $\frac{1}{30}$ متراً في الثانية ، فإن ارتفاع الدرجة أو انخفاضها يبلغ بالتقريب كسراً قدره $\frac{1}{30}$ من قيمة التردد الحقيقي

٤٠٤ - حدوث ظاهرة دبلر في الضوء

ولما كان الضوء حركة موجية فظاهرة دبلر تحدث في الضوء أيضاً ، وكان « فيزو » أول من استنبط استنباطاً صحيحاً كيف يكون أثر هذه الظاهرة عند حدوثها في الضوء ، فصدر الضوء ، إذا كان طيف الضوء الصادر منه خطياً ، يصدر أضواءاً معينة ذات تردد معين ، يتعين بمواضع الخطوط الطيفية . فإذا كان المصدر أو الشخص الذى يرقب ضوءه ويختبر طيفه ، في حركة أقبال سريع أحدهما نحو الآخر ، زادت ترددات هذه الأضواء ، ويكون مظهر هذه الزيادة تحول هذه الخطوط الطيفية قليلاً نحو الطرف البنفسجى من الطيف . أما إذا كانا في حركة أذبار سريع نقصت الترددات ، ويكون مظهر هذا النقص تحول الخطوط قليلاً نحو الطرف الأحمر

ولكى يكون التحول محسوساً ، يجب أن تكون سرعة الاقبال أو الادبار كبيرة ، حتى لا تكون نسبتها الى سرعة الضوء صغيرة جداً . والتجارب التى أجريت لدراسة أطياف الأضواء الصادرة من النجوم دلت على أن حركة النجوم نحو الأرض أو بعيداً عنها تفضى الى حدوث الظاهرة . وأطياف النجوم هى بوجه عام أطياف امتصاص ، أى اذا حلل ضوءها وجد طيفاً متصلاً يتخلله خطوط امتصاص فى بعض الحالات ، وشرائط امتصاص فى الأخرى ، وخطوط الامتصاص قد تكون كثيرة العدد تشبه خطوط فروهوفر في طيف الشمس ، وقد تكون مقصورة على خطوط امتصاص الايدروجين ، فإذا كانت بين النجم والأرض حركة أقبال أزيحت هذه الخطوط قليلاً من مواضعها نحو الطرف البنفسجى ، وإذا كانت الحركة أذباراً أزيحت قليلاً نحو الطرف الأحمر . وقد أمكن بقياس ترددات هذه الخطوط ومعرفة تردداتها الحقيقية تقدير سرعة النجم بالنسبة الى الأرض . والسرعة التى تقدر بهذه الكيفية فى اتجاه خط البصر ، وظاهرة دبلر هى الوسيلة الوحيدة لبيان هذه السرعة وتقديرها .

للبحث عن حقيقة هذه الاشعة أنها بوجه عام ، ذرات من المادة متحركة بشحنات كهربائية موجبة^(١) وقد بحث « شتارك »^(٢) في طيف الضوء الصادر عند نفوذ الاشعة القنوية ، في غاز ضغطه يعادل ضغط $\frac{1}{10}$ المليمتر من الزئبق ، وأجرى تجاربه في غاز الايدروجين ، فوجد أنه اذا فحص الضوء الصادر في اتجاه عمودى على اتجاه مسير الاشعة القنوية كانت خطوط الايدروجين في مواضعها المعتادة ، أما اذا فحص في استقامة مسيرها ، فان الخطوط تعرض قليلا ، ويكون الامتداد العرضى نحو الطرف البنفسجى للطيف اذا كانت الاشعة في حركة اقبال نحو فتحة المجمع ويكون نحو الطرف الاحمر اذا كانت في



(شكل ٢٢٢)

حركة ادبار. وشكل (٣٢٢) يوضح تركيب الجهاز الذى يبين هذه الظاهرة ، فالكاثود مدلول عليه بالحرف ا وهو مصنوع من لوح من الالومنيوم يبلغ سمكه مليمترأ أو يزيد قليلا ، وبه ثقب عدة صغيرة لا يتجاوز قطر الواحد منها مليمترأ واحداً . فعند حدوث التفريغ الكهربائى بين القطبين ب ، ا يكون مسير الاشعة القنوية في اتجاه ا ح . فاذا وضعت انبوبة التفريغ بحيث تقبل هذه الاشعة نحو فتحة المجمع أعرضت خطوط الطيف في اتجاه الطرف البنفسجى واذا وضعت بحيث تدبر هذه الاشعة عن فتحة المجمع أعرضت في الاتجاه الآخر . وتدل الظاهرة على أن بعض المصادر التى تتشعع منها الخطوط متحركة بسرعة كبيرة جداً يترتب عليها حدوث ظاهرة دبلىر ولذلك تعرف الظاهرة بظاهرة « شتارك دبلىر »^(٣) ويمكن كما سبق بيانه ايجاد قيمة الحد الاقصى لسرعة هذه المصادر

٤٠٦ — ظاهرة زيمان

كشف « زيمان »^(٤) سنة ١٨٩٦ أن للجالى المغناطيسى الشديد تأثيراً في تردد الضوء الذى اللون الواحد اذا كان مصدره موضوعاً في هذا المجال . وتجربته الاولى أن جعل لهب الصوديوم

(١) انظر كتاب عام الطبيعة نشوء ورقبه ونقدمه الحديث المؤلف صفحات ٢٦٥ ، ٢٦٦ ، ٢٦٧

(٢) The Stark-Doppler Effect

(٣) Stark

(٤) Zeeman وتعرف الظاهرة باسم Zeeman Effect

بين قطبي مغناطيس كهربائي شديد واختبر طيف الصوديوم المتكون بوساطة المحزوز المقعر الذي اخترعه « رولند » وسبق ذكره في بند (٢٧٨) ، فرأى أنه كلما أمر التيار في ملفات المغناطيس الكهربائي عرض كل واحد من الخطين ، وبقي كذلك ما بقي المجال . فاذا أوقف التيار وزال المجال المغناطيسي عاد الخط الى حالته الاولى . ثم اختبر حدوث هذا التأثير في خطوط الطيف المختلفة فرآها ظاهرة عامة

ثم اهتدى « زيمان » بالنظرية الالكترونية ^(١) التي وضعها « لورنتز » ^(٢) في التوسع في دراسة الظاهرة ، فاتخذ مغناطيساً كهربائياً مقوراً ، لكي يتيسر دراسة تأثير المجال المغناطيسي في تردد الضوء المنبعث في استقامة خطوط القوة ، كما يمكن دراسة تأثيره في تردد الضوء المنبعث في اتجاه عمودي على الخطوط ، ففي الحالة الاولى دلت النظرية الالكترونية كما سنبين فيما يلي ، على أن تأثير المجال المغناطيسي ، أن يجعل الضوء ذا التردد المعلوم ينقسم قسمين تردد أحدهما أعلى وتردد الآخر أخفض من التردد الاصل للضوء ، ويكون الضوء ان مستقطبين استقطاباً دائرياً . ولكن اتجاه الاهتزازة في أحدهما عكس اتجاهها في الآخر . فاذا اختبر خط مفرد في الطيف عند ما يكون مصدره في المجال المغناطيسي الشديد ، وكان مسير الضوء المنبعث في استقامة خطوط القوة انشق الخط المفرد خطين أحدهما أعلى تردداً من الخط الاصل والآخر أخفض ويكون كلاهما مستقطباً استقطاباً دائرياً واتجاه الاهتزازة الدائرية في أحدهما عكس اتجاهها في الآخر . أما بالنسبة الى الضوء المنبعث في اتجاه عمودي على خطوط القوة فالنظرية الالكترونية تدل على أن تأثير المجال المغناطيسي أن يجعل الضوء ذا التردد المعلوم ينقسم ثلاثة أقسام ، تردد واحد منها أعلى من التردد الاصل ، وتردد واحد أخفض منه ، وتردد الثالث مساو له ، والترددان الاول والثاني متساويان بالترتيب للتردد في الحالة الاولى ، ومن حيث الاستقطاب يكون الضوء ان ذو التردد الاعلى والاخفض مستقطبين استقطاباً استوائياً واتجاه الاهتزازة عمودي على خطوط القوة أما الضوء الذي يبقى تردده كالتردد الاصل فيكون هو أيضاً مستقطباً استقطاباً استوائياً ولكن اتجاه اهتزازته مواز لخطوط القوة . فالخط المفرد في هذه الحالة ينشق الى ثلاثة خطوط ، الاوسط تردده كتردد

الخط الاصلى وضوءه مستقطب استقطاباً استوائياً واتجاه اهتزازه مواز لخطوط القوة . والطرفيان تردد أحدهما أعلى وتردد الآخر أخفض ، وضوءهما مستقطب استقطاباً استوائياً في اتجاه عمودى على خطوط القوة

تلك نتائج النظرية الالكترونية التى أجرى زيمان تجاربه للتحقق من صحتها . وعززت التجارب هذه النتائج فى أبسط الحالات . ويسمى الخطان اللذان يظهران عندما ينطبق اتجاه الضوء على استقامة خطوط القوة « الزوجين » ^(١) والخطوط الثلاثة التى تظهر عندما يكون اتجاه الضوء عمودياً على خطوط القوة تسمى « الخطوط الثلاثة » ^(٢)

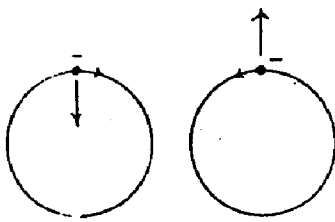
٤٠٧ -- تطبيق النظرية الالكترونية لشرح ظاهرة زيمان فى أبسط حالاتها

ينشأ الضوء ، على حسب النظرية الالكترونية ، عن حركة اهتزازية فى الالكترونات . والالكترونات كما دلت البحوث المختلفة دقائق متحملة بشحنات سالبة ، تبلغ كتلة الواحدة جزءاً من ثمانمائة و الف من كتلة أصغر ذرة معروفة فى الكيمياء ، وهى ذرة الايدروجين ، وتبلغ شحنتها $4,7 \times 10^{-10}$ من وحدة الشحنة فى الكهربائية الاستاتيكية

