الباب الرابع عشر

التحليل الطيفى ونظـــرية التشتت

٣٨٩ — طرق الحصول على أطياف الاشعاع

أشرنا فى البـاب الخامس الى أن العناصر المختلفة تشع فى حالات معينة أضواء اذا حللت بوساطة سبكترسكوب مثلا ، تكونت لها أطياف تتميز بها العناصر بعضها عن الآخر. وتسمى أطياف الأضواء المتشعة من العناصر « أطياف الاشعاع »[1]. وللحصول عليها طرق ، الشائع منها أربع

(أولا) طريقة اللهب

وتصلح للحصول على أطياف بعض الفلزات ، وتتلخص فى ادخال ملح من املاح الفلز فى لهب مصباح بنزن . فاللهب يكاد لا يكون له لون ، فاذا أدخل الفلز فيه ، بخر وعم بخاره اللهب فيتلون اللهب بلون خاص ، ويكون الضوء المنبعث منـه هو المتشعع من الفلز الموجود فيه . وتصلح هذه الطريقة للحصول على أطياف اشعاع الصوديوم ، والباريوم ، والسيزيوم ، والكلسيوم ، والليثيوم ، والبوتاسيوم ، والروبديوم ، والسترنشيوم ، والثاليوم ، وذلك بادخال كلورورا تها فى اللهب

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

---

(١) Emission Spectra

الطريقة فى كثير من الحالات . ومن أبسط الوسائل التى تتبع عندئذ ، أن يأتى بانبوبة صغيرة من الزجاج ، مسدود أحد طرفيها ، وتملأ بمحلول مركز من الملح المراد اختبار طيف فلزه ، ويسد طرفها الآخر بخيوط من « الازبستوس »[1] أو بأسلاك رفيعة من البلاتين ، على هيئة فتيلة ، ويجعل الطرف الخارجى لهذه الفتيلة ناتئاً من الأنبوبة ، ويثنى قليلا بحيث اذا ثبتت الأنبوبة فى وضع رأسى وفتيلتها الى أسفل تكون الفتيلة ملامسة للهب وتمده باستمرار بالملح ، ومن المناسب اضافة قليل من حامض الكلوروديك أو أستات الامونيوم الى المحلول ، لكى يمتنع التحجر الذى قد يحدث فى طرف الفتيلة

(ثانياً) طريقة التفريغ الكهربائى

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

(ثالثاً) طريقة القوس الكهربائى

وتصلح للحصول على أطياف اشعاع العناصر الصلبة كالحديد ، والنحاس ، والالومنيوم ، والكادميوم ، والمغنزيوم ، والخارصين ، والفضة . وتتلخص هذه الطريقة فى الحصول على قوس كهربائى بين قطبين من مادة من هذه المواد بدلا من قطبين من الكربون كما هو المتبع عند استخدام القوس الفولتى المعتاد ويستحسن عند تطبيق هذه الطريقة للحصول على الطيف أن يكون التيار مستمراً وألا يكون شديداً جداً منعاً لصهر القطبين لا سيما القطب الموجب وهو الذى تكون درجة حرارته (شكل ٣٠٨)

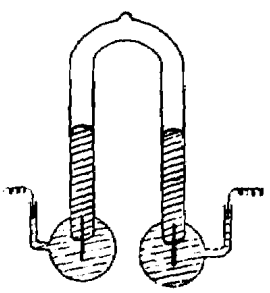
---

(٢) Asbestos

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 الكهربائى 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 يهيأ قوس فولتى بين قلمين رأسيين من الكربون ، ويجعل أسفلهما مقوراً مثقوباً ، ويوصل بوساطة أنبوبة من المطاط بمستودع به زئبق بحيث اذا رفع المستودع أو خفض ارتفع تبعاً لذلك سطح الزئبق فى القلم الكربونى المثقوب أو انخفض . ويجعل سطح الزئبق عند الطرف الاعلى للقلم الكربونى، حتى اذا حدث القوس الكهربائى، بخر الزئبق وانتشر بخاره فيما بين القلمين وأضاء القوس بالضوء البنفسجى المميز للزئبق

ويستعمل عادة للحصول على القوس الزئبقى جهاز كالمبين بشكل (٣٠٩) ويتركب من أنبوبة متسعة ذات شعبتين ، مسدود طرفاها وملتحم بكل واحد منهما سلك من البلاتين ، جزء منه فى 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 ويملأ زئبقاً ، عمله أن يمنع الى حد ما ارتفاع درجة الحرارة ارتفاعاً كبيراً ، ويوصل بوساطته التيار الكهربائى الى الزئبق الموجود داخل الانبوبة. ولاحداث القوس يوصل الزئبق فى الاناءين الخارجين بالمصدر الذى تستمد منه الكهربائية ، ثم تمال الأنبوبة لكى يتدحرج بضع قطرات من احدى الشعبتين الى الأخرى، فيتم اتصال الدائرة خلال الفراغ الاعلى فى الانبوبة ، وهو المشبع ببخار الزئبق ، فيضىء بضوء يتكون عند تحليله طيف الاشعاع للزئبق . ويعرف هذا الجهاز «بالمصباح الزئبقى» أو « القوس الزئبقى »[1] وينسب الى مخترعه « أرون »[2]



(شكل ٣٠٩)

---

(١) The Mercury Lamp (٢) Arons

وكثيراً ما يستعمل فى الصناعة وفى المعامل الطبيعية قوس زئبقى 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 ناتىء 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 ، فاذا أميلت الانبوبة قليلا بحيث تتدحرج 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 لان 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 ، توصيلا على التوازى بالفرجة التى تحدث فيها الشرارات (أنظر شكل ٣١٠) ، فالشرارة تكون اهتزازية ، ويكون الضوء الحادث شاملا ضوء اشعاع المعدن المصنوع منه حدا الفرجة

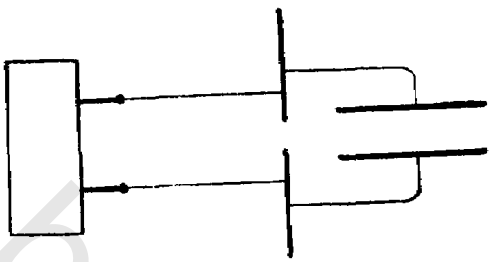
وتصلح هذه الطريقة للحصول على طيف اشعاع سائل أو محاول ، فيوضع السائل فى أنبوبة كانبوبة اختبار ، ملتحم فى قرارها الاسفل سلك من البلاتين يوصل بالطرف السالب

---

(١) Cooper-Hewitt

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

لملف رمكرف . وتدلى فى الانبوبة أنبوبة ضيقة من الزجاج مسدود طرفها الاسفل وملتحم به سلك من البلاتين ، وبالانبوبة قليل من الزئبق، وتثبت الانبوبة بحيث يكون طرف السلك البلاتينى قريباً من سطح السائل وبغمر فى زئبق الانبوبة سلك يوصل بالطرف الآخر للملف . وتكون الفرجة التى تحدث فيها الشرارات هى التى ما بين طرف السلك البلاتينى وبين سطح السائل . وتوصل هذه الفرجة توصيلا على التوازى بمكثف كما ذكر آنفاً



(شكل ٣١٠)

٣٩٠ — ضروب أطياف الاشعاع

أطياف 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 فى تنور كهربائى حتى تتألق) أو كطيف الضوء المنبعث من السلك المتألق فى مصباح كهربائى معتاد ، أو كطيف الضوء المنبعث من شمعة موقدة وما الى ذلك . وضرب منها يسمى « الطيف الشريطى »[٢] وهو يتكون من مناطق أو شرائط مضيئة فى مواضع مختلفة تتخللها ظلمة. واذا اختبرت المناطق المضيئة ترى فى الغالب محدودة بحد جلى عند أحد طرفيها وتقل شدة الاستضاءة فيها بالتدريج عند الطرف الآخر . واذا كان منشور السبكترسكوب أو محزوزه شديد التشتيت للضوء فقد توجد المنطقة الواحدة منها مكونة من خطوط عدة متقاربة يزداد تقاربها بعضها الى الآخر عند الطرف الحاد حتى تتلامس ، ويزداد تباعدها عند الطرف الآخر . وأطياف اشعاع المركبات من النوع الشريطى . ومن أمثلته طيف التفريغ الكهربائى فى غاز ثانى أكسيد الكربون المخلخل . والضرب الثالث يسمى « الطيف الخطى »[٣] وهو يتكون من خط أو عدة خطوط رفيعة مضيئة فى مواضع مختلفة . فطيف اشعاع الصوديوم مثلا طيف خيطى يتكون من خطين أصفرين متقاربين قد يظهران اذا لم تكن شدة تشتيت

---

(١) Continuous Spectrum (٢) Band Spectrum (٣) Line Spectrum

منشور السبكترسكوب كبيرة كخط مفرد ، وطيف الايدروجين طيف خطى يتكون ، كما سبق ذكره من ثلاثة خطوط واضحة ، أحدها أحمر والثانى أخضر أزرق والثالث بنفسجى . وقد يكون الطيف الخطى مقصوراً على الخطوط المضيئة فتتخلل هذه الخطوط ظلمة ، وقد يغشى هذه الخطوط طيف متصل ضئيل . والخطوط الطيفية يختلف بعضها عن الآخر فى الشدة . ومنها ما اذا اختبر بوساطة سبكترسكوب شديد التشتيت للضوء يوجد شبيهاً بالشرائط فى الطيف الشريطى غير أن بعضها تقل شدة الضوء فيه بالتدريج عند طرفيه ، وبعضها يكون محدوداً بحدين جليين عند طرفيه . ومن الخطوط الطيفية ما يظل خطوطاً رفيعة مهما كانت شدة التشتيت 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 مخلخلا ، فان زيادة ضغطه يجعل الخطوط الطيفية تتحول بالتدريج الى شرائط . حتى اذا زاد الضغط فوق ما يعادل الثلاثين أو الاربعين سنتيمترا من الزئبق صار الطيف متصلا . وارتفاع درجة الحرارة يجعل الخط الطيفى عريضاً . وان لنوع التفريغ الكهربائى تأثيراً فى الطيف فطيف الازوت الحادث عن التفريغ فى الانابيب المخلخلة عند توصيل قطبى الانبوبة بملف رمكرف معتاد يكون شريطياً . أما اذا استعمل ملف شديد ووصل بدائرته 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 ، فمتى عوير السبكترومتر أمكن ايجاد الطول الموجى لاى خط طيفى

وطريقة المعايرة أن يهيأ السبكترومتر للاستعمال بالطريقة المعتادة (بند ١٠٧) ويهيأ المنشور

بحيث تكون زاوية انحراف الخط الاكثر انحرافاً مثلا (أى الاقصر طولا 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 ثابتا ، 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 ايجاد 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 يكاديكون 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 مستقيما ولا يتطلب رسمه تعيين نقط كثيرة عليه

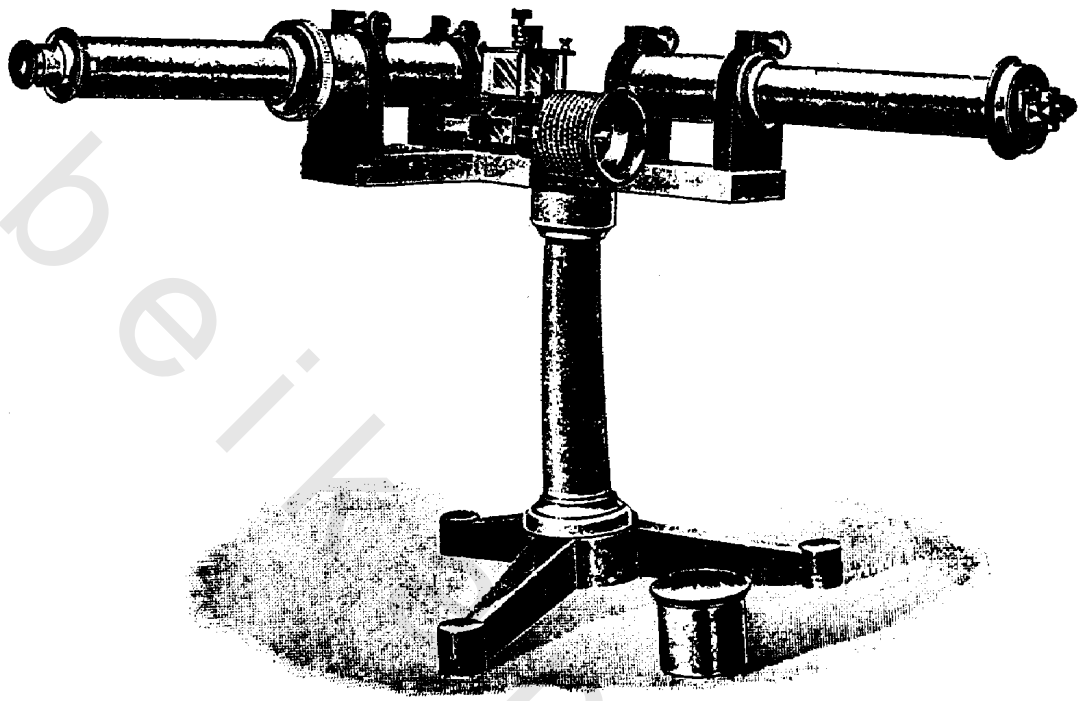
٣٩٢ — سبكترومتر الطول الموجى

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

---

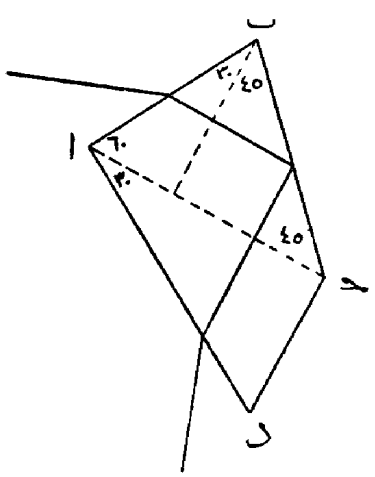
(١) Constant Deviation Spectrometer (٢) Adam Hilger

يمكن اعتباره مركباً من ثلاثة منشورات، زواياها كما هو مبين بالشكل فى اثنين منها زاوية رأس المنشور ٣٠ درجة، وفى 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 حـ ٤٥ درجة، ينعكس انعكاساً كلياً عند هذا السطح، ومسيره بعد الخروج من المنشور عمودى على مسيره الاول قبل وقوعه عليه . واذا كان الشعاع الساقط على السطح ا ب من الضوء الابيض فان الاشعة ذات الالوان المختلفة يتشتت بعضها عن الآخر عند الانكسار الحادث عند السطح ا ب ، ويمكن بادارة المنشور قليلا ، أن تجعل زاوية سقوط كل منها على السطح ب حـ مساوية ٤٥ درجة فتكون زاوية انحرافه عن مسيره الاول مساوية قائمة . واذن اذا كان السطح ا ب متجهاً نحو المجمع ، والسطح ا د نحو التلسكوب أمكن بادارة المنشور رؤية الاجزاء المختلفة من الطيف مع بقاء كل من المجمع والتلسكوب ثابتاً فى مكانه لا يبرحه