واهتزاز الالكترونات قد تكون اهتزازة مستقيمة أو مستديرة أو اهليلجية ، ولما كانت الاهتزازة المستقيمة أو الاهليلجية يمكن تحليلها الى مركبات مستديرة فمن المناسب لسهولة الشرح أن نعتبر اهتزاز الالكترونات مستديرة ، فإذا كان الضوء ذات تردد معلوم تكون مدة الدورة للالكترونات التى تحدث هذا الضوء واحدة ، أى يكون ترددها جميعاً واحداً ، وتكون ظاهرة زيمان ناجمة عن تأثير المجال المغناطيسى فى تردد الحركة المستديرة لهذه الالكترونات . وأفلاك هذه الالكترونات أو مداراتها ليست جميعها متوازية بل يميل بعضها على الآخر حيثما اتفق ، فسهولة الشرح نراعى حالتين ، تأثير المجال المغناطيسى فى الالكترونات التى أفلاكها أو مداراتها عمودية على خطوط القوة ، وتأثيره فى الالكترونات التى أفلاكها موازية لخطوط القوة

الحالة الاولى : تأثير المجال المغناطيسى فى تردد الالكترونات التى مداراتها عمودية على المجال لنفرض أن مدارات الالكترونات فى مستوى الورقة ، وأن المجال المغناطيسى عمودى على

مستوى الورقة ، واتجاه خطوط القوة الى الداخل فالإلكترونات بعضها يتحرك في اتجاه حركة عقرب الساعة وبعضها في الاتجاه المضاد ، وقبل حدوث المجال المغناطيسى تكون مدة الدورة فيها جميعاً واحدة أى يكون ترددها جميعاً واحداً . والإلكترون الذى يدور بسرعة حول محيط دائرة فى اتجاه معين ، بمثابة تيار كهربائى موجب يسير حول محيط الدائرة فى الاتجاه المضاد . والتيار الكهربائى السائر فى المجال المغناطيسى عمودياً على اتجاه خطوط القوة يعانى قوة تؤثر فيه ، يمكن تعيين اتجاهها وفقاً للقاعدة المعروفة فى علم الكهرباء بقاعدة اليد اليسرى (١) ، فبتطبيق هذه القاعدة وباعتبار الإلكترون المتحرك فى اتجاه معين بمثابة تيار موجب يسير فى الاتجاه المضاد ، يتبين أن الإلكترون الذى يدور فى اتجاه حركة عقرب الساعة (شكل ٣٢٣) يعانى بفعل المجال المغناطيسى الذى خطوط قوته عمودية على مستوى الشكل . وإلى الداخل ، يعانى بفعل



(شكل ٣٢٣)

هذا المجال قوة تجذبه نحو مركز الدائرة ، فى حين أن الإلكترون الذى يدور فى عكس اتجاه حركة عقرب الساعة يعانى قوة تطرده عن مركز الدائرة ، فيضيق بفعل المجال المغناطيسى مدار الاول أو فلكه ويتسع مدار الثانى ، ويترتب على هذا أن يزداد تردد الاول ويقل تردد الثانى

فتأثير المجال المغناطيسى أن يجعل تردد فريق من الإلكترونات يزداد ، وتردد فريق آخر يقل ، فاذا اختبر الضوء الحادث بفعل هذه الإلكترونات فى استقامة خطوط القوة ، أى فى اتجاه عمودى على مستوى الورقة (شكل ٣٢٣) تحلل الضوء الى ضوءين ، تردد أحدهما أعلى من التردد الاصلى وتردد الآخر أقل ، فيظهر فى الطيف الزوجان المشار اليهما ، وتكون الاهتزازة فى الضوءين مستديرة ، أى يكون الضوءان مستقطبين استقطاباً دائرياً . واذا نظر كما ينظر الى شكل (٣٢٣) ، أى بحيث يكون الضوء الواقع على العين يسير فى استقامة خطوط القوة وفى اتجاه

(١) هذه القاعدة تنص على أنه اذا مدت أصابع اليد اليسرى ، الابهام والسبابة والوسطى بحيث يكون بعضها عمودياً على الآخر وجعلت السبابة مشيرة فى اتجاه خطوط القوة ، والوسطى مشيرة فى اتجاه التيار الكهربائى الموجب فان الابهام يدل على اتجاه القوة المؤثرة فى التيار

مضاد لاتجاهها ، يكون اتجاه الاهتزازة في الضوء ذي التردد الاعلى في اتجاه حركة عقرب الساعة ، ويكون اتجاهها في الضوء ذي التردد الاخفض في عكس اتجاه حركة عقرب الساعة .
 واذا اختبر الضوء الحادث بفعل هذه الالكترونات في اتجاه عمودى على خطوط القوة ، أى اذا روى ما تقول اليه الحركة المستديرة في شكل (٣٢٣) اذا نظر اليها والعين في مستوى الورقة اتضح أنها تكون بمثابة حركة مستقيمة وتأثير المجال المغناطيسى أن يجعل تردد فريق من الالكترونات أعلى وتردد فريق آخر أخفض ، فعند تحليل الضوء الصادر في اتجاه عمودى على خطوط القوة يرى في الطيف خطان ، هما الخطان الطرفيان من الخطوط الثلاثة التى أشرنا اليها فيما سبق . ويكون ضوءهما مستقطباً استقطاباً استوائياً ويكون اتجاه الاهتزازة عمودياً على اتجاه خطوط القوة ، ويلاحظ طبعاً أن التردد الاعلى في هذه الحالة كالتردد الاعلى في الزوجين ، والتردد الاخفض كالتردد الاخفض فيهما

الحالة الثانية : — تأثير المجال المغناطيسى في تردد الالكترونات التى مداراتها موازية للمجال
 الحركة المستديرة في هذه الحالة يمكن تحليلها الى مركبتين مستقيمتين متعامدين^(١) احدهما موازية لخطوط القوة والاخرى عمودية عليها
 والموازية لخطوط القوة لا تأثير للمجال فيها ، واذن يبقى ترددها ثابتاً لا يتغير بفعل المجال .
 ولكن هذه الاهتزازة لا تؤدى الى حدوث ضوء في اتجاه خطوط القوة والا كانت الحركة الموجية في هذا الضوء من نوع الموجة الطولية . واذن لا يظهر لهذه الاهتزازة أثر ما اذا اختبر الضوء في اتجاه خطوط القوة ، ولكن أثرها يظهر اذا اختبر الضوء في اتجاه عمودى على خطوط القوة واذن يظهر في الطيف عند اختبار الضوء في اتجاه عمودى على خطوط القوة ضوء تردده كتردد الضوء الاصلى فيظهر خط طيفى مكان الخط الطيفى الاصلى ويكون ضوءه مستقطباً استقطاباً استوائياً ، واتجاه الاهتزازة فيه مواز لخطوط القوة ، وهذا الخط هو ثالث الخطوط الثلاثة التى أشرنا اليها في البند السابق

أما المركبة المستقيمة العمودية على خطوط القوة . فليان تأثير المجال المغناطيسى فيها يمكن

اعتبارها محصلة حركتين مستديرتين ذاتي تردد واحد واتساع واحد ولكنهما في اتجاهين متضادين^(١) ويكون مستوى مداريهما عمودياً على خطوط القوة ، وتأثير المجال المغناطيسي في هاتين المركبتين مثل ما ذكر آنفاً في الحالة الاولى ، أى في حالة الإلكترونات التي مداراتها عمودية على المجال . واذن يفضى تأثير المجال المغناطيسي في المركبة المستقيمة العمودية على خطوط القوة الى ظهور الزوجين عند اختبار الضوء في استقامة خطوط القوة والى ظهور الخطين الطرفين من الخطوط الثلاثة عند اختبار الضوء في اتجاه عمودى على الخطوط وتكون هذه الخطوط مماثلة تماماً من حيث التردد والاستقطاب لما سبق ذكره في الحالة الاولى

وتتلخص نتيجة ما ذكر في أنه اذا اختبر الضوء في استقامة خطوط القوة انشق الخط المفرد بفعل المجال المغناطيسي الى زوجين ، واذا اختبر الضوء في اتجاه عمودى على خطوط القوة انشق الى الخطوط الثلاثة . وان كانت هذه النتائج قد تحقق وقوعها عملياً فالتجارب دلت على أن الظاهرة ليست في جميع الحالات بمثل هذه البساطة بل هي بوجه عام أكثر تعقداً ، اذ قد ينشق الخط المفرد عند اختبار الضوء في اتجاه عمودى على خطوط القوة الى خطين أو الى أربعة خطوط أو الى ستة . فأحد خطى الصوديوم وهو ذو التردد الاخفض أو الطول الموجى الاطول ينشق الى أربعة خطوط والخط الثانى ينشق الى ستة

٤٠٨ — استنباط قيمة نسبة شحنة الإلكترون الى كتلته من ظاهرة زيمان

اذا رمز لكتلة الإلكترون بالحرف m ولسرعته في فلكه المستدير بالحرف v ولنصف قطر هذا الفلك بالرمز r كانت القوة المؤثرة فيه في اتجاه نصف القطر الى الخارج (بعيداً عن المركز) مساوية $\frac{mv^2}{r}$. فاذا فرض أن القوة التي تقيد الإلكترون في فلكه متناسبة ونصف قطر هذا الفلك ، (أو بوجه أعم اذا فرض أن الإلكترون اذا أزيح عن مركز دائرة مداره أثرت فيه قوة متناسبة وقدر هذه الازاحة ، واتجاهها نحو المركز حتى تكون حركته حركة دورية

بسيطة) ورمزنا للقوة التي تؤثر فيه عند ما يكون نصف القطر الوحدة (أو عند ما تكون إزاحته عن المركز الوحدة) بالحرف σ ، كانت القوة المؤثرة نحو المركز $\sigma \cdot \sigma$. واذن يكون

$$\sigma = \frac{e^2}{r^2} \quad (1)$$

ونظراً لأن سرعة الإلكترون في فلكه المستدير هي e ومحيط هذا الفلك هو $2\pi r$ ، فإن الإلكترون يتم في وحدة الزمن قطع هذا الفلك $\frac{e}{2\pi r}$ مرة ، فإذا رمزنا لشحنته مقيسة بالوحدات المغناطيسية الكهربائية بالحرف σ (١) أمكن اعتبار الإلكترون الدائر في فلكه ، بمثابة تيار كهربائي يسير حول محيط هذا الفلك وشدته $\sigma \cdot \frac{e}{2\pi r}$ ، حيث يكون هذا المقدار مساوياً كمية الكهرباء التي تمر بأية نقطة من محيط هذا الفلك في وحدة الزمن . فإذا حدث المجال المغناطيسي وكان اتجاهه عمودياً على مستوى فلك الإلكترون ورمزنا لشدته بالرمز σ ، كانت القوة المؤثرة في هذا التيار (٢) في اتجاه عمودي عليه وعلى اتجاه المجال المغناطيسي هي

$$\sigma \cdot \frac{e}{2\pi r} \times \text{مغ} \times 2\pi r = \sigma \cdot e \cdot \text{مغ}$$

وتكون هذه القوة هي المؤثرة في الإلكترون من جراء وجود المجال المغناطيسي ، واتجاه هذه القوة يتعين طبقاً لقاعدة اليد اليسرى مع ملاحظة أن التيار سالب نظراً لأن شحنة الإلكترون سالبة . فإذا اعتبرنا مثلاً أن حركة الإلكترون في اتجاه حركة عقرب الساعة بالنسبة إلى الناظر لشكل (٣٢٣) وكان اتجاه خطوط القوة في المجال المغناطيسي عمودياً على مستوى الشكل وإلى الداخل ، كانت هذه القوة نحو مركز فلك الإلكترون ، ويضيق من جرائها هذا الفلك . وإذا رمز لنصف قطرة الفلك في هذه الحالة بالرمز r ، تكون معادلة القوى المؤثرة في الإلكترون هي

(١) وحدة الشحنة في نظام الوحدات المغناطيسية الكهربائية تساوي 3×10^{-10} وحدتها في نظام وحدات الكهرباء الاستاتيكية فتكون شحنة الإلكترون مقيسة بالوحدات المغناطيسية الكهربائية مساوية $\frac{4.7 \times 10^{-10}}{3 \times 10^{-10}}$

$$= 1.57 \times 10^{-20} \text{ وحدة}$$

(٢) من قوانين المغناطيسية الكهربائية أنه إذا مر تيار شدته T في سلك طوله L وكان السلك في مجال مغناطيسي منتظم شدته σ واتجاهه عمودياً عليه كانت للقوة المؤثرة في هذا السلك (أو في التيار الذي طوله L) مساوية $T \cdot \sigma \cdot L$

$$\text{ع} = \frac{\text{ع}^2}{\text{و}} = \text{و} + \text{ش} \text{ ع مغ} \quad (٢)$$

وبالتعويض بدلا من و قيمتها من المعادلة (١) ينتج أن

$$\text{ع} = \frac{\text{ع}^2}{\text{و}} + \text{ش} \text{ ع مغ}$$

$$\therefore \text{ع} = \left(\frac{\text{ع}^2}{\text{و}} - \frac{\text{ع}^2}{\text{و}} \right) = \text{ش} \text{ ع مغ} \quad (٣)$$

كذلك اذا كانت حركة الالكترتون في عكس اتجاه عقربى الساعة ، فان القوة المؤثرة فيه من جراء وجود المجال المغناطيسى تكون في استقامة نصف القطر والى الخارج ، ويتسع فلك الالكترتون ، فاذا رمز لنصف قطر الفلك في هذه الحالة بالرمز $\text{و}_٢$ ، كانت معادلة القوى المؤثرة في الالكترتون هي

$$\text{ع} = \frac{\text{ع}^2}{\text{و}_٢} = \text{و}_٢ - \text{ش} \text{ ع مغ}$$

وبالتعويض من المعادلة (١) ينتج أن

$$\text{ع} = \left(\frac{\text{ع}^2}{\text{و}_٢} - \frac{\text{ع}^2}{\text{و}_٢} \right) = \text{ش} \text{ ع مغ} \quad (٤)$$

وبطرح المعادلة (٤) من المعادلة (٣) ينتج أن

$$\left(\frac{\text{ع}}{\text{و}_٢} + \frac{\text{ع}}{\text{و}} \right) \text{ش} \text{ ع مغ} = \left(\frac{\text{ع}^2}{\text{و}_٢} - \frac{\text{ع}^2}{\text{و}_٢} \right)$$

$$\therefore \text{ش} \text{ ع مغ} = \left(\frac{\text{ع}}{\text{و}_٢} - \frac{\text{ع}}{\text{و}} \right) \quad (٥)$$

فاذا رمزنا لتردد الالكترتون المتحرك في اتجاه حركة عقربى الساعة ، عند حدوث المجال

المغناطيسى بالرمز ن ، فان

$$\text{ن} = \frac{\text{ع}}{\text{ط}_١} = \frac{\text{ع}}{\text{ط}_٢} = \text{ن} \quad \text{ط}_٢ = \frac{\text{ع}}{\text{ن}}$$

وكذلك اذا رمزنا لتردد الالكترون المتحرك في عكس حركة عقرب الساعة، عند حدوث المجال بالرمز τ فان

$$\tau = \frac{e}{\tau \cdot \tau} \cdot \frac{e}{\tau \cdot \tau} = \tau$$

وبالتعويض في المعادلة (٥) ينتج أن

$$\tau \cdot \tau = (\tau - \tau) = \tau$$

$$\therefore \frac{\tau}{\tau} = \frac{\tau}{\tau} \cdot (\tau - \tau) \quad (٦)$$

واذا أمكن عملياً إيجاد الفرق في التردد بين الزوجين الحادثين عند اختبار الضوء في اتجاه خطوط القوة (أولين الطرفين من الخطوط الثلاثة الحادثة عند اختبار الضوء في اتجاه عمودي على خطوط القوة ، لان الفرق واحد في الحالتين كما جاء في الشرح الوارد في البند السابق) ، وعرفت شدة المجال المغناطيسى امكن من المعادلة (٦) إيجاد قيمة نسبة شحنة الالكترون الى كتلته وقد دلت التجارب على أن الفرق في التردد بين الخططين المذكورين يتناسب في جميع الحالات وشدة المجال المغناطيسى ، وهذا يدل على أن نسبة الشحنة الى الكتلة واحدة ، أى أن الالكترونات التى يحدث الضوء عن اهتزازها متشابهة من هذه الوجهة . واذا قدرت الشحنة بالوحدات المغناطيسية الكهربائية وقدرت الكتلة بالجرام ، فان النسبة المذكورة وجدت مساوية $1,77 \times 10^{-9}$. وقيمتها مساوية بالتقريب نسبة الشحنة الى الكتلة للدقائق السالبة الصادرة من الكاثود عند حدوث التفريغ الكهربائى فى الانابيب المفرغة من الهواء ، وهى التى تعرف « بالدقائق الكاثودية »^(١) ، ومساوية أيضاً لهذه النسبة فى حالة « الدقائق البائية »^(٢) الصادرة من « المواد الرديومية »^(٣) ومساوية أيضاً لهذه النسبة فى حالة الدقائق السالبة التى تنساب من الاجسام المتوهجة فى الفراغ ، والدقائق السالبة التى تنساب فى الفراغ من السطوح المعدنية بفعل

الضوء، أو بالأحرى الموجات القصيرة منه في الظاهرة المعروفة باسم «التأثير الكهرمائي الضوئي»^(١) دالا ذلك على أن هوية جميع هذه الدقائق واحدة، وإنها جميعاً إلكترونات

٤٠٩ — ظاهرة زيمان في خطوط الامتصاص — الظاهرة المعكوسة

نظراً لأن المادة تمتص من الضوء النافذ فيها، الاضواء التي يتفق ترددها وتردد الاضواء التي تصدرها (بند ٣٩٧) فإن الإلكترونات ذات التردد الطبيعي المعلوم التي يحدث طيف الاشعاع عندها ترازتها، تمتص من الضوء النافذ في المادة الاضواء التي يتفق ترددها مع التردد الطبيعي لها واذن يكون للمجال المغناطيسي تأثير في خطوط الامتصاص مشابه لتأثيره في خطوط الاشعاع، فتحدث ظاهرة زيمان في خطوط الامتصاص أيضاً، وتسمى الظاهرة في هذه الحالة «ظاهرة زيمان المعكوسة»^(٢)

فاذا وضعت المادة التي تمتص الضوء في مجال مغناطيسي شديد، ينتظر بادىء ذي بدء، أن ينشق بفعل المجال خط الامتصاص المظلم الى زوجين. اذا سار الضوء الابيض النافذ في المادة في استقامة خطوط القوة، وأن ينشق الى ثلاثة خطوط، اذا سار الضوء في اتجاه عمودي على خطوط القوة ولكن الإلكترونات التي تحدث في الحالة الاولى الزوجين في طيف الاشعاع تتحرك حركة مستديرة مستواها عمودي على خطوط القوة وهي فريقان اتجاه حركة أحدهما مضاد لاتجاه حركة الآخر، فهذه الإلكترونات اذا امتصت شيئاً من الضوء الابيض، فأنما تمتص الاهتزازة التي تتفق معها في التردد وتتفق معها في الكيفية أيضاً. فاذا كان الضوء الابيض طبيعياً غير مستقطب، امتص كل فريق من هذه الإلكترونات الاهتزازة المستديرة التي يتفق ترددها مع تردده واتجاهها مع اتجاهه، فلا يكون الامتصاص تاماً، أى لا يتجرد الضوء الابيض تجرداً تاماً عن الاهتزازتين اللتين ترددهما كترددى هذين الفريقين بل يتجرد من مركبة معينة فحسب، واذن لا يكون الخططان المظلمان اللذان ينتظر ظهورهما، بفعل المجال

Photo-Electric Effect (١)

The Inverse Zeeman Effect. (٢)

المنطائيسى واضحين، ولكن اذا كان الضوء الابيض مستقطباً استقطاباً دائرياً في اتجاه حركة أحد هذين الفريقين ، فإن هذا الفريق يمتص من الضوء الابيض امتصاصاً تاماً الاهتزازة التي يتفق ترددها مع تردده ، فيتجرد الضوء النافذ في المادة عن هذه الاهتزازة وحدها ، فيحدث لها خط امتصاص واضح في الطيف ، كذلك اذا كان الضوء الابيض مستقطباً استقطاباً دائرياً في الاتجاه المضاد ، فإن الفريق الثانى يمتص الاهتزازة التي يتفق ترددها مع تردده ويحدث لهذه الاهتزازة وحدها خط امتصاص