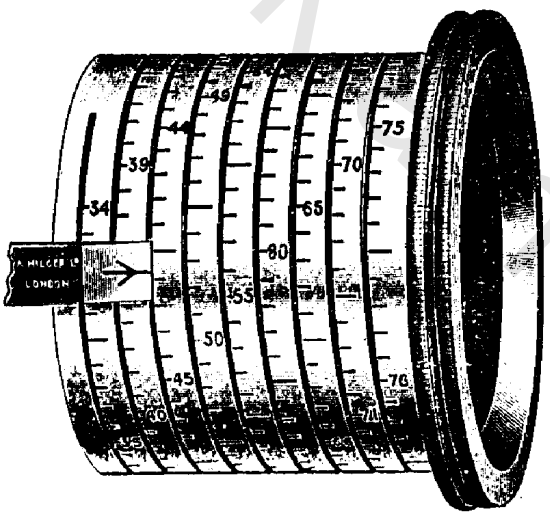


(شكل ٣١٢)

ويوضع المنشور على قاعدة قابلة للدوران بوساطة 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 أولا ، فيوضع المنشور على القاعدة المعدة له فى وضع مبين عليها ، وتضاء فتحة المجمع بضوء كضوء لهب الصوديوم مثلا (أو أى ضوء آخر فى طيفه خطوط معلوم أطوالها الموجية) ، ونظراً لان 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 بشىء من الحيطة حتى يرى هذا الخط منطبقاً على نقطة تقاطع الخيطين الموجودين فى العينية ، وهذان الخيطان مثبتان بحيث يمكن ازاحتهما فى مجال النظر قليلا فيتيسر اطباق الخط الطيفى على نقطة تقاطعهما أطباقاً تاماً . وعندئذ يثبت المنشور ، ويصير الجهاز معداً للاستعمال



(شكل ٣١٣)

فاذا أريد ايجاد الطول الموجى لاى خط فى طيف أى ضوء تضاء فتحة المجمع بهذا الضوء ، وينظر خلال التلسكوب ، ويدار رأس اللولب حتى يصير الخط الطيفى منطبقاً على نقطة تقاطع الخيطين فى العينية ، فتكون القراءة ازاء الدليل دالة على الطول الموجى المطلوب

٣٩٣ — كيفية دراسة الامتصاص عملياً

المواد التى يخترقها الضوء تمتص بوجه عام جانباً من الضوء النافذ فيها ، فالماء مثلا وهو من أشف المواد المعروفة اذا كان مقطراً ، يمتص اذا اخترق الضوء طبقة سميكة منه ، جانباً من الاشعة الحمراء ، فيكون لونه بالضوء 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 أثر امتصاصها .

ويميز عادة بين نوعين من الامتصاص أحدهما يسمى « الامتصاص العام »[١] حيث تمتص المادة الأضواء ذات الألوان المختلفة التى تنفذ فيها بنسبة تكاد تكون واحدة فيها جميعاً ، أو اذا اختلفت لا يكون اختلاف كبير بينها . والثانى نسميه « الامتصاص الخاص »[٢] حيث تنتقى المادة أضواء ذات ألوان معينة فتمتصها بشدة دون غيرها

والطريقة المتبعة عادة لدراسة الامتصاص أن يهيأ سبكترسكوب أوسبكترومتر لرؤية طيف الضوء الأبيض الصادر من مصباح كهربائى أوقوس فولتى ، ويجعل فى سبيل الضوء الواقع على فتحة المجمع ، الجسم المراد اختبار امتصاصه . فاذا كان له امتصاص خاص يرى طيف الضوء الأبيض وقد تجرد من الأضواء التى يمتصها الجسم ، فتظهر مواضع هذه الاضواء فى الطيف مظلمة ، فى حين أن الاضواء الاخرى التى لا يمتصها الجسم تظهرفى مواضعها . والذى يرى فى هذه الحالة هو طيف الضوء الابيض وقد تخللته مناطق مظلمة هى مناطق امتصاص المادة ويسمى الطيف « طيف امتصاص المادة »[٣] تمييزاً له عن « طيف الاشعاع »

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

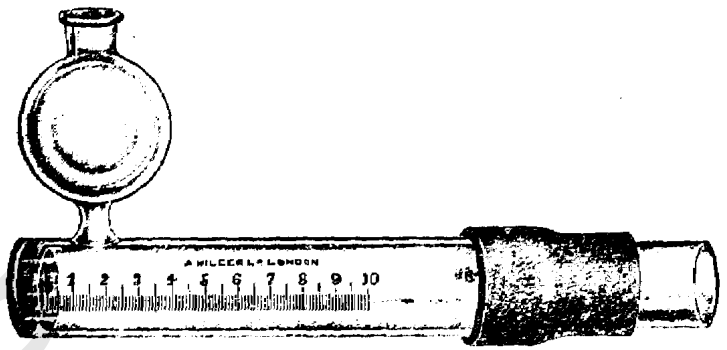
---

(١) General Absorption

(٢) Selective Absorption

(٣) The Absorption Spectrum

كما هو مبين بالشكل ، لا يتسرب منها السائل ، ويثبت الاناء بحيث يكون محور الانبوبتين أفقياً ويكون المستودع الى أعلى ، وبحيث ينفذ الضوء الواقع على فتحة المجمع فى استقامة المحور. فاذا ملىء المستودع بالسائل كان السمك الذى يخترقه الضوء هو البعد بين الطرف المسدود للانبوبة الداخلية والطرف المسدود للخارجية



(شكل ٣١٤)

ولدراسة امتصاص الابخرة وبعض الغازات تستعمل أنابيب طويلة مسدود طرفاها بلوحين من الزجاج أو الكوارتز تملأ بالغاز أو البخار المراد اختبار امتصاصه . وقد دلت التجارب على أن الابخرة أو الغازات التى تظهر فى العادة شفافة لها مناطق امتصاص اذا اخترق الضوء طبقات سميكة جداً منها . فبخار الماء مثلا اذا كان جافاً شفاف ولكن اذا اخترق الضوء سمكا 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[1] فى الكحول له منطقة امتصاص عند الجزء الاخضر من الطيف ويكاد لا يمتص الاضواء الاخرى . ومحلول برمنجانات البوتاسيوم اذا لم يكن مركزاً له ثلاثة او أربعة شرائط امتصاص منفصل بعضها عن الآخر فى الجزء الاخضر من الطيف ودم الانسان له ثلاثة شرائط مظلمة فى الجزءين الاصفر والاخضر

أما أطياف امتصاص الابخرة والغازات فهى بوجه عام خطية . فمثلا ثانى اكسيد الأزوت له عدة خطوط امتصاص رأى منها « بروستر » ما ينيف على الألفى خط . ومثل هذه الخطوط

(١) Fuchsine

تظهر ايضاً فى طيف امتصاص بخار البرومين وبخار اليود . غير أن لكثير من الابخرة والغازات أطياف امتصاص شريطية بل منها ما له طيف شريطى وآخر خطى فى آن واحد ، كغاز الكلور مثلا فله شريط امتصاص فى الجزء البنفسجى من الطيف وعدة خطوط امتصاص موزعة فى الاصفر والاخضر والازرق من الطيف

ويمكن تعيين الاطوال الموجية للاضواء التى تمتصها المادة باستعمال سبكترومتر معاير ، أو باستعمال سبكترومتر الطول الموجى ، فاذا كان طيف الامتصاص شريطياً يعين الطول الموجى لطرفى كل شريط ، فيكون امتصاص المادة واقعاً على هذين الطولين الموجيين وما ينحصر بينهما ، أما اذا كان طيف الامتصاص خطياً فيعين الطول الموجى لكل خط منها

٣٩٥ – طيف امتصاص بخار الصوديوم

للحصول على طيف امتصاص بخار الصوديوم يهيأ سبكتروسكوب لرؤية طيف الضوء الابيض الصادر من مصدر فى درجة عالية من الحرارة كقوس فولتى مثلا ، وقد يستحسن استخدام عدسة لامة تلم بوساطتها الاشعة على فتحة المجمع ثم يوضع فى مسير الضوء الواقع على الفتحة لهب مصباح بنزن مشبع ببخار الصوديوم ، فيظهر الطيف المتصل للضوء الابيض وقد تخلله خطان مظلمان متقاربان فى الجزء الاصفر فى الموضع الذى فيه الخطان الاصفران اللذان يتكون منهما طيف اشعاع الصوديوم ، بحيث اذا وضع حاجز يحجب الضوء الابيض دون ضوء لهب الصوديوم ، عن فتحة المجمع ظهر الخطان الاصفران مكان الخطين المظلمين

وظلمة الخطين المظلمين فى هذه الحالة هى فى الحقيقة ظلمة نسبية . فبخار الصوديوم يشع فعلا الضوء الاصفر الذى يتكون منه خطا اشعاعه . ولكنه فى الوقت نفسه يمتص من الضوء الابيض النافذ فيه الضوء المماثل تماماً للضوء الذى يشعه ، فيتجرد طيف الضوء الابيض من الخطين الاصفرين اللذين امتصهما البخار ، ويظهر مكان هذين الخطين ، الخطان الاصفران اللذان يشعهما البخار ، فاذا كانت درجة حرارة مصدر الضوء الابيض اكثر ارتفاعاً من درجة حرارة بخار الصوديوم ، كانت شدة ضياء هذين الخطين أقل من شدة الضوء الذى امتصه البخار ، فيظهر

هذان الخطان مظلمين بالنسبة

وقد توسع « وود » [1] فى دراسة طيف امتصاص بخار الصوديوم ، واتخذ لذلك أنبوبة طويلة من الصلب مسدود طرفاها بلوحين مستويين من الزجاج يخترقها الضوء الابيض فى اتجاه محورها ، ووضع فيها قطعاً من الصوديوم وملأها بالايدروجين وسخنها الى درجات عالية من الحرارة . فبهذه الكيفية تمتلىء الانبوبة ببخار الصوديوم الكثيف و يخترق الضوء طبقة سميكة منه . فوجد علاوة على خطى الامتصاص المذكورين خطوط امتصاص عدة فى 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 مخلخلا ، ويمر فيه تفريغ 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 » [2] وذلك سنة ١٩٠٧ . واتخذ فى تجاربه أنبوبة شعرية تحتوى على غاز الايدروجين المخلخل ، وأمر فيها تفريغاً 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 اتصالا على التوالى بدائرة الأنبوبة الأولى . بحيث تكون الأنبوبة الثانية فى حالة اشعاع عند ما ينفذ فيها الضوء الصادر من الأولى . فخطوط الاشعاع التى ترى فى طيف ضوء الانبوبة الاولى خطوط عريضة (بند ٣٩٠) ولكن عند ما ينفذ ضوء

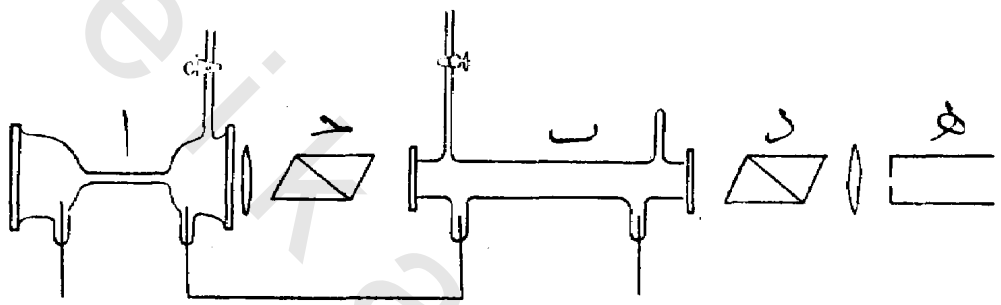
---

(١) Physical Optics

(٢) Ffluger

الاولى فى الثانيـة وهى فى حالة اشعاع وجد الخط الاحمر فى طيف الايدروجين قد استبدل به خط مظلم . وفى ســـنة ١٩٠٨ استخدم « لادنبرغ »[٢] و « ولوريا »[٣] جهازاً كالمبين بشكل (٣١٣) وأجزاؤه الاساسية هى

(أولا) أنبوبة شعرية ا ، بها غاز ايدروجين غير مخلخل ويمر فيهـا تفريغ من ملف رمكرف متصل بمكثف ، فنظراً لعلو الضغط فيهـا وضيق الانبوبة يكون طيف الضوء الصادر منها متصلا



(شكل ٣١٣)

(ثانياً) أنبوبة ب أكثر اتساعاً تحتوى هى أيضاً على ايدروجين ولـكنه مخلخل ، ضغطه يعادل ضغط مليمتر من الزئبق . وهذه هى أنبوبة الامتصاص ، وتتصل على التوالى ، بالدائرة الـكهربائية المتصلة بها الانبوبة الأولى

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

واستطاع « لادنبرغ » و « لوريان » 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

---

(١) Ladenburg (٢) Loria

٣٩٧ — خطوط فرونهوفر فى الطيف الشمسى

اذا اختبر طيف ضوء الشمس بوساطة سبكترسكوب رؤى أن أضواء الطيف المختلفة تتخللها خطوط مظلمة رأسية كثيرة العدد موزعة فى الطيف من أوله الى آخره فى مواضع معينة منه ، وهذه الخطوط المظلمة تعرف بخطوط فرونهوفر نسبة الى فرونهوفر الذى كان أول من كشفها . وقد استطاع فرونهوفر أن يحصى منها نيفاً وخمسمائة خط ورمز للواضح منها بحروف الهجاء C،B،A الخ . والخطوط الثلاثة المرموز لها بالحروف C،B،A فى الجز الاحمر من الطيف والخط المرموز له بالحرف D فى الجز البرتقالى الأصفر ، والمرموز له بالحرف E فى الجزء الأخضر والمرموز له بالحرف F فى الاخضر الازرق والمرموز له بالحرف G فى النيلى والمرموز له بالحرف H فى البنفسجى

وقد ظلت حقيقة هذه الخطوط غامضة حتى كشف « كرتشوف » [1] فى أواسط القرن التاسع عشر قانوناً يعرف باسمه سيأتى ذكره بالتفصيل فيما بعد [2] ، ينص فى صورته الوصفية على أن المادة تمتص من الضوء النافذ فيها ، نوع الاشعاع الذى يتشعع منها عند ما تكون فى حالة اشعاع ، كما تدل على ذلك التجارب التى سبق ذكرها فيما يختص بامتصاص بخار الصوديوم وامتصاص الايدروجين مثلا. فذهب كرتشوف فى تعليل خطوط فرونهوفر المذكورة الا أنها خطوط امتصاص الأبخرة والغازات المحيطة بالجزء الاوسط من الشمس الذى هو فى درجة عالية من الحرارة ومصدر الضوء الابيض المنبعث منها . فهذه الابخرة والغازات فى درجة اخفض وتمتص من الضوء الابيض النافذ فيها الاضواء ذات الاطوال الموجية المساوية الأطوال الموجية للاضواء التى تشعها هى. فاذا قوبلت خطوط فرونهوفر بالخطوط فى 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 هـذه المواد ضمن الابخرة والغازات المحيطة بالشمس فمثلا اذا ظهر فى طيف ضوء الشمس خطان مظلمان فى الموضع الذى يظهر فيـه خطا اشعاع