واذا راعينا الحالة التي يسير فيها الضوء في اتجاه عمودى على خطوط القوة ، فالخط الأوسط مثلاً من الخطوط الثلاثة التي ينشق اليها خط الاشعاع ، ناشئ عن الالكترونات التي اهتزاتها موازية لخطوط القوة . فعند حدوث الامتصاص تمتص هذه الالكترونات من الضوء الابيض الاهتزازة التي ترددها متفق مع تردد هذه الالكترونات واتجاهها مواز لخطوط القوة ، فاذا كان الضوء الابيض طبيعياً غير مستقطب فلا تمتص هذه الالكترونات الا المركبة الموازية لخطوط القوة في اهتزازة الضوء المتفق معها في التردد . فلا يكون الامتصاص تاماً . وكذلك بالنسبة الى الالكترونات التي يحدث عنها الخطان الطرفيان من الخطوط الثلاثة ، فإن هذه الالكترونات لا تمتص الا الاهتزازة التي ترددها يتفق مع تردد هذه الالكترونات واتجاهها عمودى على خطوط القوة ، فاذا كان الضوء الابيض طبيعياً غير مستقطب يكون الامتصاص مقصوراً على المركبة العمودية على خطوط القوة . أما اذا كان الضوء الابيض مستقطباً استقطاباً استوائياً ، وكان اتجاه الاهتزازة فيه موازياً لخطوط القوة ، امتصت الالكترونات التي ينشأ عنها الخط الأوسط الاهتزازة التي تتفق معها في التردد ، فيتجرد الضوء النافذ في المادة من هذه الاهتزازة ، فيحدث خط امتصاص مظلم ، مكان الخط الأوسط من الخطوط الثلاثة ، في حين أن الالكترونات التي ينشأ عنها الخطان الطرفيان لا تمتص شيئاً لأن اهتزازتها عمودية على خطوط القوة . واذا كان اتجاه الاهتزازة في الضوء الابيض المستقطب عمودياً على خطوط القوة ، فإن الالكترونات التي ينشأ عنها الخطان الطرفيان هي التي تمتص دون الأخرى ، وهى فريقان تردد أحدهما أكبر من تردد الالكترونات التي ينشأ عنها الخط الأوسط ، وتردد الآخر أقل ، فيمتص كل فريق

الاهتزازة التي تتفق معه في التردد فيحدث في هذه الحالة خطان مظلمان مكان الخطين الطرفين ويتضح مما سبق أن حدوث الظاهرة المعكوسة وتبين الخطوط التي ينشق إليها خط الامتصاص ، متوقفان على حالة الضوء الأبيض النافذ في المادة من حيث الاستقطاب ونوع الاستقطاب ، وظهور أحد هذه الخطوط ظهوراً مميزاً له ، مرتبط بأن يكون الضوء الأبيض النافذ في المادة مستقطباً الاستقطاب المناسب وقد أيدت التجارب هذه النتائج

٤١٠ - ظاهرة زيمان في الشمس

تدل المعلومات الخاصة بكلف^(١) الشمس ، وهي البقع السوداء التي تظهر على وجه الشمس على أن الغازات والابخرة التي تحيط بكثير من هذه البقع تتحرك حركة اعصارية ، أى حركة تشبه حركة الرياح في الأعاصير . فإذا كانت الاجسام المتوهجة تنساب منها الالكترونات ،^(٢) فهذه الاعاصير الشمسية تكتسح معها الالكترونات المنسابة من الغازات والابخرة المتوهجة الموجودة على الشمس ، فتتحرك هذه الالكترونات حركة مستديرة ، وتحركها بهذه الصفة كبير تيار كهربائي في ماف مستدير ، أى تؤدي الى حدوث مجال مغناطيسى . فيكون سير الضوء الواصل الى الارض من البقعة الشمسية في هذا المجال المغناطيسى . فإذا كانت البقعة في منتصف وجه الشمس ، كان سير الضوء الواصل من الشمس في استقامة خطوط القوة ، وإذا كانت عند حافة الشمس كان سيره عمودياً على خطوط القوة . فإذا كانت شدة المجال المغناطيسى شديدة حدثت ظاهرة زيمان ، فظهر في الحالة الاولى الزوجان ، وظهر في الثانية الخطوط الثلاثة وقد كشف « هال »^(٣) سنة ١٩٠٨ حدوث هذه الظاهرة ، حيث أثبت أن خط الامتصاص

(١) Sun spots

(٢) من المعروف أن الجسم المتوهج تنساب منه في الفراغ دقائق متحملة بشحنات سالبة ، وقد سبق أن أشرنا الى أن نسبة شحنة الدقفة منها الى كتلتها مساوية هذه النسبة للالكترون

(٣) Hale

في الضوء الواصل من مركز البقعة ينشق في أبسط حالة الى الزوجين ، اذا كانت البقعة مقابلة للارض عند منتصف وجه الشمس ، والى ثلاثة خطوط ، اذا كانت البقعة عند حافة الشمس ، وذلك كما سبق ذكره في الظاهرة المعكوسة ، ودلل بهذه الكشف على أن كاف الشمس أعاصير هائلة لها مجالات مغناطيسية شديدة

٤١١ - ظاهرة شتارك

كشف « شتارك » سنة ١٩١٣ أن للمجال الكهربائي الشديد تأثيرا في خطوط طيف الاشعاع ، بحيث اذا وضع غاز مضيء في مجال كهربائي شديد فالخط الطيفي المفرد ينشق بفعل المجال الكهربائي الى خطوط . وتعرف الظاهرة « بظاهرة شتارك »^(١)

وطريقة شتارك لبيان الظاهرة أن تجعل الأشعة القنوية (أنظر بند ٤٠٥) بحيث تنفذ بين لوحين من المعدن قد جعل بينهما فرق كبير ثابت في الجهد ، وذلك في جهاز خاص يحتوى على ايدروجين في ضغط صغير جداً ، فوجد أنه اذا اختبر الضوء في اتجاه عمودى على اتجاه المجال الكهربائي ، فان كلا من الخطين الأحمر والأخضر الأزرق في طيف الايدروجين ينشق الى خمسة خطوط ، الخط الاوسط منها في موضع الخط الاصلى . يحف به خطان في كل جانب من جانبيه ، ووجد الخطين الطرفين من هذه الخطوط الاربعة أشد ضياء ، وضوءهما مستقطباً استقطاباً استوائياً واتجاه الاهتزاز موازياً لاتجاه المجال الكهربائي . أما الخطوط الثلاثة التى بينها فوجد ضوءها مستقطباً استقطاباً استوائياً واتجاه الاهتزاز عمودياً على المجال الكهربائي

واذا اختبرنا الضوء في اتجاه المجال الكهربائي ينشق الى ثلاثة خطوط في مواضع الخطوط الثلاثة المذكورة آنفاً وضوءها في هذه الحالة طبيعى غير مستقطب

وان كانت النظرية الالكترونية تصلح لشرح ظاهرة زيمان في أبسط حالاتها فهى لا تصاح لشرح ظاهرة « شتارك » وتشرح هذه الظاهرة وفقاً لنظرية الكم^(٢)

(١) The Stark Effect

(٢) أنظر كتاب Structure of the Atom ألف Andrade

أجريت بحوث كثيرة لبيان ما اذا كانت هناك علاقة بين الاطوال الموجية للخطوط المختلفة في طيف العنصر الواحد ، أو بين تردداتها . وكانت نتيجة هذه البحوث أن هناك فعلاً علاقة ، ولكنها ليست من قبيل العلاقة بين الألائف المعروفة في الصوت ، يمكن النص عليها بنسبة بسيطة .

وقد كشف « بالمر »^(٢) في سنة ١٨٨٥ العلاقة بين الخطوط الطيفية للايدروجين ، فاذا رمز للطول الموجي مقيساً بالانجستروم بالحرف λ ، فإن العلاقة بين الاطوال الموجية للخطوط المختلفة تكون وفقاً للمعادلة

$$\lambda = 3646,14 \frac{m^2}{m^2 - 4} \dots (1)$$

حيث اذا استبدلت بالمقدار m الاعداد ٣ ٤ ٥ ٦ الخ كان قيمات λ المستخرجة من المعادلة هي الاطوال الموجية للخطوط المختلفة . وعلى حسب هذه المعادلة تكون الاطوال الموجية هي حدود متتالية لانهائية ، الحد الواحد منها تزداد قيمته قريباً الى المقدار ٣٦٤٦,١٤ كلما زاد عدد الحدود . ويكون معنى ذلك أن الخطوط الطيفية لانهائية لعددها ، وأنه اذا سرنا من الطرف الاحمر نحو البنفسجي فان الخطوط يزداد بعضها قريباً الى بعض حتى تبلغ غايتها عند الطول الموجي ٣٦٤٦,١٤

وتعرف المعادلة (١) بمعادلة « بالمر » وتعرف المتتالية التي تتكون عند استبدال الاعداد ٣ ٤ ٥ ٦ الخ بالحرف m بمتتالية « بالمر »^(٢) وقد تحقق في مبدىء الامر وجود هذه المتتالية بالنسبة الى تسعة خطوط طيفية كانت معروفة في طيف الايدروجين . وجاءت بعد ذلك المشاهدات الخاصة بطيف اشعاع الكرة اللونية من الشمس في أثناء الكسوف الكلى فشوهدت خطوط طيفية أخرى للايدروجين تحقق بها وجود نيف وثلاثين حداً من حدود المتتالية . وقد

وجد أن الخطوط الطيفية التي تتعين أطوالها الموجية وفقاً للمتتالية كلما قربت من حدها النهائي وزاد بعضها قرباً إلى بعض قلت شدتها

وينص في الوقت الحاضر على المتتالية الطيفية لا بالنسبة إلى الطول الموجي λ ، وإنما بالنسبة إلى مقلوب الطول الموجي (مقيساً بالسنتيمتر) ، أى بالنسبة إلى عدد الموجات في السنتيمتر الواحد وهو ما يسمى « العدد الموجي » ^(١) . فإذا رمز للعدد الموجي بالحرف σ فمعادلة « بالمر » المذكورة آنفاً تتحول إلى المعادلة الآتية

$$\sigma = 27418,75 - \frac{109675}{\lambda^2} \quad (2) \dots\dots\dots$$

وقد أجريت بعد أن كشف بالمر هذه المتتالية بحوث عدة أخرى لبيان ما إذا كانت الخطوط الطيفية في أطيف العناصر الأخرى منقادة هي أيضاً إلى مثل هذه المتتالية . وامتاز في هذا البحث ثلاثة « كايزر » ^(٢) و « رونج » ^(٣) و « ريدبرغ » ^(٤) . وأجرى الأول والثاني بحوثهما متضامنين . فدلّت نتائج هذه البحوث على أنه توجد في طيف العنصر الواحد ثلاث متتاليات هامة ، واحدة منها رئيسية وتسمى « المتتالية الرئيسية » ^(٥) والأخريان إضافيتان تسمى إحداهما « المتتالية الإضافية الأولى » ^(٦) أو المتتالية « غير الدقيقة » وتسمى الثانية « المتتالية الإضافية الثانية » ^(٧) أو « المتتالية الدقيقة » وهذه المتتاليات الثلاث يختلف بعضها عن الآخر فخطوط الأولى هي بوجه عام أوضح خطوط الطيف وأجلاها ، وهي قابلة للعكس بمعنى أنها تظهر مظلمة في طيف امتصاص المادة . والثانية خطوطها بوجه عام ليست دقيقة محدودة خلافاً للثالثة التي خطوطها رفيعة دقيقة . ومعادلة « كايزر » و « رونج » لتعيين هذه المتتاليات هي

$$\sigma = 1 - \frac{c}{\lambda^2} - \frac{c}{\lambda^4} \quad (3) \dots\dots\dots$$