---

(١) Kirchhoff

(٢) أنظر الباب الخامس عشر

الصوديوم ، دل ذلك على أن بخار الصوديوم من المواد أو العناصر الموجودة فى الشمس و بهذه الكيفية يستدل على أن كثيراً من العناصر المعروفة على سطح الارض ، كالصوديوم والحديد والكلسيوم ، والباريوم والمغنزيوم والمنغانيز والكروميوم والنيكل والكوبلت والايدروجين والالومنيوم والخارصين والنحاس وغير ذلك موجودة فى الشمس . بل واتخذ انطباق بعض خطوط فرونهوفر على خطوط اشعاع بعض العناصر كالايدروجين مثلا ، دليلا على أنها خطوط امتصاص هذا الغاز . وذلك قبل أن يستطاع عملياً الحصول فى المعامل على طيف امتصاصه . واكثر من هذا أن من خطوط فرونهوفر ما لا ينطبق على اطياف اشعاع المواد التى كانت معروفة وقتئذ . فاستدل من هذا على وجود مواد فى الشمس لم تكن معروفة على سطح الارض ، ومن المواد التى كشف بهذه الكيفية وجودها فى الشمس قبل أن تعرف على سطح الارض غاز الهليوم

ويسمى الجزء الاوسط من الشمس ، وهو الذى يصدر منه الضوء الابيض ذو الطيف المتصل « الكرة الضوئية » (١) وطبقة الأبخرة والغازات التى تحيط بالكرة الضوئية والتى هى أيضاً فى حالة اشعاع ، ولكن درجة حرارتها أخفض تسمى « الكرة اللونية » (٢). ولو أنه توجد حول الكرة اللونية طبقة أو اثنتان من الأبخرة والغازات تحيط بها ، فأكثر خطوط فرونهوفر يعزى الى الامتصاص الحادث فى الكرة اللونية . واذا كانت الكرة اللونية تحتوى حقيقة على المواد التى يعزى اليها حدوث خطوط فرونهوفر ، فانه اذا تيسر اختبار طيف اشعاع هذه الكرة دون اشعاع الكرة الضوئية المركزية ، كان حتما ظهور خطوط اشعاع المواد التى تدل خطوط فرونهوفر على وجودها ، فتتبدل بخطوط فرونهوفر المظلمة خطوط مضيئة مكانها ، وقد عززت المشاهدات التى أجريت فى أثناء الكسوف الكلى للشمس هذه النتيجة ، وذلك فى أثناء الفترة التى تحتجب فيها الكرة الضوئية

٣٩٨ — سبكترسكوب ما فوق البنفسجى

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

---

(١) Photosphere

(٢) Chromosphere

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

وقد سبق بيان كيفية تجنب أثر الانكسار المزدوج والاستقطاب الدورانى فى منشور « كورنو » [1] فاذا أريد استخدام جهاز كالسبكترسكوب 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 احداهما من الكوارتز الايمن والاخرى من الكوارتز الايسر

ولبيان اشعاع ما فوق البنفسجى طريقتان . احداهما يستعان فيها بظاهرة 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 خطوطا مضيئة ، ويمكن تهيئة الجهاز بحيث ترى واضحة دقيقة

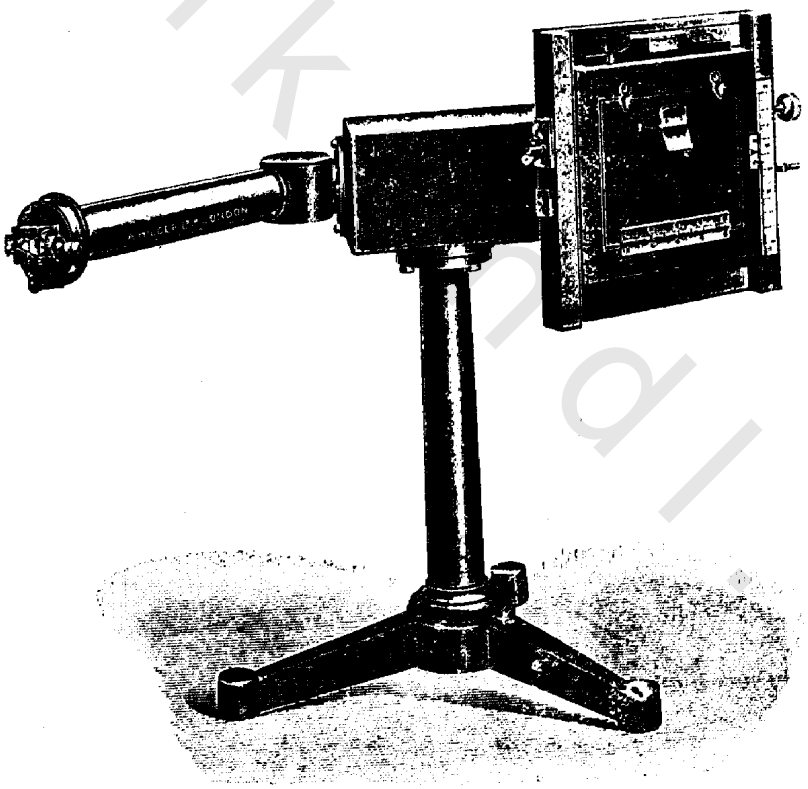
والطريقة الثانية يستعان فيها بالفتوغرافية ، فيوضع فى داخل غلاف أسود غير منفذ للضوء لوح فتوغرافى بحيث يقع الطيف الحادث على سطحه الحساس . وهذا يتطلب بادىء الامر أن تكون عدسة المجمع ، وكذلك العدسة الشيئية وهما اللتان تتكون بوساطتهما على اللوح الفتوغرافى صورة حقيقية للطيف ، أن تكون كلتاهما لا لونية . ومن المستطاع تركيب عدسة لا لونية من الكوارتز والفلوريت [2] (والفلوريت أيضاً من المواد المنفذة للاشعاع المافوق البنفسجى) غير أن هذا ليس مرغوباً فيه ، نظراً لندورة الفلوريت الذى يصلح لهذا الغرض . ولذلك تصنع

---

(١) انظر بند (٣٢٩)

(٢) Fluorite

عادة كل من العدستين مفردة ، ويهيأ المجمع بحيث تكون الاشعة التى تخرج منه متوازية، هى التى موضعها فى الطيف حوالى المنتصف أى يجعل البعد بين فتحة المجمع و بين عدسته ، أطول من البعد البؤرى لهذه العدسة بالنسبة الى الاشعة المافوق البنفسجية ، وأقصر منه بالنسبة الى الاشعة الحمراء ، فتخرج الاشعة المافوق البنفسجية من المجمع ملمومة، والاشعة الحمراء متفرقة ، فاذا نفذت خلال المنشور ووقعت على العدسة التى تكوّن الطيف على اللوح فان هذه العدسة تلم الاشعة المافوق البنفسجية فى موضع أقرب اليها من الموضع الذى تلم فيه الاشعة الحمراء ، ولكى تلم الاشعة جميعها على سطح اللوح الفتوغرافى ، يوضع هذا اللوح مائلا على محور العدسة الميل المناسب لا عمودياً عليه .



(شكل ٣١٦)

وتستعمل فى تصوير الأطياف بهذه الكيفية ألواح فتوغرافية خاصة تكون حساسة للجزء المافوق البنفسجى من الطيف وحساسة أيضاً للجزء المرئى منه الى ما يقرب من الطرف الاحمر[1] ويسمى الجهاز المعد لتصوير الاطياف « سبكتروجراف »[2] أو مصور الاصياف تمييزاً له عن السبكترسكوب أو مبين

---

(١) من الالواح المستعملة لهذه الغاية Wratten Panchromatic Plates

(٢) Spectrograph

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

٣٩٩ — طيف ما فوق البنفسجى

اذا 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 ماهو 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 فرونهوفر 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 اكثر المواد شفيفاً للاشعة الما فوق البنفسجية يمتص ما يكون طوله الموجى أصغر من ٠,٠٠٠٠١٨ من السنتيمتر . ودلت على أن الفلوريت ينفذ موجات أقصر من هذه ، فاتخذت عدسات ومنشورات من الفلوريت أمكن بوساطتها بيان موجات مما فوق البنفسجية يبلغ طولها الموجى ٠,٠٠٠٠١ من السنتيمتر عرفت بموجات « شومان »[1] نسبة الى كاشفها ، وهذه الموجات يمتصها الهواء ، واستطاع « شومان » الكشف عنها باجراء تجاربه فى الفراغ . ونظراً لأن المادة الجيلاتينية المستخدمة فى صنع الالواح الفتوغرافية

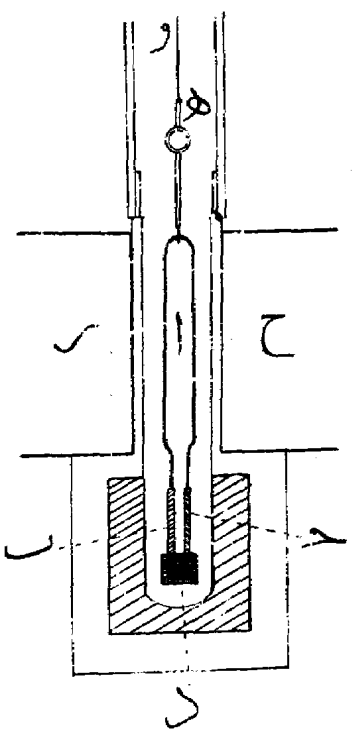
---

(١) Schumann

تمتص هى أيضاً الموجات القصيرة استعمل شومان ألواحاً فتوغرافية خاصة كانت الطبقة الجيلاتينية فيها غاية فى الرقة

٤٠٠ — الاجهزة الدقيقة لبيان اشعاع ما دون الاحمر وقياس طاقة الاشعاع

الاجهزة الدقيقة الحساسة التى استعملت لبيان اشعاع ما دون الاحمر، ولقياس طاقة الاشعاع نوعان أحدهما يسمى المقياس الدقيق للاشعاع أو « الرديوميكرومتر »[١] ، وهو جهاز اخترعه « بويز »[٢] ويعرف باسمه . تتوقف نظريته على الظاهرة الكهربائية الحرارية ،[٣] المعروفة فى علم الكهربائية . والجزء الاساسى من الجهاز يتركب من حلقة ا (شكل ٣١٧) مصنوعة من سلك دقيق من النحاس ، طرفاه من أسفل متصلان بقضيبين صغيرين خفيفين ب ، حـ أحدهما من البزموت [٤] ، والثانى من الانتيمون [٥] . وهما متصلان عند طرفيهما الاسفلين بصفيحة رقيقة من النحاس على شكل مربع أو قرص مستدير تبلغ مساحتها مليمترين مربعين ومدلول عليها فى الشكل بالحرف د ، وسطح هذه الصفيحة الذى يعرض نحو مصدر الاشعاع مكسو بطبقة من السناج . والحلقة النحاسية مثبتة من أعلى فى طرف أنبوبة ه شعرية خفيفة من الزجاج مثبت طرفها الاعلى بسلك دقيق من الكوارتز (مدلول عليه بالحرف و) بحيث تكون الحلقة معلقة بين قطبى مغناطيس شديد دائم ر ، ح . ونظرية الجهاز أنه اذا وقع الاشعاع الحرارى على السطح الاسود للصفيحة د ، ارتفعت درجة حرارتها قليلا، فيسخن ملتقى البزموت والانتيمون ، فيتولد تيار كهربائى يسير فى الحلقة النحاسية ، فتنحرف الحلقة حتى يتعادل الازدواج المغناطيسى المؤثر فيها وازدواج اللى فى السلك الكوارتزى . ولقياس زاوية الانحراف توجد مرآة صغيرة مثبتة فى الانبوبة الشعرية الزجاجية بالقرب



[شكل ٣١٧)

(١) Radiomicrometer (٢) Boys (٣) Thermo-Electricity
(٤) Bismuth (٥) Antimony

من طرفها الأعلى. وتعتبر زاوية الانحراف مقياساً لكمية الاشعاع الواقع على الصفيحة د أو لطاقته

ولوقاية القضيبين البزموثى والانتيمونى من تأثير المغناطيس الدائم تحيط بهما كتلة من الحديد الرخو (المطاوع) فيها فجوة مقورة يدلى فيها القضيبان ، وبالكتلة الحديدية فتحة ينفذ منها الاشعاع الى الصفيحة المكسوة بالسناج . ويوضع الجهاز كله فى وسط غلاف سميك 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 ميلين 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 (أو بيان) 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 خطاً ذا طول موجى معين .

والنوع الثانى من الأجهزة يسمى « البولومتر » (٢) واخترعه « لانجلى » (٣) ، وتتوقف نظريته على تغير المقاومة الكهربائية بتغير درجة الحرارة ، والبولومتر الذى اخترعه لانجلى 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) Bolometer (٣) Langley

صفيحة 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[1] فاذا هيئت القنطرة بحيث تكون فى حالة تعادل ثم أسقط الاشعاع على مجموعة القطع أوعلى واحدة منها، تغيرت مقاومتها ، فينحرف الجلفانومتر بمقدار يعتبر متناسباً ومقدار الاشعاع الواقع على الجهاز .

وجعل لانجلى مجموعة القطع داخل غلاف مبطن بالنحاس لكى تبقى درجة (شكل ٣١٨) حرارته ثابتة وجعل الغلاف فى باطن اسطوانة سميكة من الخشب او الابونيت وجعل الاشعاع ينفذ الى القطع خلال فتحات فى حواجز داخل هذه الاسطوانة لكى يمتنع وصول التيارات الهوائية الى الداخل . والبلومترات فى العادة تحتوى على مجموعتين من القطع المذكورة وهما متماثلتان على قدر الامكان . وتوصل احداهما بحيث يتكون منها أحد فروع قنطرة وتيستون وتوصل الاخرى بحيث يتكون منها فرع آخر . وتوصل بهذا الفرع مقاومة يمكن تهيئتها حتى يتم التعادل .