(١) Wave Number (٢) Kaiser (٣) Runge (٤) Rydberg

(٥) Principal Series (٦) The First Subordinate Series أو The Diffuse Series

(٧) The Second Subordinate Series أو The Sharp Series

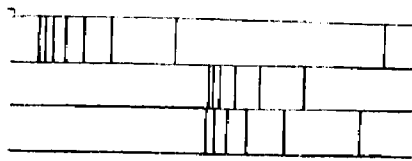
وفيهما α و β ح مقادير ثابتة وهى فى المتتالية الواحدة غيرها فى الاخرى وتختلف باختلاف العناصر، أما m فهو الذى تستبدل به الاعداد الطبيعية بمبتدئة من ٣ للحصول على حدود المتتالية . ففى حالة الصوديوم مثلاً تكون قيمات المقادير الثابتة α و β ح هى المدرجة فى الجدول الآتى

ح	ب	ا	المتتالية الرئيسية
٨٠٠٧٩١	١٣٠٢٣٣	٤١٥٤٣	
١٧٧	١١٠٥٨٥	٢٤٤٩٢	» الاضافية الاولى (غير الدقيقة)
١٩٧٨٩١	١٢٠٧٢٦	٢٤٥٤٩	» الثانية (الدقيقة)

ومعادلة « رديرغ » لتعيين هذه المتتاليات هى

$$n = 1 - \frac{r}{(m + w)^2} \dots \dots (٤)$$

وفيهما r مقدار ثابت يسمى « ثابت رديرغ » ^(١)، وهو يعتبر واحداً فى أطيايف جميع العناصر وقيمته العددية ١٠٩٦٧٥ والمقدار w مقدار ثابت ولكنه يختلف باختلاف العناصر ويختلف أيضاً باختلاف نوع المتتالية فى طيف العنصر الواحد، والمقدار m يمثل النهاية التى تنتهى اليها قيمة حدود المتتالية عند ما يكثُر عددها، أما المقدار m فتستبدل به الاعداد الطبيعية بمبتدئة من الواحد فى بعض الحالات، ومبتدئة من الاثنين فى الاخرى . ومعادلة رديرغ هى التى يعتمد عليها بوجه عام فى الوقت الحاضر وشكل (٣٢٤) يوضح كيفية توزيع خطوط المتتاليات



(شكل ٣٢٤)

الثلاثة بعضها بالنسبة الى الآخر، وفيه يمثل الصف الاعلى خطوط المتتالية الرئيسية، والاطول خطوط المتتالية غير الدقيقة، والصف الاسفل خطوط الدقيقة. والتحرك

من اليمين نحو اليسار بمثابة الانتقال من الطرف الاحمر نحو البنفسجى من الطيف، فيزداد العدد الموجى عند التحرك من اليمين نحو اليسار

وقد لوحظ في المتتاليات الثلاث أمران. أولهما أن القيمة النهائية التي تؤول إليها الحدود في المتتاليتين الإضافيتين عند ما يكثر عددها من غير حد واحدة، ويتضح هذا من الشكل حيث يلاحظ أن البعد بين كل خط وآخر في الصفين الثاني والثالث، يتضاءل ويقع في النهاية الخط الأخير في أحد الصفين على الخط الأخير في الثاني. والامر الثاني أن الفرق بين العدد الموجي للخط الأخير في المتتالية الرئيسية وبين العدد الموجي للخط الأخير المشترك في المتتاليتين الإضافيتين، هذا الفرق يساوى بالتقريب العدد الموجي لأول خط من خطوط المتتالية الرئيسية وجميع المعادلات المذكورة فيما سبق معادلات وضعية، غير أن البحوث الحديثة في تطبيق نظرية الكم أدت في الحالات البسيطة كطيف الايدروجين والهليوم الى نتائج وجدت متفقة وهذه المعادلات لا سيما معادلة روبرغ

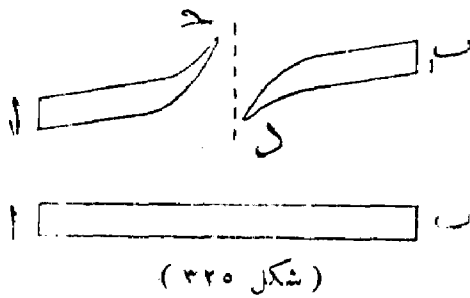
٤١٣ - التشتت الشاذ وقانون كوندت

عند انكسار الضوء خلال المواد الشفافة المألوفة كالزجاج أو الماء، يكون انحراف الأشعة الحمراء أقل من انحراف الأشعة البنفسجية، ويزداد انحراف الأشعة الأخرى من الطرف الأحمر الى الطرف البنفسجي بترتيب ورودها في الطيف، غير أن التجارب التي أجريت في المواد التي لها مناطق امتصاص خاصة في الجزء المرئي من الطيف بينت أن انحراف الأشعة ذات الألوان المختلفة في هذه المواد لا ينقاد الى النظام المذكور. فقد كشف «لرو»^(١) سنة ١٨٦٠ أنه اذا أنفذ الضوء الأبيض خلال منشور من بخار اليود كان انحراف الأشعة الحمراء اكبر من انحراف الأشعة الزرقاء، واذن كان معامل انكسار الأشعة الحمراء في بخار اليود اكبر من معامل انكسار الأشعة الزرقاء فيه. وأجرى «كرستيانزن»^(٢) بعد ذلك تجارب في تشتت الضوء في محلول الفوكسين في الكحول، واتخذ في هذه التجارب لوحين من الزجاج يميل أحدهما على الآخر بزاوية قدرها درجة. ووضع بينهما محلول الفوكسين. فكان التوتر السطحي كفيلا يجعله يعلق بينهما. فدلّت تجاربه على أن الأشعة البنفسجية أقل انحرافاً في منشور الفوكسين من الحمراء،

وعلى أن ترتيب ظهور الألوان في الطيف يتبدى بالبنفسجي ، فتليه منطقة امتصاص ثم الأحمر والبرتقالي والأصفر ، بترتيبها المألوف ، حيث يلاحظ أن محلول الفوكسين كما سبق ذكره (بند ٣٩٤) لا ينفذ خلاله المنطقة الخضراء من الطيف

ونظراً لأن تشتت الضوء في مثل هذه الحالات يختلف عن تشتته المألوف في المواد الشفافة كالزجاج والماء ، سمي ذلك التشتت « التشتت الشاذ » (١)

وقد توسع « كوندت » (٢) في البحث في ظاهرة التشتت الشاذ ونشر بحوثه في هذا الموضوع سنتي ١٨٧١ و ١٨٧٢ . وتابع في تجاربه طريقة « نيوتن » المعروفة بطريقه المنشورين المتعامدين ، فاتخذ منشوراً من الزجاج ومنشوراً من المادة التي يراد دراسة تشتت الضوء فيها ، وجعل حرفي المنشورين متعامدين . فمثلاً إذا وضع المنشور الزجاجي وحرفه الحارفي رأسياً بحيث يحرف الأشعة ويشتها في مستوى أفقي ، يجعل الحرف الحارفي للثاني أفقياً بحيث يحرف الأشعة ويشتها في اتجاه رأسى . فإذا كان الطيف الأفقي أ ب (شكل ٣٢٥) يحدث بفعل المنشور الزجاجي وكان طرفه الأحمر عند أ والبنفسجي عند ب ، ووضع المنشور الثاني وحرفه الحارفي



(شكل ٣٢٥)

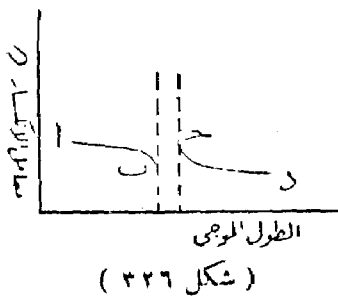
أفقي ومشير إلى أسفل ، فإنه يحرف الطرف الأحمر أ إلى أعلى بمقدار أقل من حرفه الطرف البنفسجي ب إلى أعلى ويحرف الأشعة الأخرى ما بين هـ ب بمقادير تزداد قيمتها كلما سرنا من أ نحو ب ،

فيظهر الطيف الحادث بفعل المنشورين كشريط أحد طرفيه أ ، والآخر ب . هذا إلا إذا كان تشتت الضوء في المنشور الثاني من قبيل التشتت الشاذ ، ففي هذه الحالة لا يظهر الطيف أ ب متصلاً لوجود منطقة امتصاص ، ولا يزداد انحراف الأشعة بفعل المنشور الثاني إلى أعلى ، ازدياداً مطرداً إذا سرنا من الطرف الأحمر نحو البنفسجي

وقد دلت تجارب كوندت على أن ظاهرة التشتت الشاذ تحدث عند نفوذ الضوء في منشور من مادة من ذوات اللون السطحي . وهي التي تعكس من الضوء الواقع على سطحها أشعة معينة

(ذات أطوال موجية معينة) عكساً خاصاً (انظر بند ١١١) وهذه المواد بوجه عام تمتص عند نفوذ الضوء فيها الأشعة التي تعكسها عكساً خاصاً ، ككثير من الصبغات الأنيلينية (١) فالتشتت الشاذ يحدث في المواد التي لها مناطق امتصاص في الجزء المرئي من الطيف . ودلت التجارب على أنه إذا ابتدأنا من الطرف الأحمر وسرنا نحو البنفسجي ، فالانحراف لا يزداد بالتدرج ، وإنما يزداد ازدياداً كبيراً شاذاً متى قربنا من منطقة الامتصاص . كذلك إذا ابتدأنا من الطرف البنفسجي وسرنا نحو الأحمر فالانحراف يقل متى قربنا من منطقة الامتصاص بكيفية شاذة أيضاً ، وذلك كما هو مبين تخطيطياً في شكل (٣٢٥) بالفرعين a ، b ، c ، d بالترتيب . وتعرف هذه النتيجة أحياناً بقانون كوندت