وقد يستبدل فى البلومترات بالبلاتين البلديوم[2] أوالفولاذ و يشترط فى المعدن الذى يستخدم أن يكون تغير مقاومته تبعاً لتغير درجة الحرارة كبيراً أو بالاحرى أن يكون معامل درجة الحرارة للمقاومة كبيراً، والا يتأكسد سريعاً أو يتغير بتعرضه للجو. وتصنع بلومترات يستبدل فيها بقطع البلاتين سلك دقيق من الفولاذ كخيط العنكبوت ملفوف حول اطار مناسب . واذا أريد قياس الطاقة فى موضع معين من الطيف فانه يكتفى بقطعة واحدة من البلاتين كلما كان عرضها أصغر كانت أصلح وقد يستبدل بها فى هذه الحالة سلك رفيع دقيق بحيث يحل فى موضع من الطيف يكاد يكون ذا طول موجى معين

٤٠١ — سبكترسكوب ما دون الاحمر

مما يراعى فى السبكترسكوب الذى يستعمل لتحليل أشعة ما دون الاحمر أن يكون منشوره

---

(١) Wheatstone Bridge

(٢) Palladium

من مادة منفذة للاشعاع الحرارى كالملح الصخرى (١) والفلوريت (٢) والسلفين (٣) لا من الزجاج لأن الزجاج لا ينفذ الاشعاع الحرارى اذا زاد طول موجاته عن ٠,٠٠٠٠٢٥ من السنتيمتر فى حين أن الفلوريت ينفذ منه من الموجات ما يبلغ طولها ٠,٠٠١١ من السنتيمتر ، والملح الصخرى والسلفين ينفذان ما يبلغ طول موجاته ٠,٠٠١٨ من السنتيمتر

ولما كانت الاجهزة الدقيقة التى تستخدم لبيان الاشعاع الحرارى وقياس طاقته كالراديوميكرمتر تتطلب بطبيعة تركيبها أن تبقى ثابتة لا تنتقل من مكانها ، فان المنشور الذى يستعمل لاحداث طيف ما دون الاحمر يكون عادة من المنشورات ذات الانحراف الثابت ، أى التى تكون النهاية الصغرى لزاوية انحراف الاشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة واحدة ، حتى اذا هيىء المنشور بحيث يحرف اشعاعاً معيناً بمقدار النهاية الصغرى للانحراف ويجعله اذ ذاك واقعاً على الراديوميكرومتر أو البلومتر أمكن بادارة المنشور حول نفسه دون أن يتغير اتجاه سقوط الاشعة عليه ، ودون أن يتغير موضع البلومتر أو الراديوميكرومتر ، 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 هلجر ترموبيلا حساساً خاصاً يمكن تركيبه بدلا من عينية التلسكوب فى سبكترومتر الطول الموجى ، حتى اذا أعد السبكترومتر بلولب رأسه الاسطوانى (شكل ٣١٣) نمتد تدريجاته الى ٠,٠٠٠٠٢ من السنتمتر أمكن استخدام الجهاز لدراسة أشعة ما دون 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

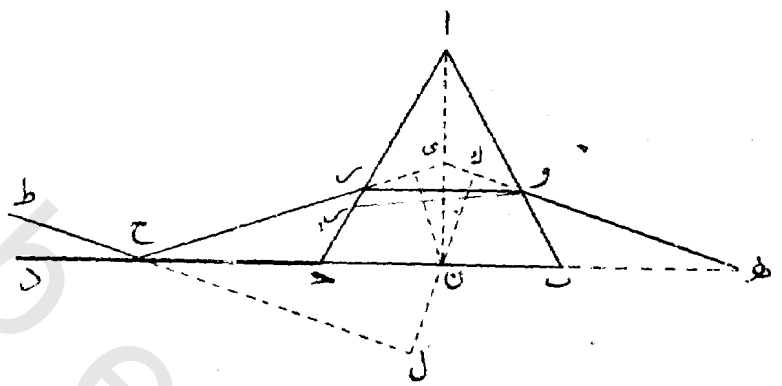
ومن أبسط المنشورات ذات الانحراف الثابت التى يمكن استخدامها فى اشعاع ما دون الاحمر منشور (٤) يتركب كما بشكل (٣١٩) من منشور ثلاثى منتظم ا ب حـ مثبتة به مرآة مستوية عاكسة حـ د سطحها العاكس فى امتداد ب حـ ، حيث يجعل ا الحرف الحارف للمنشور ،

---

(١) Rock Salt (٢) Fluorite (٣) Sylvin

(٤) عن Houston من كتابه A Treatise on Light

ويجعل مستقيم تلاقى المستوى المنصف للزاوية ا والسطح ب ح (وهو المستقيم الذى يرسم عند ن عمودياً على مستوى الشكل) محوراً يدار حوله المنشور. ولشرح عمل هـذا المنشور نفرض أن هـ و شعاع



(شكل ٣١٩)

ساقط على المنشور ويعانى النهاية الصغرى للانحراف فمسيره و ر خلال المنشور يكون موازياً للسطح ب ح فاذا كان مسيره بعد خروجه من المنشور فى استقامة ر ح وبعد انعكاسه عن المرآة فى استقامة ح ط ، ومد هـ و ، ح ر ليتقابلا عند ى

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

∠ ى و ر = ∠ ى ر و (من التماثل الذى تتطلبه النهاية الصغرى للانحراف)

وبما أن ∠ ى و ر = ∠ ى هـ ب

و ∠ ى ر و = ∠ ر ح ب = ∠ ط ح د

∴ ∠ ط ح د = ∠ ى هـ ب

∴ هـ و موازٍ للمستقيم ح ط

ومن التماثل يتضح أن نقطة ن هى منتصف هـ ح فاذا أسقط العمود ن ك على هـ و أو امتداده والعمود ن ل على امتداد ط ح فان العمودين يكونان متساويين

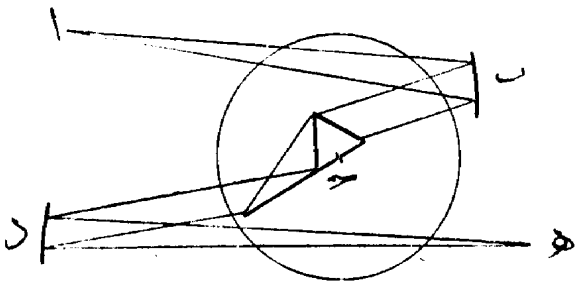
فاذا كان الشعاع هـ و من الضوء الأبيض وكان و ر ح مسير أحد الاشعة الملونة التى يتحلل اليها عند الانكسار ، والذى يعانى فى هذا الوضع النهاية الصغرى للانحراف، وليكن الشعاع الاحمر مثلا، فانه يتضح من الشكل أن مسير الشعاع البنفسجى مثلا ، والمنشور فى الوضع المذكور ، لا يكون فى استقامة و ر وانما يكون كالمستقيم و ر١ بحيث تكون زاوية انحرافه عند الانكسار الأول وهى زاوية ى و ر١ اكبر من زاوية انحراف الأول . ولكن اذا أدير الجهاز كله قليلا

حول المستقيم المار بنقطة ن عمودياً على مستوى الشكل دون أن يتغير مسير الشعاع الساقط ه و ، أمكن جعل مسير الشعاع البنفسجى داخل المنشور موازياً للسطح ب ح فيعانى هو فى هذا الوضع النهاية الصغرى للانحراف

ونظراً لثبوت نقطة ن وثبوت المستقيم ه و فى أثناء الدوران ، فان طول العمود ن ك يبقى ثابتاً ويمكن كما فى الحالة السابقة بيان أن طول هذا العمود مساو طول العمود المرسوم من ن على امتداد مسير هذا الشعاع بعد انعكاسه عن المرآة واذن يكون مسير هذا الشعاع بعد انعكاسه عن المرآة ح د منطبقاً على مسير الاول

فادارة الجهاز المركب من المنشور والمرآة حول المحور المذكور تأتى بالأشعة المختلفة ذات الاطوال الموجية المختلفة كل على حدتها ، فى استقامة ح ط ، وهى تعانى النهاية الصغرى للانحراف خلال المنشور ، فاذا وضع الجهاز المبين للاشعاع على استقامة ح ط ، أمكن بادارة المنشور بالكيفية المذكورة أن تجعل الاشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة واقعة عليه ، وهو ملازم مكانه لا يبرحه .

ولتجنب الامتصاص ما أمكن تستبدل بالعدسات التى توجد فى السبكترسكوبات 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 على المنشور الثابت الانحراف ح وبعد أن تنعكس عن مرآته متوازية تقع على سطح مقعر آخر د يلمها عند ه حيث يوضع الترموبيل ، أو البلومتر ، أو الرديوميكرومتر



(شكل ٣٢٠)

ومن أبسط الوسائل لمعايرة مثل هذا الجهاز بحيث اذا تحدد موضع المنشور أمكن معرفة الطول الموجى للاشعاع عند ه ، أن يستخدم طيف امتصاص الماء . فقد بينت البحوث أن الماء يمتص الأطوال الموجية الآتية مقيسة بالسنتيمتر وهى

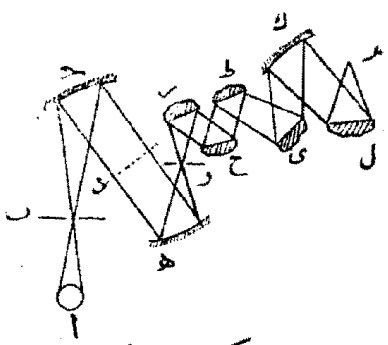
٠,٠٠٠٠٩٩٦ ، ٠,٠٠٠١٥ ، ٠,٠٠١٩٥٦ ، ٠,٠٠٣٠٢ ، ٠,٠٠٠٤٧ ، ٠,٠٠٠٦٠٩ ، ٠

فاذا استخدم مصدر اشعاع مناسب « كمصباح نرنست »(١) مثلا وأنفذ الاشعاع خلال طبقة من الماء سمكها السمك المناسب ، أمكن تحديد مواضع المنشور المقابلة للاطوال الموجية المذكورة ، فيمكن بالرسم البيانى تعيين العلاقة بين موضع المنشور والطول الموجى

ويجدر بالذكر أن مناطق الامتصاص المذكورة هنا يتطلب تحديدها بالدقة أن تستخدم طبقات رقيقة من الماء يبلغ سمكها ٠,٠٥ من المليمتر أو أقل ، الأطولها موجة فسمك الطبقة المائية فيها يكون سنتيمتراً

٤٠٢ — طريقة روبنز لقياس الطول الموجى لفضالة الاشعاع

بعض المواد الشفافة كالفلوريسبار والكوارتز والملح الصخرى والسلفين ، لها مناطق امتصاص خاصة فيما دون الاحمر من الطيف ، ودلت البحوث على أن هذه المواد تعكس بنسبة كبيرة عكساً خاصاً الاشعاع الذى تمتصه ، فاذا تعدد انعكاس الاشعة عن سطوح احدى هذه المواد تجردت بالتدريج هذه الاشعة التى تنعكس انعكاساً خاصاً عن سواها ، وصار ما يفضل من الأشعة بعد بضعة انعكاسات هى هذه الاشعة دون غيرها ، و يسمى ما يفضل من الأشعة بهذه الكيفية « فضالة الاشعة »(٢)



(شكل ٣٢١)

وأجرى « روبنز »(٣) تجارب حصل منها على فضالة الاشعة التى يمكن استخلاصها بالانعكاس عن سطوح الملح الصخرى والسلفين ، واستطاع قياس طولها الموجى بوساطة محزوز حيود حاص . وطريقة روبنز مبينة تخطيطياً بشكل(٣٢١) فالاشعاع يصدر عن المصدر ا ، فينفذ من فتحة فى حاجز عند ب ويسقط على مرآة مقعرة حـ بحيث تنعكس عنها الأشعة متوازية فتنفذ خلال محزوز د مصنوع من أسلاك رفيعة من الفضة بينها فتحات وتسقط بعد نفوذها من فتحات

---

(١) Nernst Lamp (٢) Residual Rays (٣) Rubens

المحزوز على مرآة مقعرة هـ فتنعكس ملومة عند فتحة و وتنفذ منها ساقطة على قطع من المالح الصخرى أو السلفين هى ر ى ح ى ط ى ى واحدة بعد الاخرى ثم تسقط على مرآة مقعرة ك وقطعة أخرى ل بحيث تلم عند مـ حيث يوضع الجهاز المستخدم لبيان الاشعاع كترموبيل حساس . فالأشعة المتجمعة عند مـ بعد أن تعانى هـذه الانعكاسات المتتالية تكون هى فضالة الاشعة . وجعل « روبنز » فى تجاربه المصدر ا ى الفتحة ب والمرآة ح والمحزوز د (دون الاجزاء الأخرى) مثبتة بحيث تكون قابلة للدوران حول محور رأسى مار بمستوى المحزوز ، وطريقة استخدام الجهاز أن يهيأ الجزء القابل للدوران بحيث تقع الاشعة المتوازية عمودية على المحزوز ، فتنفذ من غير حيـود . وتلم على الترموبيل عنـد مـ فينحرف الجلفانومتر المتصل به . فاذا أدير الجزء القابل للدوران ، صارت الاشعة الواقعة على المرآة هـ هى الاشعة الحائدة من المحزوز ، ولا تقوى هذه الاشعة بعضها الآخر عند تجمعها 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 ت وسرعة انتشار الموجات الصادرة منه ء وكان المصدر ساكناً ، فان عدد الموجات التى تمر فى الثانية الواحدة بأية نقطة فى الوسط الذى تنتشر فيه هذه الموجات يكون ت . فاذا استقبل هذه الموجات شخص ساكن فعدد الموجات التى تصل اليه فى الثانية الواحدة يكون ت أيضاً . ولكن اذا فرضنا أن المصدر أو الشخص يتحرك أحدهما بالاضافة الى الآخر فان 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 ا ب ، يتحرك فى استقامة ا ب

بسرعة نرمز لها بالحرف ا ، ففى الزمن الذى يستغرقه فى عمل اهتزازة كاملة ، أى فى البرهة $\frac{١}{ت}$ من الثانية ، يتحرك المصدر مسافة قدرها $\frac{ا}{ت}$ فاذا ابتدأت من المصدر عند ابتداء هـذه البرهة الزمنية قمة مثلا ، تكون هذه القمة قد وصلت الى مسافة قدرها $\frac{ﻉ}{ت}$ واذن يكون البعد بين النقطة التى تبلغها هذه القمة (على المستقيم ا ب) وبين المصدر عند ما يبتدىء فى اصدار القمة التالية مساوياً

$$\frac{ﻉ - ا}{ت}$$

ويساوى هذا الطول الموجى فى استقامة ا ب . فاذا كان الشخص الذى يرقب هذه الموجات عند ب وكان ساكناً ، فان الموجات التى تصل اليه فى الثانية الواحدة ، تكون سلسلة أو قطاراً طوله ﻉ . أما اذا كان متحركاً نحو ا بسرعة نرمز لها بالحرف ـ فانه يستقبل فى الثانية الواحدة علاوة على هـذا القطار ، عدداً من الموجات يتخلل المسافة ـ التى يقطعها ، كما أنه اذا كان متحركاً بسرعة ـ فى الاتجاه المضاد ، أى بعيداً عن ا فانه يستقبل فى الثانية الواحدة ، القطار الذى طوله ﻉ منقوصاً منه عدد الموجات التى تتخلل المسافة ـ التى يقطعها . اذن اذا كان الشخص متحركاً فى اتجاه حركة المصدر ا بسرعة قدرها ـ فانه يستقبل فى الثانية الواحدة عدداً من الموجات المتتالية يبلغ طولها جميعاً ﻉ ـ ـ

وبما ان طول الموجة الواحدة منها $\frac{ﻉ - ا}{ت}$

يكون عدد الموجات التى يستقبلها الشخص فى هذه الحالة مساوياً

$$\frac{ﻉ - ـ}{ﻉ - ا} \quad ت \quad . . . . . \quad (١)$$

فيتراءى لهذا الشخص أن تردد المصدر ليس ت وانما يساوى المقدار (١) المذكور

والمقدار (١) يتضمن الحالات الخاصة التى يكون فيها المصدر أو الشخص ساكناً أو متحركاً فى الاتجاه المضاد . فمثلا اذا فرضنا أن الشخص ساكن والمصدر يتحرك بسرعة قدرها ا نحوه يتراءى للشخص أن التردد

$$\frac{ﻉ}{ﻉ - ا} ت = ت \quad \frac{١}{١ - \frac{ا}{ﻉ}}$$

$$= ت (١ + \frac{ب}{ح}) \qquad \text{بالتقريب}$$

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

$$ت (١ - \frac{ب}{ح}) \qquad \text{بالتقريب}$$

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

$$\frac{ح + ب}{ح} \cdot ت = ت (١ + \frac{ب}{ح})$$

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

$$\frac{ح - ب}{ح} \cdot ت = ت (١ - \frac{ب}{ح})$$

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 »[1] وهى عامة تحدث فى الحركة الموجية بوجه عام . فهى تحدث فى الصوت ، حيث اذا كان مصدر الصوت أو الشخص الذى يسمعه ، أحدهما أو كلاهما مقبلا 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 مقبلا سمعت درجة الصفير أعلى واذا كان مدبراً سمعت أخفض . وسهولة التحقق من حدوث الظاهرة فى الصوت ناشئة عن صغر قيمة سرعة الصوت فاذا اعتبرنا أن سرعة الصوت ٣٤٠ متراً فى الثانية ، وكان القطار فى

---

(١) Doppler

obeikandl.com

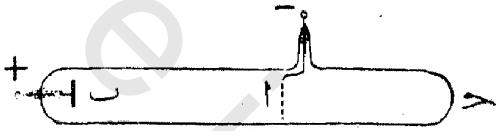
المثال السابق متحركاً بسرعة ٦٠ كيلو متراً فى الساعة أى بسرعة $\frac{٥٠}{٣}$ متراً فى الثانية ، فان ارتفاع الدرجة أو انخفاضها يبلغ بالتقريب كسراً قدره $\frac{١}{٣}$ من قيمة التردد الحقيقى

٤٠٤ — حدوث ظاهرة دبلر فى الضوء

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

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 الارض أو بعيدا عنها تفضى الى حدوث الظاهرة . وأطياف النجوم هى بوجه عام أطياف امتصاص ، أى اذا حلل ضوءها وجد طيفاً متصلا يتخلله خطوط امتصاص فى بعض الحالات ، وشرائط امتصاص فى الأخرى ، وخطوط الامتصاص قد تكون كثيرة العدد تشبه خطوط فرونهوفر فى طيف الشمس ، وقد تكون مقصورة على خطوط امتصاص الايدروجين ، فاذا كانت بين النجم والارض حركة اقبال ازيحت هذه الخطوط قليلا من مواضعها نحو الطرف البنفسجى ، واذا كانت الحركة أدباراً أزيحت قليلا نحو الطرف الأحمر . وقد أمكن بقياس ترددات هذه الخطوط ومعرفة ترددانها 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 متحملة بشحنات كهربائية موجبة[1] وقد بحث « شتارك »[2] فى طيف الضوء الصادر عند نفوذ الاشعة القنوية ، فى غاز ضغطه يعادل ضغط $\frac{1}{10}$ المليمتر من الزئبق ، وأجرى تجاربه فى غاز الايدروجين ، فوجد أنه اذا فحص الضوء الصادر فى اتجاه عمودى على اتجاه مسير الاشعة القنوية كانت خطوط الايدروجين فى مواضعها المعتادة ، أما اذا فحص فى استقامة مسيرها ، فان الخطوط تعرض قليلا ، ويكون الامتداد العرضى نحو الطرف البنفسجى للطيف اذا كانت الاشعة فى حركة اقبال نحو فتحة المجمع ويكون نحو الطرف الاحمر اذا كانت فى حركة ادبار . وشكل (٣٢٢) يوضح تركيب الجهاز الذى يبين هذه الظاهرة ، فالكاثود مدلول



(شكل ٣٢٢)

عليه بالحرف ا وهو مصنوع من لوح من الالومينوم يبلغ سمكه مليمتراً أو يزيد قليلا ، وبه ثقوب عدة صغيرة لا يتجاوز قطر الواحد منها مليمتراً واحداً . فعند حدوث التفريغ الكهربائى بين القطبين ب ، ا يكون مسير الاشعة القنوية فى اتجاه ا حـ . فاذا وضعت انبوبة التفريغ بحيث تقبل هذه الاشعة نحو فتحة المجمع أعرضت خطوط الطيف فى اتجاه الطرف البنفسجى واذا وضعت بحيث تدبر هذه الاشعة عن فتحة المجمع أعرضت فى الاتجاه الآخر . وتدل الظاهرة على أن بعض المصادر التى تتشعع منها الخطوط متحركة بسرعة كبيرة جداً يترتب عليها حدوث ظاهرة دبلر ولذلك تعرف الظاهرة بظاهرة « شتارك دبلر »[3] ويمكن كما سبق بيانه ايجاد قيمة الحد الاقصى لسرعة هذه المصادر

٤٠٦ — ظاهرة زيمن

كشف « زيمن »[4] سنة ١٨٩٦ أن للمجال المغناطيسى الشديد تأثيراً فى تردد الضوء ذى اللون الواحد اذا كان مصدره موضوعاً فى هذا المجال . وتجربته الاولى أن جعل لهب الصوديوم

---

(١) انظر كتاب علم الطبيعة نشوءه ورقيه وتقدمه الحديث المؤلف صفحات ٣٦٥ ، ٣٦٦ ، ٣٦٧

(٢) Stark (٣) The Stark-Doppler Effect

(٤) Zeeman وتعرف الظاهرة باسم Zeeman Effect

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

ثم اهتدى « زيمن » بالنظرية الالكترونية [١] التى وضعها « لورنتز » [٢] فى التوسع فى دراسة الظاهرة ، فاتخذ مغناطيساً كهربائياً مقوراً ، لكى يتيسر دراسة تأثير المجال المغناطيسى فى تردد الضوء المنبعث فى استقامة خطوط القوة ، كما يمكن دراسة تأثيره فى تردد الضوء المنبعث فى اتجاه عمودى على الخطوط ، ففى الحالة الأولى دلت النظرية الالكترونية كما سنبين فيما يلى ، على أن تأثير المجال المغناطيسى ، أن يجعل الضوء ذا التردد المعلوم ينقسم قسمين تردد أحدهما أعلى وتردد الآخر أخفض من التردد الاصلى للضوء ، ويكون الضوءان مستقطبين استقطاباً دائرياً . ولكن اتجاه الاهتزازة فى أحدهما عكس اتجاهها فى الآخر . فاذا اختبر خط مفرد فى الطيف عند ما يكون مصدره فى المجال المغناطيسى الشديد ، وكان مسير الضوء المنبعث فى استقامة خطوط القوة انشق الخط المفرد خطين أحدهما أعلى تردداً من الخط الاصلى والآخر أخفض ويكون كلاهما مستقطباً استقطاباً دائرياً واتجاه الاهتزازة الدائرية فى أحدهما عكس اتجاهها فى الآخر . أما بالنسبة الى الضوء المنبعث فى اتجاه عمودى على خطوط القوة فالنظرية الالكترونية تدل على أن تأثير المجال المغناطيسى أن يجعل الضوء ذا التردد المعلوم ينقسم ثلاثة أقسام ، تردد واحد منها أعلى من التردد الاصلى ، وتردد واحد أخفض منه ، وتردد الثالث مساو له ، والترددان الاول والثانى متساويان بالترتيب للترددين فى الحالة الاولى ، ومن حيث الاستقطاب يكون الضوءان ذو الترددين الاعلى والاخفض مستقطبين استقطاباً استوائياً واتجاه الاهتزازة عمودى على خطوط القوة أما الضوء الذى يبقى تردده كالتردد الاصلى فيكون هو أيضاً مستقطباً استقطاباً استوائياً ولكن اتجاه اهتزازته مواز لخطوط القوة . فالخط المفرد فى هذه الحالة ينشق الى ثلاثة خطوط ، الاوسط تردده كتردد

---

(١) Electron Theory

(٢) H. A. Lorentz

الخط الاصلى وضوءه مستقطب استقطاباً استوائياً واتجاه اهتزازته موازٍ لخطوط القوة . والطرفيان تردد أحدهما أعلى وتردد الآخر أخفض ، وضوءهما مستقطب استقطاباً استوائياً فى اتجاه عمودى على خطوط القوة

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

٤٠٧ — تطبيق النظرية الالكترونية لشرح ظاهرة زيمن 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 والف من كتلة أصغر ذرة معروفة فى الكيمياء ، وهى ذرة الايدروجين ، وتبلغ شحنتها $٤,٧ \times ١٠^{-١٠}$ من وحدة الشحنة فى الكهربائية الاستاتيكية

واهتزازة 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 اهتزازة الالكترونات مستديرة ، فاذا كان الضوء ذا تردد معلوم تكون مدة الدورة للالكترونات التى تحدث هذا الضوء واحدة ، أى يكون ترددها جميعاً واحداً ، وتكون ظاهرة زيمن 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 ، فلسهولة الشرح نراعى حالتين ، تأثير المجال المغناطيسى فى الالكترونات التى افلاكها أو مداراتها عمودية على خطوط القوة ، وتأثيره فى الالكترونات التى أفلاكها موازية لخطوط القوة

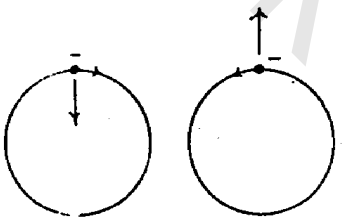
الحالة الاولى : تأثير المجال المغناطيسى فى تردد الالكترونات التى مداراتها عمودية على المجال

لنفرض أن مدارات الألكترونات فى مستوى الورقة ، وأن المجال المغناطيسى عمودى على

---

(١) Doublet (٢) Triplet

مستوى الورقة ، واتجاه خطوط القوة الى الداخل فالألكترونات بعضها يتحرك فى اتجاه حركة عقربى الساعة وبعضها فى الاتجاه المضاد ، وقبل حدوث المجال المغناطيسى تكون مدة الدورة فيها جميعاً واحدة أى يكون ترددها جميعاً واحداً . والألكترون 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 الكهربائية بقاعدة اليد اليسرى[1] ، فبتطبيق هذه القاعدة وباعتبار الألكترون المتحرك فى اتجاه معين بمثابة تيار موجب يسير فى الاتجاه المضاد ، يتبين أن الألكترون الذى يدور فى اتجاه حركة عقربى الساعة (شكل ٣٢٣) يعانى بفعل المجال المغناطيسى الذى خطوط قوته عمودية على مستوى الشكل . والى الداخل ، يعانى بفعل هذا المجال قوة تجذبه نحو مركز الدائرة ، فى حين أن الألكترون الذى يدور فى عكس اتجاه حركة عقربى 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



(شكل ٣٢٣)

فتأثير المجال المغناطيسى أن يجعل تردد فريق من الالكترونات يزداد ، وتردد فريق آخر يقل ، فاذا اختبر الضوء الحادث بفعل هذه الالكترونات 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 عموديا 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 فى الضوء ذى التردد الاعلى فى اتجاه حركة عقربى الساعة ، ويكون اتجاهها فى الضوء ذى التردد الاخفض فى عكس اتجاه حركة عقربى الساعة

واذا اختبر الضوء الحادث بفعل هذه الالكترونات فى اتجاه عمودى على خطوط القوة ، أى اذا روعى ما تؤول اليه الحركة المستديرة فى شكل (٣٢٣) اذا نظر اليها والعين فى 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 فى اتجاه عمودى على خطوط القوة يرى فى 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 فى هذه الحالة كالتردد الاعلى فى الزوجين ، والتردد الاخفض كالتردد الاخفض فيهما

الحالة الثانية : — تأثير المجال المغناطيسى فى تردد الالكترونات التى مدارانها موازية للمجال

الحركة المستديرة فى هذه الحالة يمكن تحليلها الى مركبتين مستقيمتين متعامدين[1] احداهما موازية لخطوط القوة والأخرى 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 فى اتجاه خطوط القوة والا كانت الحركة الموجية فى هذا الضوء من نوع الموجة الطولية . واذن لا يظهر لهذه الاهتزازة أثر ما اذا اختبر الضوء فى اتجاه خطوط القوة ، ولكن أثرها يظهر اذا اختبر الضوء فى اتجاه عمودى على خطوط القوة واذن يظهر فى الطيف عند احتبار الضوء فى 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 فى البند السابق

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

---

(١) انظر بند (١٨٠)

اعتبارها محصلة حركتين مستديرتين ذاتى تردد واحد واتساع واحد ولكنهما فى اتجاهين متضادين[1] ويكون مستوى مداريهما عمودياً على خطوط القوة ، وتأثير المجال المغناطيسى فى هاتين المركبتين مثل ما ذكر آنفاً فى الحالة الاولى ، أى فى حالة الالكترونات التى مداراتها عمودية على المجال . واذن يفضى تأثير المجال المغناطيسى فى المركبة المستقيمة العمودية على خطوط القوة الى ظهور الزوجين عند اختبار الضوء فى استقامة خطوط القوة والى ظهور الخطين الطرفيين من الخطوط الثلاثة عند اختبار الضوء فى اتجاه عمودى على الخطوط وتكون هذه الخطوط مماثلة تماماً من حيث التردد والاستقطاب لما سبق ذكره فى الحالة الاولى

وتتلخص نتيجة ما ذكر فى أنه اذا اختبر الضوء فى استقامة خطوط القوة انشق الخط المفرد بفعل المجال المغناطيسى الى زوجين ، واذا اختبر الضوء فى اتجاه عمودى على خطوط القوة انشق الى الخطوط الثلاثة . وان كانت هذه النتائج قد تحقق وقوعها عملياً فالتجارب دلت على أن الظاهرة ليست فى جميع الحالات بمثل هذه البساطة بل هى بوجه عام اكثر تعقداً ، اذ قد ينشق الخط المفرد عند اختبار الضوء فى 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 الألكترون الى كتلته من ظاهرة زيمن

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

---

(١) أنظر بند (١٨٥)

بسيطة) ورمزنا للقوة التى تؤثر فيه عند ما يكون نصف القطر الوحدة (أو عند ما تكون ازاحته عن المركز الوحدة) بالحرف ق ، كانت القوة المؤثرة نحو المركز ق ق . واذن يكون

$$ق = \frac{ع^{٢}}{ق} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (١)$$

ونظراً لأن سرعة الالكترون فى فلكه المستدير هى ع ومحيط هذا الفلك هو ٢ ط ق ، فان الالكترون يتم فى وحدة الزمن قطع هذا الفلك $\frac{ع}{٢ ط ق}$ مرة ، فاذا رمزنا لشحنته مقيسة بالوحدات المغناطيسية الكهربائية بالحرف ش [١] أمكن اعتبار الالكترون الدائر فى فلكه ، بمثابة تيار كهربائى يسير حول محيط هذا الفلك وشدته ش $\frac{ع}{٢ ط ق}$ ، حيث يكون هذا المقدار مساوياً كمية الكهربائية التى تمر بأية نقطة من محيط هذا الفلك فى وحدة الزمن . فاذا حدث المجال المغناطيسى وكان اتجاهه عمودياً على مستوى فلك الألكترون ورمزنا لشدته بالرمز مغ ، كانت القوة المؤثرة فى هذا التيار [٢] فى اتجاه عمودى عليه وعلى اتجاه المجال المغناطيسى هى

$$ش \frac{ع}{٢ ط ق} \times مغ \times ٢ ط ق = ش ع مغ$$

وتكون هذه القوة هى المؤثرة فى الالكترون من جراء وجود المجال المغناطيسى ، واتجاه هذه القوة يتعين طبقاً لقاعدة اليد اليسرى مع ملاحظة أن التيار سالب نظراً لان شحنة الالكترون سالبة . فاذا اعتبرنا مثلا أن حركة الالكترون فى اتجاه حركة عقربى الساعة بالنسبة الى الناظر لشكل (٣٢٣) وكان اتجاه خطوط القوة فى المجال المغناطيسى عمودياً على مستوى الشكل والى الداخل ، كانت هذه القوة نحو مركز فلك الالكترون ، و يضيق من جرائها هذا الفلك . واذا رمز لنصف قطر الفلك فى هذه الحالة بالرمز ق$_{١}$ ، تكون معادلة القوى المؤثرة فى الالكترون هى