ومعنى هذا أن معامل انكسار الضوء في المادة التي يحدث فيها التشتت الشاذ لا يزداد ازدياداً تدريجياً مطرداً كلما نقص الطول الموجي (أوزاد تردد الضوء) كما يحدث في الزجاج مثلاً بل أن معدل هذه الزيادة يكبر بكيفية شاذة عند ما يقرب الطول الموجي للضوء من الطول الموجي الذي تمتصه المادة . وكذلك فإن معامل الانكسار لا ينقص نقصاً تدريجياً مطرداً كلما زاد الطول الموجي (أو قل تردد الضوء) بل أن معدل هذا النقص يكبر بكيفية شاذة عند ما يقرب الطول الموجي للضوء ، من الطول الموجي الذي تمتصه المادة . وتكون علاقة معامل الانكسار بالطول الموجي كما هو مبين تخطيطياً بالرسم البياني (شكل ٣٢٦) في الحالة الأولى حيث يديننا نقص الطول



الموجي من منطقة الامتصاص (المبين موضعها بالمستقيمين الرأسين المتقطعين) فالعلاقة بين معامل الانكسار والطول الموجي تكون كالمبينة بالمنحنى $d > c$. وفي الحالة الثانية حيث يديننا زيادة الطول الموجي من منطقة الامتصاص . فالعلاقة تكون

كالمبينة بالمنحنى a ب ويلاحظ أنه وإن كان معامل الانكسار ينقص تبعاً لزيادة الطول الموجي

(١) يستثنى « وود » من هذه القاعدة بعض الصبغات الأنيلينية مثل السيانيين (Cyanin) فهذه المادة منطقة امتصاص في الجزء الأصفر من الطيف وتنفذ خلالها الأشعة الأخرى في حين أنها تعكس أيضاً جميع الأشعة ذات الألوان المختلفة . عدا الواقعة في الجزء الأصفر من الطيف فالأشعة التي تعكسها تكاد لا تختلف عن الأشعة التي تنفذ فيها

في الحالتين فان معدل النقص يزداد ازدياداً كبيراً اذا كانت زيادة الطول الموجي تدنينا من منطقة الامتصاص حيث يكون تحذب المنحنى الدال على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجي مشيراً الى أعلى . أما اذا كانت زيادة الطول الموجي تبعدها عن منطقة الامتصاص ، فان معدل النقص يقل ، حيث يكون تحذب المنحنى الدال على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجي مشيراً الى أسفل

٢١٤ - بيان التشتت الشاذ عملياً

ليس من السهل دائماً بيان التشتت الشاذ عملياً . ولعل من أبسط الوسائل في ذلك أن يستخدم سبكتروسكوب معتاد ، ذو منشور من الزجاج . ويستبدل بالفتحة المستطيلة للمجمع ثقب مستدير . أو تقصر الفتحة المستطيلة المعتادة من طرفها حتى يبقى منها الجزء الأوسط ، ويصير عرضها مساوياً طولها فتقوم مقام الثقب . ثم تضاء بضوء ابيض شديد بحيث يرى الطيف المعتاد ممتداً من الطرف الاحمر نحو البنفسجي كخط أفقي من الضوء . ثم يؤتى بمنشور أجوف من الزجاج زاويته صغيرة (درجة أو اثنتان) ويملا بمحلول مركز جداً من المادة المراد اختبارها كمحلول السيانين في الكحول . ويوضع هذا المنشور بين عدسة المجمع وبين المنشور الزجاجي أو بين هذا وبين شبيثة التلسكوب ، بحيث يكون حرفه الحارفي أفقياً ومشيراً الى أسفل . فيرى الطيف مزاحاً قليلاً الى أعلى ومنقسماً قسمين بينهما منطقة مظلمة هي منطقة امتصاص المادة ، والقسم الذي أحد طرفيه أحمر يرى طرفه القريب من منطقة الامتصاص مقوساً الى أعلى والقسم الآخر الذي أحد طرفيه بنفسجي يرى طرفه القريب من منطقة الامتصاص مقوساً الى أسفل ويظهر الطيف شديداً بالجزءين ا ، ح ٦ د ب ، شكل (٣٢٥)

٤١٥ - النظرية الالكترونية في التشتت

الفكرة الأساسية في النظرية تتلخص في أن الالكترونات في الأجسام العازلة مقيدة بذرات المادة ، ولكنها قابلة للازاحة عن مواضعها اذا أثرت فيها قوة كهربائية ، أى اذا وضعت المادة في

مجال كهربائي . ثم هي اذا أزيحت عن مواضعها فإن القوة المقيدة لها والتي تعمل لارجاعها الى مواضعها الاولى تتناسب ومقدار الازاحة ، فتكون الالكترونات اذن قابلة لأن تتحرك حركة دورية بسيطة ذات مدة معينة تتعين بمقدار كتلة الالكترون ، وبمقدار القوة التي تؤثر فيه عند ما تكون ازاحته الوحدة . وحر كته هذه تسمى الاهتزازة الطبيعية للالكترون . فاذا رمزنا لازاحة الالكترون في لحظة ما بالحرف s وكتلته بالحرف m والقوة التي تؤثر فيه (وتعمل لارجاعه الى موضعه الاول) عند ما تكون ازاحته الوحدة بالحرف n ، فإن معادلة حركته الطبيعية تكون

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = - n^2 s$$

واذن مدة اهتزازته الطبيعية أو مدة اهتزازته المطلقة ^(١) كما تسمى أحياناً تكون

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{n}}$$

أما اذا أثرت في الالكترون قوة كهربائية مترددة ، كما يحدث مثلاً بتأثير المجال الكهربائي المتردد في الموجات الضوئية ، حدث في الالكترون اهتزازة « قسرية » ^(٢) تكون مدتها كمدة الدورة في القوة المؤثرة لا كمدة الاهتزازة الطبيعية للالكترون

ولتطبيق هذه الفروض لشرح التشتت أى لبيان العلاقة بين معامل انكسار الضوء في المادة وبين تردده أو طول له الموجى ، نعود الى النتيجة التى تفضى اليها النظرية المغناطيسية الكهربائية فيما يتعلق بمعامل انكسار الضوء وهى أن معامل انكسار الضوء في المادة يساوى الجذر التربيعى لمعامل العازل لهذه المادة ، ونبحث أولاً عن قيمة معامل العازل على فرض وجود هذه الالكترونات عند ما يؤثر فى العازل مجال كهربائى ثابت ثم نبحث عما يؤول اليه قيمة معامل العازل عند ما يكون المجال الكهربائى متردداً كما هو الحال فى الموجات الضوئية

٤١٦ - إيجاد معامل العازل وفقاً للنظرية الألكترونية

فاذا فرضنا مثلاً أن مكثفاً ذا صفيحتين متوازيين بينهما فراغ قد شحنت إحدى صفيحتيه

بشحنة موجبة ، والأخرى بشحنة سالبة تساويها ورمزنا لشدة المجال الكهربائي في الفراغ بينهما بالرمز مك_1 ، فمن المعلوم أنه إذا وضع عازل بين الصفيحتين صارت شدة المجال عند وجود العازل أقل منها في الفراغ ، فإذا رمزنا لشدة المجال عند وجود العازل بالرمز مك_2 ورمزنا لمعامل العازل بالحرف ϵ . يكون

$$\text{مك}_2 = \frac{1}{\epsilon} \text{مك}_1 \dots \dots \dots (٢)$$

وإذا رمز لشحنة الإلكترون بالحرف $ش$ تكون القوة الكهربائية المؤثرة في الإلكترون

مساوية

$ش \text{ مك}_2$

وهذه القوة تحدث ازاحة في الإلكترون ، فإذا رمز لها بالحرف $س$ كانت

$$ش \text{ مك}_2 = س \dots \dots \dots (٢)$$

ونظراً لأن شحنة الإلكترون سالبة وعلى فرض أن القوى المقيدة للإلكترونات جميعها

(أى قيمة $س$ لها جميعاً) متساوية ، فإن وجود العازل بين صفيحتي المكثف يجعل جميع الإلكترونات الموجودة في العازل تزاح نحو الصفيحة الموجبة بمقدار $س$. وبما أن جزيئات العازل في حاله تعادل كهربائى ، فازاحة الإلكترون في جهة مقرون بظهور شحنة موجبة في الجهة المضادة ، واذن تؤول ازاحة الإلكترونات الى ظهور طبقة من الشحنة السالبة على سطح العازل المجاور للصفيحة الموجبة ، وأخرى من الشحنة الموجبة ، مساوية لها ، على سطح العازل المجاور للصفيحة السالبة . هذا مع استمرار بقاء باطن العازل في حالة تعادل كهربائى . ويحدث من جراء ظهور هاتين الشحنتين السطحيّتين مجال كهربائى مضاد للمجال الكهربائى الاصلى ، أى الذى كان موجوداً في الفراغ . فإذا رمزنا لعدد الإلكترونات في وحدة الحجم بالحرف $ع$ ، فإن الشحنة السطحية التى تظهر على وحدة المساحة من سطح العازل تكون $ش ع س$. واذن شدة المجال الحادث عن ظهور هاتين الشحنتين تكون مساوية $ع ط ش ع س$ ، وبما أن هذا المجال مضاد للمجال الاصلى تكون شدة المجال عند وجود العازل مساوية

$$\text{مك}_1 - ع ط ش ع س$$

$$\text{مك}_2 = \text{مك}_1 - ع ط ش ع س \dots \dots \dots (٣)$$

وبالتعويض من (٢) ينتج أن

$$مك_٢ = مك_١ - \frac{٤ ط ش^٢ ع}{٥ مك}$$

وبالقسمة على مك_٢ ينتج أن

$$\frac{مك_١}{مك_٢} - \frac{٤ ط ش^٢ ع}{٥ مك_٢} = ١$$

ومنه يتضح أن معامل العازل

$$ك = ١ + \frac{٤ ط ش^٢ ع}{٥} \dots \dots \dots (٤)$$

٤١٧ - إيجاد معامل انكسار الضوء وفقاً للنظرية الألكترونية

أما إذا كان المجال المؤثر في الالكترونات مترددا كما هو الحال عند وقوع الضوء على العازل ورمزنا لشدة هذا المجال في أية لحظة بالرمز مك ولمدة الدورة بالرمز ط فإن

$$مك = مك \cdot حا \frac{٢ ط}{٥}$$

حيث تكون مك قيمة النهاية العظمى لشدة المجال الكهربائي ، ويلاحظ أن ط تكون مدة الدورة في الضوء الواقع على العازل . فاذا رمزنا للبقدار $\frac{٢ ط}{٥}$ بالحرف و ، ينتج أن القوة الكهربائية المؤثرة في الالكترون من جراء وقوع الضوء عليه تكون مساوية

$$ش مك = ش مك \cdot حا و$$

فتصير معادلة حركة الالكترون في هذه الحالة هي

$$ش مك \cdot حا و + ش مك \cdot حا و = \frac{س^٢ و}{٢ مك} \dots \dots \dots (٥)$$

وهذه معادلة تفاضلية يمكن حلها واستخراج قيمة الازاحة س في أية لحظة ويمكن الحصول على هذه القيمة متى تذكرنا أن الالكترون يتحرك تحت تأثير القوة

الكهربائية المترددة حركة قسرية مدتها مساوية مدة تردد تلك القوة فقيمة الازاحة تكون بوجه عام طبقاً للمعادلة

$$s = a \cos \omega t + b \sin \omega t \dots (٦)$$

حيث تكون كل من a و b مقداراً ثابتاً، يمكن تقديره بالتعويض في المعادلة (٥).

فمن المعادلة (٦) ينتج أن

$$\frac{s}{\cos \omega t} = a + b \tan \omega t$$

$$\frac{s^2}{\cos^2 \omega t} = a^2 + b^2 \tan^2 \omega t + 2ab \tan \omega t$$

فبالتعويض في المعادلة (٥) ينتج أن

$$- \frac{1}{2} \omega^2 a^2 \cos^2 \omega t - \frac{1}{2} \omega^2 b^2 \sin^2 \omega t + \omega^2 ab \sin \omega t \cos \omega t = - \frac{1}{2} \omega^2 s^2$$

فاذا كان المقدار $\frac{1}{2} \omega^2 s^2$ مساوياً $\frac{1}{2} \omega^2$ ينتج أن

$$- \frac{1}{2} \omega^2 a^2 \cos^2 \omega t + \frac{1}{2} \omega^2 b^2 \sin^2 \omega t = - \frac{1}{2} \omega^2 s^2$$

ومنه ينتج أن

$$\frac{s^2}{a^2 \cos^2 \omega t + b^2 \sin^2 \omega t} = 1$$

كذلك اذا كان المقدار $\frac{1}{2} \omega^2 s^2$ مساوياً صفراً ينتج أن

$$- \frac{1}{2} \omega^2 a^2 \cos^2 \omega t + \frac{1}{2} \omega^2 b^2 \sin^2 \omega t = 0$$

ومنه ينتج أن

$$b = a \cos \omega t$$

الا اذا كان $\frac{1}{2} \omega^2 s^2$ مساوياً $\frac{1}{2} \omega^2$

اذن تكون قيمة الازاحة في أية لحظة هي

$$s = a \cos \omega t \dots (٧)$$

وبما أن $r = \frac{ط^2}{ف}$ باعتبار أن مدة الدورة في المجال الكهربائي أو مدة الدورة في الضوء

$$٦ \frac{ف^2}{ط^2} = \frac{ع}{٥} \quad (\text{أنظر صفحة ٦٥٠})$$

باعتبار أن مدة الاهتزاز الطبيعية للالكترود ، ينتج بالتعويض في المعادلة (٧) أن

$$٥ = \frac{ش مك}{\left(\frac{١}{ف} - \frac{١}{ف_٢}\right) ط^٢} \quad \text{ح ا و ن (٨)}$$

وبما أن علاقة شدة المجال في العازل (وهي مك_٢) بشدة المجال في الفراغ (وهي مك_١) هي طبقاً للمعادلة (٣) وهي

$$مك_٢ = مك_١ - ط ش ع س$$

ف شدة المجال في العازل في أية لحظة في الحالة التي نحن بصددناها هي مك_٢ = مك_١ ح ا و ن

$$٦ مك_١ = مك_٢ ح ا و ن$$

ينتج بالتعويض في المعادلة (٣) عن مك_٢ ٦ مك_١ قيمتهما المذكورتين وعن س قيمتهما من

المعادلة (٨) أن

$$\frac{مك_١ ح ا و ن}{\left(\frac{١}{ف} - \frac{١}{ف_٢}\right) ط^٢} - ط ش ع س = مك_١ ح ا و ن$$

ومنه ينتج أن

$$١ = \frac{ط ش ع س}{\left(\frac{١}{ف} - \frac{١}{ف_٢}\right) ط^٢} + ١$$

وباعتبار أن $م$ معامل انكسار الضوء ، إذن

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)} + 1 = \frac{1}{r_2} \quad (9)$$

والتردد الطبيعي للالكترونات هو تردد الضوء الذي تمتصه المادة امتصاصاً خاصاً أو تشعه هي لو كانت في حالة اشعاع فاذا رمزنا للطول الموجي في الفراغ للضوء الذي تمتصه المادة امتصاصاً خاصاً بالرمز r ، ولسرعة الضوء في الفراغ بالحرف c ، فإن

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{c}$$

كذلك اذا رمزنا للطول الموجي في الفراغ للضوء الواقع على المادة بالحرف r ، فإن

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{c}$$

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

$$(10) \dots \dots \frac{1}{\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)} + 1 = \frac{1}{r_2}$$

٤١٨ - شرح التشتت

ومن هذه المعادلة يتضح أن معامل انكسار الضوء يتوقف على قيمة r أى على الطول الموجي للضوء ، فهو يختلف باختلاف الطول الموجي . وهذا ما يدعو الى حدوث التشتت . أما كيفية تغير معامل الانكسار بتغير الطول الموجي فتتوقف لا على قيمة الطول الموجي للضوء فحسب بل على قيمة الطول الموجي للضوء (أو بوجه عام للاشعاع) الذي تمتصه المادة امتصاصاً خاصاً . فاذا فرضنا أن r (الطول الموجي للضوء) أكبر كثيراً من r_1 (الطول الموجي الذي تمتصه المادة) فإن المقدار

$$\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}$$

يكون مساوياً الواحد بالتقريب ويكون معامل الانكسار طبقاً للمعادلة

$$n^2 = 1 + \frac{4\pi N}{\omega^2} \epsilon$$

وتنطبق هذه النتيجة على ما يستنبط رأساً من المعادلة (٤) التي يتعين بها قيمة معامل العازل عند ما يكون المجال الكهربائي ثابتاً غير متردد

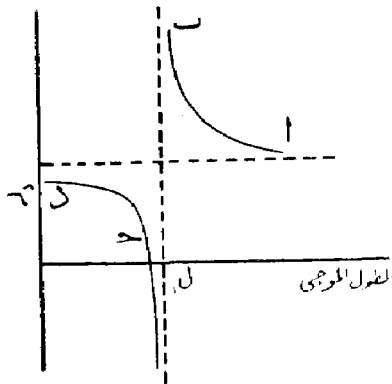
ولكن اذا قلت قيمة n بحيث تدنو من قيمة n_0 كما يحدث اذا سرنا نحو الطرف البنفسجي من الطيف مقترين من منطقة الامتصاص، فالمقدار

$$\frac{n^2}{n^2 - n_0^2}$$

يزداد بسرعة . وتكون نتيجة ذلك أن معامل الانكسار يزداد حتى اذا صار

$$n = n_0$$

صار معامل الانكسار لانهائياً . ويتضح هذا من الرسم البياني بشكل (٣٢٧) حيث تمثل علاقة n^2 بالطول الموجي، بالمنحنى a بحيث اذا نقص الطول الموجي للضوء مقترباً من قيمة n_0



(شكل ٣٢٧)

يزداد مربع معامل الانكسار بالكيفية المبدئية بالمنحنى a حيث يلاحظ أن معدل الزيادة يزداد كلما قربت قيمة الطول الموجي للضوء من قيمة n_0 حتى اذا صار مساوياً n_0 صار معامل الانكسار لانهائياً

أما اذا كان الطول الموجي للضوء (n) أصغر من

الطول الموجي الذي تمتصه المادة (n_0) فقيمة مربع معامل

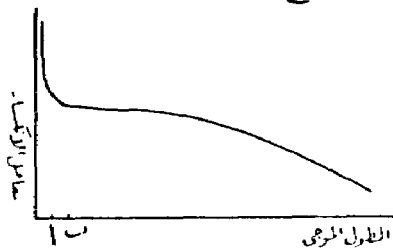
الانكسار (المعادلة ١٠) تكون أقل من الواحد، وكلما نقص الطول الموجي للضوء قربت قيمة معامل الانكسار من الواحد . حتى اذا صار الطول الموجي صفراً صار معامل الانكسار

مساوياً الواحد وعلاقة n^2 بالطول الموجي للضوء في هذه الحالة تمثل بالمنحنى b (شكل ٣٢٧)

ومنه يتضح أن نقص الطول الموجي للضوء مع الابتعاد عن منطقة الامتصاص يزيد في مربع معامل الانكسار ولكن معدل الزيادة يقل كلما نقص الطول الموجي

كما أن معامل الانكسار للموجات التي طولها أصغر قليلاً من الطول الموجي الذي تمتصه المادة يكون أصغر كثيراً من معامل الانكسار للموجات التي طولها أكبر قليلاً من الطول الموجي الذي تمتصه المادة . ويتضح من الشكل أيضاً أنه إذا كان الطول الموجي للضوء أصغر قليلاً من الطول الموجي الذي تمتصه المادة ولكنه يكاد يساويه فإن مربع معامل الانكسار يكون مقدراً سالباً أي أن معامل الانكسار يكون تخيلياً فكأن المادة في هذه الحالة لا تنفذ الضوء بتاتاً

هذه النتائج متفقة ونتائج البحوث التي أجريت في ظاهرة التشتت الشاذ بل أن نتائج النظرية الالكترونية تبين أن ما سمي شذوذاً في التشتت هو القاعدة ، فالتشتت المألوف الذي يحدث في الاجسام الشفافة كالماء أو الزجاج مثلاً حيث يزداد معامل الانكسار كلما نقص الطول الموجي ويزداد معدل الزيادة في أثناء ذلك ، هو جزء من كل يمثل بالمنحنى ا ب (شكل ٣٢٧) ويكون على حسب النظرية دالاً على أن نقص الطول الموجي يدنى من منطقة امتصاص ، فهو يدل على وجود منطقة امتصاص فيما بعد البنفسجي من الطيف كما هو الواقع في هذه المواد . ولم تدل التجارب العملية على أن هناك مواداً شفافة يتغير فيها مربع معامل انكسار الضوء تبعاً لتغير الطول الموجي بالكيفية المبينة بالمنحنى ح د . ولكن يلاحظ في هذه الحالة أن معامل الانكسار ولو أنه يقل تبعاً لزيادة الطول الموجي فإن معدل النقص يزداد ، وزيادة الطول الموجي هنا يدنى من منطقة الامتصاص فلو كانت المادة الشفافة خط امتصاص أو شريط امتصاص بعيدة فيما دون الاحمر ، فإن معامل الانكسار للاطوال الموجية الطويلة ينتظر أن يتغير بمثل هذه الكيفية المبينة بالخط المنحنى د ح إذا قربنا من خط الامتصاص أو شريط الامتصاص ، فيكون تحذب المنحنى الدال على علاقة مربع معامل الانكسار بالطول الموجي مشيراً الى أعلى لا الى أسفل . وقد دلت التجارب التي أجريت لتعيين معامل انكسار المواد الشفافة مثل الفلوريت والكوارتز والملح الصخري والسليمت على