---

(١) وحدة الشحنة فى نظام الوحدات المغناطيسية الكهربائية تساوى ٣ × ١٠^{١٠} وحدتها فى نظام وحدات الكهربائية الاستاتيكية فتكون شحنة الالكترون مقيسة بالوحدات المغناطيسية الكهربائية مساوية $\frac{٤,٨ \times ١٠^{-١٠}}{٣ \times ١٠^{١٠}}$ = ١,٥٧ × ١٠$^{-٢٠}$ وحدة

(٢) من قوانين المغناطيسية الكهربائية انه اذا مر تيار شدته ت فى سلك طوله ل وكان السلك فى مجال مغناطيسى منتظم شدته مغ واتجاهه عموديا عليه كانت القوة المؤثرة فى هذا السلك (أو فى التيار الذى طوله ل) مساوية ت . مغ . ل

$$ك \frac{ع^{٢}}{س_{١}} = س_{١} ب + ش ع مغ \quad . . . . . (٢)$$

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

$$ك \frac{ع^{٢}}{س_{١}} = ك \frac{ع^{٢}}{س_{٢}} س_{١} + ش ع مغ$$

$$\therefore ك \left(\frac{ع^{٢}}{س_{١}} - \frac{ع^{٢}}{س_{٢}} \right) = ش مغ \frac{ع}{س_{١}} \quad . . . . . (٣)$$

كذلك اذا كانت حركة الالكترون فى عكس اتجاه عقربى الساعة ، فان القوة المؤثرة فيه من جراء وجود المجال المغناطيسى تكون فى استقامة نصف القطر والى الخارج ، ويتسع فلك الالكترون ، فاذا رمز لنصف قطر الفلك فى هذه الحالة بالرمز $س_{٢}$ ، كانت معادلة القوى المؤثرة فى الالكترون هى

$$ك \frac{ع^{٢}}{س_{٢}} = س_{٢} ب - ش ع مغ$$

وبالتعويض من المعادلة (١) ينتج أن

$$ك \left(\frac{ع^{٢}}{س_{٢}} - \frac{ع^{٢}}{س_{٢}} \right) = - ش مغ \frac{ع}{س_{٢}} \quad . . . (٤)$$

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

$$ك \left(\frac{ع^{٢}}{س_{١}} - \frac{ع^{٢}}{س_{٢}} \right) = ش مغ \left(\frac{ع}{س} + \frac{ع}{س_{٢}} \right)$$

$$\therefore ك \left(\frac{ع}{س_{١}} - \frac{ع}{س_{٢}} \right) = ش مغ \quad . . . . . (٥)$$

فاذا رمزنا لتردد الالكترون المتحرك فى اتجاه حركة عقربى الساعة ، عند حدوث المجال المغناطيسى بالرمز $ت_{١}$ ، فان

$$ت_{١} = \frac{ع}{٢ ط س_{١}} \therefore \frac{ع}{س} = ٢ ط ت$$

وكذلك اذا رمزنا لتردد الالكترون المتحرك فى عكس حركة عقربى الساعة ، عند حدوث المجال بالرمز $ت_٢$ فان

$$ت_٢ = \frac{ع}{٢ط ن_٢} \quad \therefore \quad \frac{ع}{ن_٢} = ٢ط ت_٢$$

وبالتعويض فى المعادلة (٥) ينتج أن

$$٢ط ك (ت_١ - ت_٢) = ش مغ$$

$$\therefore \frac{ش}{ك} = \frac{٢ط}{مغ} (ت_١ - ت_٢) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٦)$$

واذا أمكن عملياً ايجاد الفرق فى التردد بين الزوجين الحادثين عند اختبار الضوء فى اتجاه خطوط القوة (أو بين الطرفين من الخطوط الثلاثة الحادثة عند اختبار الضوء فى اتجاه عمودى على خطوط القوة ، لان الفرق واحد فى الحالتين كما جاء فى الشرح الوارد فى البند السابق) ، وعرفت شدة المجال المغناطيسى امكن من المعادلة (٦) ايجاد قيمة نسبة شحنة الالكترون الى كتلته

وقد دلت التجارب على أن الفرق فى التردد بين الخطين المذكورين يتناسب فى 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 $١,٧٧ \times ١٠^{٧}$. 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 الراديومية »[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

---

(١) Kathode Particles

(٢) Beta-Particles

(٣) Radioactive Substances

الضوء، أو بالأحرى الموجات القصيرة منه فى الظاهرة المعروفة باسم «التأثير الكهربائى الضوئى»(١) دالا ذلك على أن هوية جميع هذه الدقائق واحدة، وانها جميعاً الكترونات

٤٠٩ — ظاهرة زيمن فى خطوط الامتصاص — الظاهرة المعكوسة

نظراً لأن المادة تمتص من الضوء النافذ فيها، الاضواء التى يتفق ترددها وتردد الأضواء التى تصدرها (بند ٣٩٧) فان الالكترونات ذات التردد الطبيعى المعلوم التى يحدث طيف الاشعاع عنداهتزازتها، تمتص من الضوء النافذ فى المادة الاضواء التى يتفق ترددها مع التردد الطبيعى لها واذن يكون للمجال المغناطيسى تأثير فى خطوط الامتصاص مشابه لتأثيره فى خطوط الاشعاع، فتحدث ظاهرة زيمن فى خطوط الامتصاص أيضاً، وتسمى الظاهرة فى هذه الحالة « ظاهرة زيمن المعكوسة »(٢)

فاذا وضعت المادة التى تمتص الضوء فى مجال مغناطيسى شديد، ينتظر بادىء ذى بدء، أن ينشق بفعل المجال خط الامتصاص المظلم الى زوجين. اذا سار الضوء الابيض النافذ فى المادة فى استقامة خطوط القوة، وأن ينشق الى ثلاثة خطوط، اذا سار الضوء فى اتجاه عمودى على خطوط القوة ولكن الالكترونات التى تحدث فى الحالة الاولى الزوجين فى طيف الاشعاع تتحرك حركة مستديرة مستواها عمودى على خطوط القوة وهى فريقان اتجاه حركة أحدهما مضاد لاتجاه حركة الآخر، فهذه الالكترونات اذا امتصت شيئاً من الضوء الابيض، فانما تمتص الاهتزازة التى تتفق معها فى التردد وتتفق معها فى الكيفية أيضاً. فاذا كان الضوء الابيض طبيعياً غير مستقطب، امتص كل فريق من هذه الالكترونات الاهتزازة المستديرة التى 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 الخطان المظلمان اللذان ينتظر ظهورهما، بفعل المجال

---

(١) Photo-Electric Effect

(٢) The Inverse Zeeman Effect.

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

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

الاهتزازة التى تتفق معه فى التردد فيحدث فى هذه الحالة خطان مظلمان مكان الخطين الطرفيين

ويتضح مما سبق أن حدوث الظاهرة المعكوسة وتبين الخطوط التى ينشق اليها خط الامتصاص ، متوقفان على حالة الضوء الابيض النافذ فى المادة من حيث الاستقطاب ونوع الاستقطاب ، وظهور أحد هذه الخطوط ظهوراً مميزاً له ، مرتبط بأن يكون الضوء الأبيض النافذ فى المادة مستقطباً الاستقطاب المناسب

وقد أيدت التجارب هذه النتائج

٤١٠ — ظاهرة زيمن فى الشمس

تدل المعلومات الخاصة بكلف[١] الشمس ، وهى البقع السوداء التى تظهر على وجه الشمس على أن الغازات والابخرة التى تحيط بكثير من هذه البقع تتحرك حركة اعصارية ، أى حركة تشبه حركة الريح فى الأعاصير . فاذا كانت الاجسام المتوهجة تنساب منها الكترونات ،[٢] فهذه الاعاصير الشمسية تكتسح معها الالكترونات المنسابة من الغازات والابخرة المتوهجة الموجودة على الشمس ، فتتحرك هذه الالكترونات حركة مستديرة ، وتحركها بهذه الصفة كسير تيار كهربائى فى ملف مستدير ، أى تؤدى الى حدوث مجال مغناطيسى . فيكون مسير الضوء الواصل الى الارض من البقعة الشمسية فى هذا المجال المغناطيسى . فاذا كانت البقعة فى منتصف وجه الشمس ، كان سير الضوء الواصل من الشمس فى استقامة خطوط القوة ، واذا كانت عند حافة الشمس كان سيره عمودياً على خطوط القوة . فاذا كانت شدة المجال المغناطيسى شديدة حدثت ظاهرة زيمن ، فظهر فى الحالة الاولى الزوجان ، وظهر فى 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 فى الفراغ دقائق متحملة بشحنات سالبة ، وقد سبق أن أشرنا الى أن نسبة شحنة الدقيقة منها الى كتلتها مساوية هذه النسبة للالكترون

(٣) Hale

فى الضوء الواصل من مركز البقعة ينشق فى ابسط 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 فى الظاهرة المعكوسة ، ودلل بهذه الكشوف على أن كلف الشمس أعاصير هائلة لها مجالات مغناطيسية شديدة

٤١١ — ظاهرة شتارك

كشف « شتارك » سنة ١٩١٣ أن للمجال الكهربائى الشديد تأثيرا فى خطوط طيف الاشعاع ، بحيث اذا وضع غاز مضيء فى مجال كهربائى شديد فالخط الطيفى المفرد ينشق بفعل المجال الكهربائى 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 فى الجهد ، وذلك فى جهاز خاص يحتوى على ايدروجين فى ضغط صغير جداً ، فوجد أنه اذا اختبر الضوء فى اتجاه عمودى على اتجاه المجال الكهربائى ، فان كلا من الخطين الأحمر والأخضر الازرق فى طيف الايدروجين ينشق الى خمسة خطوط ، الخط الاوسط منها فى موضع الخط الاصلى ، يحف به خطان فى كل جانب من جانبيه ، ووجد الخطين الطرفيين من هذه الخطوط الاربعة أشد ضياء ، وضوءهما مستقطباً استقطاباً استوائياً واتجاه الاهتزازة موازيا لاتجاه المجال الكهربائى. أما الخطوط الثلاثة التى بينها فوجد ضوءها مستقطباً استقطاباً استوائياً واتجاه الاهتزازة عموديا على المجال الكهربائى

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

وان كانت النظرية الالكترونية تصلح لشرح ظاهرة زيمن فى أبسط حالاتها فهى لا تصلح لشرح ظاهرة « شتارك » وتشرح هذه الظاهرة وفقاً لنظرية الكم(٢)

---

(١) The Stark Effect

(٢) أنظر كتاب Structure of the Atom تأليف Andrade

٤١٢ — المتتاليات الطيفية

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

وقد كشف « بالمر »[٢] فى سنة ١٨٨٥ العلاقة بين الخطوط الطيفية للايدروجين ، فاذا رمز للطول الموجى مقيساً بالانجشتروم بالحرف ل ، فان العلاقة بين الاطوال الموجية للخطوط المختلفة تكون وفقاً للمعادلة

$$ل = ٣٦٤٦,١٤ \frac{م^٢}{م^٢ - ٤} \quad \ldots\ldots (١)$$

حيث اذا استبدلت بالمقدار م الاعداد ٣ ، ٤ ، ٥ الخ كان قيمات ل المستخرجة من المعادلة هى الاطوال الموجية للخطوط المختلفة . وعلى حسب هذه المعادلة تكون الاطوال الموجية هى حدود متتالية لا نهائية ، الحد الواحد منها تزداد قيمته قرباً الى المقدار ٣٦٤٦,١٤ كلما زاد عدد الحدود . ويكون معنى ذلك أن الخطوط الطيفية لا نهاية لعددها ، وأنه اذا سرنا من الطرف الاحمر نحو البنفسجى فان الخطوط يزداد بعضها قرباً الى بعض حتى تبلغ غايتها عند الطول الموجى ٣٦٤٦,١٤

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

---

(١) Balmer

(٢) Balmer's Series

وجد أن الخطوط الطيفية التى تتعين أطوالها الموجية وفقاً للمتتالية كلما قربت من حدها النهائى وزاد بعضها قرباً الى بعض قلت شدتها

وينص فى الوقت الحاضر على المتتالية الطيفية لا بالنسبة الى الطول الموجى ن ، وانما بالنسبة الى مقلوب الطول الموجى (مقيساً بالسنتيمتر) ، أى بالنسبة الى عدد الموجات فى السنتيمتر الواحد وهو ما يسمى « العدد الموجى »[١] . فاذا رمز للعدد الموجى بالحرف ν فمعادلة «بالمر» المذكورة آنفاً تتحول الى المعادلة الآتية

$$\nu = ٢٧٤١٨,٧٥ - \frac{١٠٩٦٧٥}{م^{٢}} \quad . . . . . (٢)$$

وقد أجريت بعد أن كشف بالمر هذه المتتالية بحوث عدة أخرى لبيان ما اذا كانت الخطوط الطيفية فى أطياف العناصر الأخرى منقادة هى أيضاً الى مثل هـــذه المتتالية . وامتاز فى هذا البحث ثلاثة « كايزر »[٢] و« رونج »[٣] و« ردبرغ »[٤] . واجرى الأول والثانى بحوثهما متضامنين . فدلت نتائج هـذه البحوث على أنه توجد فى طيف العنصر الواحد ثلاث متتاليات هامة ، واحدة منها رئيسية وتسمى « المتتالية الرئيسية »[٥] والأخريان اضافيتان تسمى احداهما « المتتالية الاضافية الاولى »[٦] أو المتتالية « غير الدقيقة » وتسمى الثانية « المتتالية الاضافية الثانية »[٧] أو «المتتالية الدقيقة» وهذه المتتاليات الثلاث يختلف بعضها عن الآخر فخطوط الاولى هى بوجه عام أوضح خطوط الطيف وأجلاها ، وهى قابلة للعكس بمعنى أنها تظهر مظلمة فى طيف امتصاص المادة . والثانية خطوطها بوجه عام ليست دقيقة محدودة خلافاً للثالثة التى خطوطها رفيعة دقيقة . ومعادلة « كايزر » و « رونج » لتعيين هذه المتتاليات هى

$$\nu = ا - \frac{ب}{م^{٢}} - \frac{حـ}{م^{٤}} \quad . . . . . (٣)$$

---

(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 او The Sharp Series

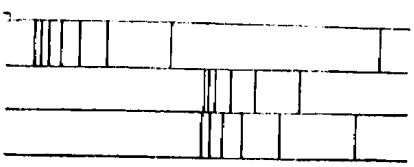
وفيها ا ، ب ، حـ مقادير ثابتة وهى فى المتتاليـــة الواحدة غيرها فى الاخرى وتختلف باختـلاف العناصر ، أما م فهو الذى تستبدل به الاعداد الطبيعية مبتدئة من ٣ للحصول على حدود المتتالية . ففى حالة الصوديوم مثلا تكون قيمات المقادير الثابتة ا ، ب ، حـ هى المدرجة فى الجدول الآتى

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

ومعادلة « ردبرغ » لتعيين هذه المتتاليات هى

$$\nu = ا - \frac{ر}{(م + و)^{٢}} \quad \ldots\ldots \quad (٤)$$

وفيها ر مقدار ثابت يسمى « ثابت ردبرغ »[1] ، وهو يعتبر واحداً فى أطياف جميع العناصر وقيمته العددية ١٠٩٦٧٥ والمقدار و مقدار ثابت ولكنه يختلف باختلاف العنصر ويختلف أيضاً باختلاف نوع المتتالية فى طيف العنصر الواحد ، والمقدار ا يمثـل النهاية التى تنتهى اليها قيمة حدود المتتالية عند ما يكثر عددها ، أما المقدار م فتستبدل به الاعداد الطبيعية مبتدئة من الواحد فى بعض الحالات ، ومبتدئة من الاثنين فى الاخرى . ومعادلة ردبرغ هى التى يعتمد عليها بوجه عام فى الوقت الحاضر وشكل (٣٢٤) يوضح كيفية توزع خطوط المتتاليات الثلاثة بعضها بالنسبة الى الآخر ، وفيه يمثل الصف الاعلى خطوط المتتالية الرئيسية ، والاوسط خطوط المتتاليـة 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



(شكل ٣٢٤)

---

(١) Rydberg's Constant

وقد لوحظ فى المتتاليات الثلاث أمران. أولهما أن القيمة النهائية التى تؤول اليها الحدود فى المتتاليتين الاضافيتين عند ما يكثر عددها من غير حد واحدة ، ويتضح هذا من الشكل حيث يلاحظ أن البعد بين كل خط وآخر فى الصفين الثانى والثالث ، يتضاءل ويقع فى النهاية الخط الأخير فى أحد الصفين على الخط الأخير فى الثانى . والامر الثانى أن الفرق بين العدد الموجى للخط الاخير فى المتتالية الرئيسية و بين العدد الموجى للخط الاخير المشترك فى المتتاليين الاضافيتين ، هذا الفرق يساوى بالتقريب العدد الموجى لاول خط من خطوط المتتالية الرئيسية

وجميع المعادلات المذكورة فيما سبق معادلات وضعية ، غير أن البحوث الحديثة فى تطبيق نظرية الكم أدت فى الحالات البسيطة كطيف الايدروجين والهليوم الى نتائج وجدت متفقة وهذه المعادلات لا سيما معادلة ردبرغ

٤١٣ — التشتت الشاذ وقانون كوندت

عند انكسار الضوء خلال المواد الشفافة المألوفة كالزجاج أو الماء ، يكون انحراف الاشعة الحمراء أقل من انحراف الاشعة البنفسجية ، ويزداد انحراف الاشعة الاخرى من الطرف الاحمر الى الطرف البنفسجى بترتيب ورودها فى الطيف ، غير أن التجارب التى أجريت فى المواد التى لها مناطق امتصاص خاصة فى الجزء المرئى من الطيف بينت أن انحراف الاشعة ذات الالوان المختلفة فى هذه المواد لا ينقاد الى النظام المذكور . فقد كشف «لرو»[1] سنة ١٨٦٠ أنه اذا أنفذ الضوء الابيض خلال منشور من بخار اليود كان انحراف الاشعة الحمراء اكبر من انحراف الاشعة الزرقاء ، واذن كان معامل انكسار الاشعة الحمراء فى بخار اليود اكبر من معامل انكسار الاشعة الزرقاء فيه . وأجرى «كرستيانزن»[2] بعد ذلك تجارب فى تشتت الضوء فى محلول الفوكسين فى الكحول ، واتخذ فى هذه التجارب لوحين من الزجاج يميل أحدهما على الآخر بزاوية قدرها درجة . ووضع بينهما محلول الفوكسين . فكان التوتر السطحى كفيلا بجعله يعلق بينهما . فدلت تجاربه على أن الاشعة البنفسجية أقل انحرافاً فى منشور الفوكسين من الحمراء ،

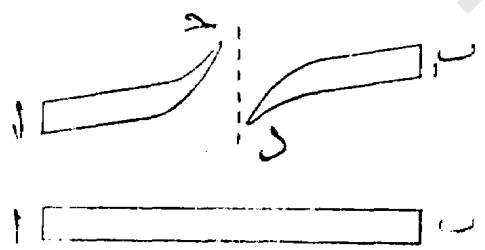
(١) Le Roux

(٢) Christiansen

وعلى أن ترتيب ظهور الالوان فى الطيف يبتدىء بالبنفسجى ، فتليه منطقة امتصاص ثم الاحمر والبرتقالى والاصفر ، بترتيبها المألوف ، حيث يلاحظ أن محلول الفوكسين كما سبق ذكره (بند ٣٩٤) لا ينفذ خلاله المنطقة الخضراء من الطيف

ونظراً لان تشتت الضوء فى مثل هذه الحالات يختلف عن تشتته المألوف فى المواد الشفافة كالزجاج والماء ، سمى ذلك التشتت « التشتت الشاذ » (١)

وقد توسع « كوندت » (٢) فى البحث فى ظاهرة التشتت الشاذ ونشر بحوثه فى هذا الموضوع سنتى ١٨٧١ ، ١٨٧٢ . واتبع فى تجاربه طريقة « نيوتن » المعروفة بطريقه المنشورين المتعامدين ، فاتخذ منشوراً من الزجاج ومنشوراً من المادة التى يراد دراسة تشتت الضوء فيها ، وجعل حرفى المنشورين متعامدين . فمثلا اذا وضع المنشور الزجاجى وحرفه الحارف رأسى بحيث يحرف الاشعة ويشتتها فى مستوى أفقى ، يجعل الحرف الحارف للثانى افقياً بحيث يحرف الاشعة ويشتتها فى اتجاه رأسى . فاذا كان الطيف الافقى ا ب (شكل ٣٢٥) يحدث بفعل المنشور الزجاجى وكان طرفه الاحمر عند ا والبنفسجى عند ب ، ووضع المنشور الثانى وحرفه الحارف أفقى ومشير الى أسفل ، فانه يحرف الطرف الاحمر ا الى أعلى بمقدار أقل من حرفه الطرف البنفسجى ب الى أعلى ويحرف الاشعة الاخرى ما بين ا ، ب بمقادير تزداد قيمتها كلما سرنا من ا نحو ب ،



(شكل ٣٢٥)

فيظهر الطيف الحادث بفعل المنشورين كشريط أحد طرفيه ا ، والآخر ب . هذا الا اذا كان تشتت الضوء فى المنشور الثانى من قبيل التشتت الشاذ ، فى هذه الحالة لا يظهر الطيف ا ، ب ، متصلا لوجود منطقة امتصاص ، ولا يزاد انحراف الأشعة بفعل المنشور الثانى الى أعلى ، ازدياداً مطرداً اذا سرنا من الطرف الاحمر نحو البنفسجى

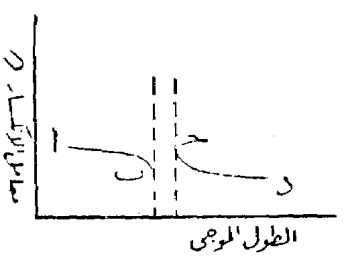
وقد دلت تجارب كوندت على أن ظاهرة التشتت الشاذ تحدث عند نفوذ الضوء فى منشور من مادة من ذوات اللون السطحى . وهى التى تعكس من الضوء الواقع على سطحها أشعة معينة

---

(١) Anomalous Dispersion (٢) Kundt

(ذات أطوال موجية معينة) عكساً خاصاً (انظر بند ١١١) وهـذه المواد بوجه عام تمتص عند نفوذ الضوء فيها الأشـعة التى تعكسها عكساً خاصاً ، ككثير من الصبغات الأنيلينية [1] فالتشتت الشاذ يحدث فى المواد التى لها مناطق امتصاص فى الجزء المرئى من الطيف . ودلت التجارب على أنه اذا ابتدأنا من الطرف الاحمر وسرنا نحو البنفسجى ، فالانحراف لا يزداد بالتدريج ، وانما يزداد ازدياداً كبيراً شاذاً متى قربنا من منطقة الامتصاص . كذلك اذا ابتدأنا من الطرف البنفسجى وسرنا نحو الأحمر فالانحراف يقل متى قربنا من منطقة الامتصاص بكيفية شاذة أيضاً ، وذلك كما هو مبين تخطيطياً فى شكل (٣٢٥) بالفرعين ا ح ، ب د بالترتيب . وتعرف هذه النتيجة أحياناً بقانون كوندت

ومعنى هذا أن معامل انكسار الضوء فى المادة التى يحدث فيها التشتت الشاذ لا يزداد ازدياداً تدريجياً مطرداً كلما نقص الطول الموجى (أو زاد تردد الضوء) كما يحدث فى الزجاج مثلا بل أن معدل هذه الزيادة يكبر بكيفية شاذة عند ما يقرب الطول الموجى للضوء من الطول الموجى الذى تمتصه المادة . وكذلك فان معامل الانكسار لاينقص نقصاً تدريجياً مطرداً كلما زاد الطول الموجى (أو قل تردد الضوء) بل أن معدل هذا النقص يكبر بكيفية شاذة عند ما يقرب الطول الموجى للضوء ، من الطول الموجى الذى تمتصه المادة . وتكون علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى كما هو مبين تخطيطياً بالرسم البيانى (شكل ٣٢٦) فى الحالة الأولى حيث يدينا نقص الطول الموجى من منطقة الامتصاص (المبين موضعها بالمستقيمين الرأسيين المتقطعين) فالعلاقة بين معامل الانكسار والطول الموجى تكون كالمبينة بالمنحنى د ح . وفى الحالة الثانية حيث يدينا زيادة الطول الموجى من منطقة الامتصاص . فالعلاقة تكون كالمبينة بالمنحنى ا ب ويلاحظ أنه وان كان معامل الانكسار ينقص تبعاً لزيادة الطول الموجى



(شكل ٣٢٦)

---

(١) يستثنى « وود » من هذه القاعدة بعض الصبغات الانيلينية مثل السيانين (Cyanin) فلهذه المادة منطقة امتصاص فى الجزء الأصفر من الطيف وتنفذ خلالها الاشعة الاخرى فى حين أنها تعكس أيضاً جميع الاشعة ذات الالوان المختلفة ما عدا الواقعة فى الجزء الأصفر من الطيف فالأشعة التى تعكسها تكاد لاتختلف عن الاشعة التى تنفذ فيها

Physical Optics Page 449

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

٤١٤ — بيان التشتت الشاذ عملياً

ليس من السهل دائماً بيان التشتت الشاذ عملياً . ولعل من أبسط الوسائل فى ذلك أن يستخدم سبكترسكوب معتاد ، ذو منشور من الزجاج . ويستبدل بالفتحة المستطيلة للمجمع ثقب مستدير . أو تقصر الفتحة المستطيلة المعتادة من طرفيها 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 البنفسجى كخط أفقى من الضوء . ثم يؤتى بمنشور أجوف من الزجاج زاويته صغيرة (درجة أو اثنتان) ويملأ بمحلول مركز جداً من المادة المراد اختبارها كمحلول السيانين فى الكحول . ويوضع هذا المنشور بين عدسة المجمع وبين المنشور الزجاجى أو بين هذا وبين شيئية التلسكوب ، بحيث يكون حرفه الحارف أفقياً ومشيراً الى أسفل . فيرى الطيف مزاحاً قليلا الى أعلى ومنقسما قسمين بينهما منطقة مظلمة هى منطقة امتصاص المادة ، والقسم الذى أحد طرفيه أحمر يرى طرفه القريب من منطقة الامتصاص مقوساً الى أعلى والقسم الآخر الذى أحد طرفيه بنفسجى يرى طرفه القريب من منطقة الامتصاص مقوساً الى أسفل ويظهر الطيف شبيهاً بالجزءين ا ، حـ ، د ، شكل (٣٢٥)

٤١٥ — النظرية الالكترونية فى التشتت

الفكرة الاساسية فى النظرية تتلخص فى أن الألكترونات فى الأجسام العازلة مقيدة بذرات المادة ، ولكنها قابلة للازاحة عن مواضعها اذا أثرت فيها قوة كهربائية ، أى اذا وضعت المادة فى

مجال كهربائى . ثم هى اذا أزيحت عن مواضعها فان القوة المقيدة لها والتى تعمل لارجاعها الى مواضعها الأولى تتناسب ومقدار الازاحة ، فتكون الالكترونات اذن قابلة لأن تتحرك حركة دورية بسيطة ذات مدة معينة تتعين بمقدار كتلة الالكترون، وبمقدار القوة التى تؤثر فيه عند ما تكون ازاحته الوحدة . وحركته هذه تسمى الاهتزازة الطبيعية للالكترون . فاذا رمزنا لازاحة الالكترون فى لحظة ما بالحرف س ولكتلته بالحرف ك وللقوة التى تؤثر فيه (وتعمل لارجاعه الى موضعه الاول) عند ما تكون ازاحته الوحدة بالحرف ق ، فان معادلة حركته الطبيعية تكون

$$\text{ك} \frac{\text{د}^2 \text{س}}{\text{د ن}^2} = - \text{ق س}$$

واذن مدة اهتزازته الطبيعية أو مدة اهتزازته المطلقة [1] كما تسمى أحياناً تكون

$$\text{ن}_0 = 2 \pi \sqrt{\frac{\text{ك}}{\text{ق}}}$$

أما اذا أثرت فى الالكترون قوة كهربائية مترددة ، كما يحدث مثلا بتأثير المجال الكهربائى المتردد فى الموجات الضوئية ، حدث فى الالكترون اهتزازة « قسرية »[2] تكون مدتها كمدة الدورة فى القوة المؤثرة لا كمدة الاهتزازة الطبيعية للالكترون

ولتطبيق هذه الفروض لشرح التشتت أى لبيان العلاقة بين معامل انكسار الضوء فى المادة وبين تردده أو طوله الموجى ، نعود الى النتيجة التى تفضى اليها النظرية المغناطيسية الكهربائية فيما يتعلق بمعامل انكسار الضوء وهى أن معامل انكسار الضوء فى المادة يساوى الجذر التربيعى لمعامل العازل لهذه المادة ، ونبحث أولا 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 مترددا كما هو الحال فى الموجات الضوئية

٤١٦ — ايجاد معامل العازل وفقاً للنظرية الألكترونية

فاذا فرضنا مثلا أن مكثفاً ذا صفيحتين متوازيتين بينهما فراغ قد شحنت احدى صفيحتيه

---

(١) Natural or Free Period of Vibration (٢) Forced Vibration

بشحنة موجبة ، والأخرى بشحنة سالبة تساويها ورمزنا لشدة المجال الكهربائى فى الفراغ بينهما بالرمز $م_{ك_1}$ ، فمن المعلوم أنه اذا وضع عازل بين الصفيحتين صارت شدة المجال عند وجود العازل اقل منها فى الفراغ ، فاذا رمزنا لشدة المجال عند وجود الغازل بالرمز $م_{ك_2}$. ورمزنا لمعامل العازل بالحرف ك . يكون

$$م_{ك_2} = \frac{1}{ك} م_{ك_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٢)$$

واذا رمز لشحنة الالكترون بالحرف ش تكون القوة الكهربائية المؤثرة فى الالكترون مساوية ش $م_{ك_2}$