(شكل ٣٢٨)

أن المنحنى الدال على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجي وإن كان تحديه مشيراً الى أسفل في الجزء المرئي من الطيف فإنه إذا تجاوزت التجارب الجزء المرئي الى ما دون الاحمر يتغير تحذب المنحنى ويصير مشيراً الى أعلى وشكل (٣٢٨)

يوضح علاقة معامل الانكسار بالطول الموجي للفلوريت ، حيث امتدت التجارب الى حوالى الطول الموجى المساوى ٠.٠٠١ من السنتيمتر . فالجزء المرئى من الطيف محصور بين النقطتين ١ و ٦ وعنده يرى تحذب المنحنى مشيراً الى أسفل ، أما بالنسبة الى الاطوال الموجية الكبيرة فالمنحنى يتغير بحيث يصير تحذبه مشيراً الى أعلى

ويلاحظ فى استنباط المعادلة (٩) أنه فرض أن للالكترونات جميعها اهتزازة طبيعية معينة ذات تردد معلوم . ولكن قد تكون هناك فئات مختلفة من الالكترونات يختلف بعضها عن الآخر فى التردد ، فتكون للمادة مناطق امتصاص عدة . وفى هذه الحالة تعدل المعادلة (٩) بحيث يتكرر الحد الثانى من الطرف الأيسر بعدد فئات الالكترونات ، حيث تختلف هذه الحدود المتكررة بعضها عن الآخر تبعاً لاختلاف ϵ ، ولاختلاف عدد الالكترونات لكل فئة لأن الالكترونات جميعها ذات كتلة واحدة وشحنة واحدة ، فتتحول المعادلة الى الصورة الآتية

$$\frac{\epsilon_2}{\left(\frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_2^0}\right)} + \frac{\epsilon_2}{\left(\frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_2^0}\right)} + \frac{\epsilon_1}{\left(\frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_1^0}\right)} + 1 = \epsilon_2$$

ويمكن وضعها فى الصورة الآتية

$$\epsilon_2 = 1 + \frac{\epsilon_2}{\left(\frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_2^0}\right)} \quad \dots \dots (11)$$

٤١٩ - الانعكاس والامتصاص المقرونان بالقششت الشاذ

بالرجوع الى المعادلة (٨) فى البند السابق وهى التى تتعين منها قيمة الازاحة الحادثة فى الالكترونات بفعل المجال الكهربائى فى الموجة الضوئية ، يتضح أن النهاية العظمى لهذه الازاحة تكون

$$\frac{\epsilon_2}{\left(\frac{1}{\epsilon_2} - \frac{1}{\epsilon_2^0}\right)} \epsilon_2$$

ويساوى هذا المقدار اتساع الاهتزازة القسرية الحادثة في الالكترترو بفعل الموجة الضوئية فاذا اتفق ان كان تردد الضوء والتردد الطبيعى للالكترترو متساويين ، فان اتساع الاهتزازة يكون (نظرياً) لا نهائياً ، فيحدث رنين شبيه بالرنين المألوف حدوثه في الصوت . وفي هذه الحالة تنقاد الالكترتونات انقياداً تاماً للمجال الكهربائى ، فتصبح الالكترتونات في العازل كأنها ليست مقيدة ، واذن يبطل الفرق المفروض على حسب النظرية الالكترونية بين العازل وبين الموصل . فاذا كان الامر كذلك أصبح للعازل في هذه الحالة صفة الموصل ، ومن المعروف عن الموصلات التى هى جيدة التوصيل للكهربائية أنها جيدة العكس ^(١) أيضاً وسبب ذلك أن تحرك الالكترتونات المطلقة في الموصل يعمل في تساوى جهده الكهربائى أى يؤدي الى انعدام المجال الكهربائى في الموصل ، فيتلاشى المجال الكهربائى المتردد في الموجة الضوئية داخل الموصل ، أى لا ينفذ الضوء الى داخله ، وانما ينعكس . واذن عند حدوث الرنين المذكور يعمل العازل عمل الموصل من هذه الوجهة فيعكس الضوء الذى تردده مساو لتردد الطبيعى للالكترتونات عكساً تاماً كما يدث في حالة الموصل . وهذا تعليل حدوث ظاهرة التشتت الشاذ في الاجسام ذات اللون السطحي ، وهى التى تعكس اشعاعاً ذا طول موجى معين عكساً شديداً

ولكن أغفل في النظرية الالكترونية في التشتت عامل قد يكون له تأثير كبير عند حدوث الرنين المذكور أى عند ما يزداد اتساع الاهتزازة القسرية ازدياداً كبيراً وتزداد أيضاً النهاية العظمى لسرعة حركة الالكترتونات . وهذا العامل هو المقاومة . فاذا فرض أن هناك مقاومة تقاوم حركة الالكترتونات وتزداد تبعاً لزيادة سرعتها ، فان اتساع الالكترتونات يكون له حد يقف عنده ، فلا يبلغ الاتساع القيمة النهائية المذكورة كما لو كانت قوة المقاومة معدومة البتة وينشأ عن وجود المقاومة امران . أحدهما أن انعكاس الضوء الذى تردده يتفق والتردد الطبيعى للالكترتونات لا يكون تاماً . وثانيهما أن الطاقة الضوئية التى لا تنعكس وتنفذ ، تستنفد في الشغل المبذول لتحريك الالكترتونات ضد قوى المقاومة المذكورة ، فكأن هذه الطاقة تمتصها المادة ولا تكاد تنفذ فيها . والى هذا يرجع السبب في أن ظاهرة التشتت الشاذ تحدث

(١) انظر الباب الخامس عشر فيما يختص بالتجارب العملية لبيان ذلك

بالقرب من منطقة امتصاص ، وهي مقرونة بحدوث الامتصاص الخاص
واغفال قوى المقاومة في استنباط معادلة التشتت وهي التي تدل على علاقة معامل الانكسار
بالطول الموجي للضوء ، يجعل هذه المعادلة غير صحيحة بالنسبة الى الضوء الذى موضعه في الطيف
ينطبق على موضع خط الامتصاص أو شريط الامتصاص للمادة ، أى أن المعادلة المذكورة
تبين علاقة معامل الانكسار بالطول الموجي ما دام الطول الموجي أطول أو أقصر من الطول
الموجي لخط الامتصاص أو ما دام خارج حدى شريط الامتصاص

٤٢٠ - معادلة كوشى وسامير في التشتت

والنظرية الالكترونية التي استنبطنا على أساسها معادلة التشتت التي راعيناها فيما سبق ، قد
سبقها بحوث لشرح التشتت كانت مبنية على أساس نظرية الصلب المرن استنبطت منها
معادلات تدل على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجي . ومن أسبق هذه البحوث بحث نشره
« كوشى » ^(١) سنة ١٨٣٥ ، بين فيه أن سرعة انتشار الموجة لا تكون مرتبطة بالطول الموجي
إذا كان الطول الموجي كبيراً جداً بالنسبة الى الازاحة الحادثة في دقائق الوسط المتموج . أما
إذا كانت الازاحة لا يغفل قدرها بالنسبة الى الطول الموجي ، فإن سرعة الموجة تتوقف على
الطول الموجي ، وذهب كوشى الى أن الازاحة الحادثة في الاوساط الشفافة التي ينكسر فيها الضوء
كبيرة لا يصح اغفالها بالنسبة الى الطول الموجي ، واستنبط معادلة تدل على العلاقة بين معامل
الانكسار والطول الموجي ، تعرف بمعادلة « كوشى » وتنص على أن

$$m = 1 + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4} + \dots$$

باعتبار أن m رمز لمعامل الانكسار λ للطول الموجي λ ، b ، c ، $\dots$ مقادير ثابتة
ومعادلة كوشى هذه يضح أن تتخذها دالة على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجي في حالة
الاجسام الشفافة المألوفة كالزجاج والماء . فإذا رمز للبقدار

$$\frac{4\pi^2}{\lambda^2}$$

في المعادلة (١٠) بند (٤١٧) بالحرف ν فإن هذه المعادلة تفضى الى الصورة الآتية

$$1 - \left(\frac{\lambda^2}{\lambda_0^2} - 1 \right) \nu + 1 = \nu^2$$

فاذا كان الطول الموجى للضوء (وهو λ) كبيراً جداً بالنسبة الى الطول الموجى الذى تمتصه المادة (وهو λ_0) ، أمكن بتطبيق النظرية ذات الحدين ، بيان أن المعادلة الاخيرة تفضى الى صورة معادلة كوشى المذكورة ، ومن هذا يتضح أن معادلة « كوشى » يمكن اعتبارها معادلة تقريبية يصح تطبيقها فى حالة الاجسام الشفافة المعتادة عند ما تكون منطقة الامتصاص الخاص بعيدة جداً فيما فوق البنفسجى من الطيف . ولكن لا تصح بحال من الاحوال لشرح التشتت الشاذ

فلما كشف ظاهرة التشتت الشاذ ، وضع « سلاير »^(١) سنة ١٨٧١ نظرية لشرحها بناها أيضاً على نظرية الصلب المرن . ولكنه ذهب الى أن جزيئات المادة الذى يحدث فيها الانكسار أو ذراتها قابلة للاهتزاز فادا حدثت فى الاثير الذى يحيط بها اهتزازة ضوئية ذات مدة معينة اهتزت هذه الجزيئات اهتزازة قسرية مدتها مساوية مدة الاهتزازة المؤثرة فيها . واذا اتفقت مدة الاهتزازة المؤثرة ومدة الاهتزازة الطبيعية للجزيئات ، حدث ما يشبه الرنين . وصار اتساع الاهتزازة كبيراً جداً . وهذه الفروض لا تختلف فى الجوهر عن الفروض التى قامت عليها النظرية الالكترونية فى التشتت ، وأدت فعلاً الى معادلة تدل على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى تعرف بمعادلة « سلاير » تنص فى صورتها البسيطة (باعتبار أن الجزيئات جميعها متشابهة وذات مدة طبيعية واحدة) على أن

$$\frac{\lambda^2}{\lambda_0^2 - \lambda^2} + 1 = \nu^2$$

باعتبار أن λ مقدار ثابت ، وهى معادلة متفقة ومعادلة التشتت التى استنبطت على أساس

النظرية الالكترونية