وهذه القوة تحدث ازاحة فى الألكترون ، فاذا رمز لها بالحرف س كانت

$$ش\ م_{ك_2} = ن\ س \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٢)$$

ونظراً لأن شحنة الألكترون سالبة وعلى فرض أن القوى المقيدة للالكترونات جميعها (أى قيمة ن لها جميعاً) متساوية ، فان وجود العازل بين صفيحتى المكثف يجعل جميع الالكترونات الموجودة فى العازل تزاح نحو الصفيحة الموجبة بمقدار س . وبما أن جزيئات العازل فى حاله تعادل كهربائى ، فازاحة الالكترون فى جهة مقرون بظهور شحنة موجبة فى الجهة المضادة ، واذن تؤول ازاحة الالكترونات 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 فى حالة تعادل كهربائى . ويحدث من جراء ظهور هاتين الشحنتين السطحيتين مجال كهربائى مضاد للمجال الكهربائى الاصلى ، أى الذى كان موجوداً فى الفراغ . فاذا رمزنا لعدد الالكترونات فى وحدة الحجوم بالحرف ع ، فان الشحنة السطحية التى تظهر على وحدة المساحة من سطح العازل تكون ش ع س . واذن شدة المجال الحادث عن ظهور هاتين الشحنتين تكون مساوية ٤ ط ش ع س ، وبما أن هذا المجال مضاد للمجال الاصلى تكون شدة المجال عند وجود العازل مساوية

$$م_{ك_1} - ٤ ط ش ع س$$

$$\therefore \quad م_{ك_2} = م_{ك_1} - ٤ ط ش ع س \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٣)$$

وبالتعويض من (٢) ينتج أن

$$م_{ك_٢} = م_{ك_١} - \frac{٤ ط ش^٢ ع}{ن} م_{ك}$$

وبالقسمة على $م_{ك_٢}$ ينتج أن

$$١ = \frac{م_{ك_١}}{م_{ك_٢}} - \frac{٤ ط ش^٢ ع}{ن}$$

ومنه يتضح أن معامل العازل

$$ك = ١ + \frac{٤ ط ع ش^٢}{ن} \quad . . . . . \quad (٤)$$

٤١٧ — ايجاد معامل انكسار الضوء وفقاً للنظرية الألكترونية

أما اذا كان المجال المؤثر فى الالكترونات مترددا كما هو الحال عند وقوع الضوء على العازل ورمزنا لشدة هذا المجال فى أية لحظة بالرمز $م_{ك}$ ولمدة الدورة بالرمز $ة$ فان

$$م_{ك} = م_{ك_٠} \text{ حا } \frac{٢ ط}{ة} ن$$

حيث تكون $م_{ك_٠}$ قيمة النهاية العظمى لشدة المجال الكهربائى ، ويلاحظ أن $ة$ تكون مدة الدورة فى الضوء الوافع على العازل . فاذا رمزنا للمقدار $\frac{٢ ط}{ة}$ بالحرف و ، ينتج أن القوة الكهربائية المؤثرة فى الالكترون من جراء وقوع الضوء عليه تكون مساوية

$$ش م_{ك} = ش م_{ك_٠} \text{ حا } و ن$$

فتصير معادلة حركة الالكترون فى هذه الحالة هى

$$ك \frac{و^٢ س}{و ن^٢} = - ن س + ش م_{ك_٠} \text{ حا } و ن \quad . . . . . \quad (٥)$$

وهذه معادلة تفاضلية يمكن حلها واستخراج قيمة الازاحة س فى 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

$$س = ا \, حا \, ن \, ر + ب \, حتا \, ن \, ر \quad . . . . \quad (٦)$$

حيث تكون كل من ا ، ب مقداراً ثابتاً ، يمكن تقديره بالتعويض فى المعادلة (٥) .

فمن المعادلة (٦) ينتج أن

$$\frac{و \, س}{و \, ر} = ا \, ن \, حتا \, ن \, ر - ب \, ن \, حا \, ن \, ر$$

$$ك \frac{و^{٢} س}{و \, ر^{٢}} = - ا \, ن^{٢} حا \, ن \, ر - ب \, ن^{٢} حتا \, ن \, ر$$

فبالتعويض فى المعادلة (٥) ينتج أن

$$- ك \, ا \, ن^{٢} حا \, ن \, ر - ك \, ب \, ن^{٢} حتا \, ن \, ر = - م \, ا \, حا \, ن \, ر - م \, ب \, حتا \, ن \, ر + ش \, مك \, حا \, ن \, ر$$

فاذا كان المقدار $ن \, ر$ مساوياً $\frac{\pi}{٢}$ ينتج أن

$$- ك \, ا \, ن^{٢} + م \, ا = ش \, مك$$

ومنه ينتج أن

$$ا = \frac{ش \, مك}{م - ك \, ن^{٢}}$$

كذلك اذا كان المقدار $ن \, ر$ مساويا صفراً ينتج أن

$$- ك \, ب \, ن^{٢} + م \, ب = \text{صفراً}$$

ومنه ينتج أن

$$ب = \text{صفراً}$$

الا اذا كان م مساوياً $ك \, ن^{٢}$

اذن تكون قيمة الازاحة فى أية لحظة هى

$$س = \frac{ش \, مك}{م - ك \, ن^{٢}} \, حا \, ن \, ر \quad . . \quad (٧)$$

obeikandl.com

وبما أن $\omega = \frac{٢\pi}{ق}$ باعتبار أن ق مدة الدورة فى المجال الكهربائى أو مدة الدورة فى الضوء

و $\frac{ك}{ن} = \frac{ق_١^٢}{٤\pi^٢}$ (أنظر صفحة ٦٥٠)

باعتبار أن $ق_١$ مدة الاهتزازة الطبيعية للالكترون ، ينتج بالتعويض فى المعادلة (٧) أن

$$س = \frac{ش\ م_ك}{٤\pi^٢ ك^٢ \left(\frac{١}{ق_١^٢} - \frac{١}{ق^٢}\right)} حا\ و\ ن \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٨)$$

وبما أن علاقة شدة المجال فى العازل (وهى $م_{ك_٢}$) بشدة المجال فى الفراغ (وهى $م_{ك_١}$) هى طبقاً للمعادلة (٣) وهى

$$م_{ك_٢} = م_{ك_١} - ٤\pi\ ش\ ع\ س$$

و شدة المجال فى العازل فى أية لحظة فى الحالة التى نحن بصددها هى $م_{ك_٢} = م_{ك_٠} حا\ و\ ن$

و $م_{ك_١} = ك\ م_{ك_٠} حا\ و\ ن$

ينتج بالتعويض فى المعادلة (٣) عن $م_{ك_٢}$ و $م_{ك_١}$ قيمتيها المذكورتين وعن س قيمتها من المعادلة (٨) أن

$$م_{ك_٠} حا\ و\ ن = ك\ م_{ك_٠} حا\ و\ ن - ٤\pi\ ع\ ش^٢ \frac{م_{ك_٠} حا\ و\ ن}{ا\pi^٢ ك^٢ \left(\frac{١}{ق_١^٢} - \frac{١}{ق^٢}\right)}$$

ومنه ينتج أن

$$ك = ١ + \frac{ع\ ش^٢}{\pi\ ك \left(\frac{١}{ق_١^٢} - \frac{١}{ق^٢}\right)}$$

وباعتبار أن م معامل انكسار الضوء ، اذن

$$م^{٢} = ١ + \frac{ع\ ش^{٢}}{ط\ ك \left(\frac{١}{ة_{١}^{٢}} - \frac{١}{ة^{٢}} \right)} \quad \ldots\ldots (٩)$$

والتردد الطبيعى للالكترونات هو تردد الضوء الذى تمتصه المادة امتصاصاً خاصاً أو تشعه هى لو كانت فى حالة اشعاع فاذا رمزنا للطول الموجى فى الفراغ للضوء الذى تمتصه المادة امتصاصاً خاصاً بالرمز $ل_{١}$ ولسرعة الضوء فى الفراغ بالحرف $ح$ ، فان

$$ة_{١} = \frac{ل_{١}}{ح}$$

كذلك اذا رمزنا للطول الموجى فى الفراغ للضوء الواقع على المادة بالحرف $ل$ ، فان

$$ة = \frac{ل}{ح}$$

$$\therefore\ م^{٢} = ١ + \frac{ع\ ش^{٢}}{ط\ ك\ ح^{٢} \left(\frac{١}{ل_{١}^{٢}} - \frac{١}{ل^{٢}} \right)}$$

$$= ١ + \frac{ع\ ش^{٢}\ ل_{١}^{٢}}{ط\ ك\ ح^{٢}} \cdot \frac{ل^{٢}}{ل^{٢} - ل_{١}^{٢}} \quad \ldots\ldots (١٠)$$

٤١٨ — شرح التشتت

ومن هذه المعادلة يتضح أن معامل انكسار الضوء يتوقف على قيمة $ل$ أى على الطول الموجى للضوء ، فهو يختلف باختلاف الطول الموجى . وهذا ما يدعو الى حدوث التشتت . أما كيفية تغير معامل الانكسار بتغير الطول الموجى فتتوقف لا على قيمة الطول الموجى للضوء فحسب بل على قيمة الطول الموجى للضوء (أو بوجه عام للاشعاع) الذى تمتصه المادة امتصاصاً خاصاً . فاذا فرضنا أن $ل$ (الطول الموجى للضوء) أكبر كثيراً من $ل_{١}$ (الطول الموجى الذى تمتصه المادة) فان المقدار

$$\frac{ل^{٢}}{ل^{٢} - ل_{١}^{٢}}$$

يكون مساوياً الواحد بالتقريب ويكون معامل الانكسار طبقاً للمعادلة

$$م^{٢} = ١ + \frac{٤ ث^{٢}}{ط ك ص^{٢}} ل_{١}^{٢}$$

وتنطبق هذه النتيجة على مايستنبط رأساً من المعادلة (٤) التى يتعين بها قيمة معامل العازل عند ما يكون المجال الكهربائى ثابتاً غير متردد

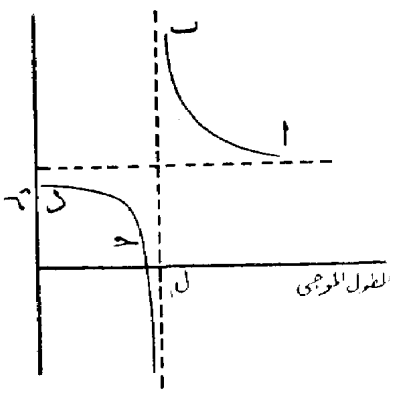
ولكن اذا قلت قيمة ل بحيث تدنو من قيمة ل$_{١}$ كما يحدث اذا سرنا نحو الطرف البنفسجى من الطيف مقتربين من منطقة الامتصاص ، فالمقدار

$$\frac{ل^{٢}}{ل^{٢} - ل_{١}^{٢}}$$

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

$$ل = ل_{١}$$

صار معامل الانكسار لا نهائياً . ويتضح هذا من الرسم البيانى بشكل (٣٢٧) حيث تمثل علاقة م^{٢} بالطول الموجى، بالمنحنى ا ب بحيث اذا نقص الطول الموجى للضوء مقترباً من قيمة ل$_{١}$ يزداد مربع معامل الانكسار بالكيفية المبينة بالمنحنى ا ب حيث يلاحظ أن معدل الزيادة يزداد كلما قربت قيمة الطول الموجى الضوء من قيمة ل$_{١}$ حتى اذا صار مساوياً ل$_{١}$ صار معامل الانكسار لا نهائياً

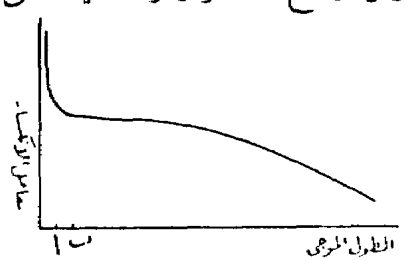


(شكل ٣٢٧)

أما اذا كان الطول الموجى للضوء (ل) أصغر من الطول الموجى الذى تمتصه المادة (ل$_{١}$) فقيمة مربع معامل الانكسار (المعادلة ١٠) تكون أقل من الواحد ، وكلما نقص الطول الموجى للضوء قربت قيمة معامل الانكسار من الواحد . حتى اذا صار الطول الموجى صفراً صار معامل الانكسار مساوياً الواحد وعلاقة م^{٢} بالطول الموجى للضوء فى هذه الحالة تمثل بالمنحنى ح د (شكل ٣٢٧) ومنه يتضح أن نقص الطول الموجى للضوء مع الابتعاد عن منطقة الامتصاص يزيد فى مربع معامل الانكسار ولكن معدل الزيادة يقل كلما نقص الطول الموجى

كما أن معامل الانكسار للموجات التى طولها أصغر قليلا من الطول الموجى الذى تمتصه المادة يكون أصغر كثيراً من معامل الانكسار للموجات التى طولها اكبر قليلا من الطول الموجى الذى تمتصه المادة . ويتضح من الشكل أيضاً أنه اذا كان الطول الموجى للضوء أصغر قليلا من الطول الموج الذى تمتصه المادة ولكنه يكاد يساويه فان مربع معامل الانكساريكون مقداراً سالباً أى أن معامل الانكسار يكون تخيلياً فكأن المادة فى هذه الحالة لا تنفذ الضوء بتاتاً

هذه النتائج متفقة ونتائج البحوث التى أجريت فى ظاهرة التشتت الشاذ بل أن نتائج النظرية الالكترونية تبين أن ما سمى شذوذاً فى التشتت هو القاعدة ، فالتشتت المألوف الذى يحدث فى الاجسام الشفافة كالماء أوالزجاج مثلاحيث يزداد معامل الانكسار كلما نقص الطول الموجى ويزداد معدل الزيادة فى أثناء ذلك ، هو جزء من كل يمثل بالمنحنى ا ب (شكل ٣٢٧) ويكون على حسب النظرية دالا على أن نقص الطول الموجى يدنى من منطقة امتصاص ، فهو يدل على وجود منطقة امتصاص فيما بعد البنفسجى من الطيف كما هو الواقع فى هذه المواد . ولم تدل التجارب العملية على أن هناك مواداً شفافة يتغير فيها مربع معامل انكسار الضوء تبعاً لتغير الطول الموجى بالكيفية المبينة بالمنحنى حـ د . ولكن يلاحظ فى هذه الحالة أن معامل الانكسار ولو أنه يقل تبعاً لزيادة الطول الموجى فان معدل النقص يزداد ، وزيادة الطول الموجى هنا يدنى من منطقة الامتصاص فلو كانت للمادة الشفافة خط امتصاص أو شريط امتصاص بعيدة فيما دون الاحمر ، فان معامل الانكسار للاطوال الموجية الطويلة ينتظر أن يتغير بمثل هذه الكيفية المبينة بالخط المنحنى د حـ اذا قربنا من خط الامتصاص أو شريط الامتصاص، فيكون تحدب المنحنى الدال على علاقة مربع معامل الانكسار بالطول الموجى مشيراً الى أعلى لا الى أسفل . وقد دلت التجارب التى أجريت لتعيين معامل انكسار المواد الشفافة مثل الفلوريت والكوارتز والملح الصخرى والسلفيت على أن المنحنى الدال على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى وان كان تحدبه مشيراً الى أسفل فى الجزء المرئى من الطيف فانه اذا تجاوزت التجارب الجزء المرئى الى ما دون الاحمر يتغير تحدب المنحنى ويصير مشيراً الى أعلى وشكل (٣٢٨)



(شكل ٣٢٨)

يوضح علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى للفلوريت ، حيث امتدت التجارب الى حوالى الطول الموجى المساوى ٠,٠٠١ من السنتيمتر . فالجزء المرئى من الطيف محصور بين النقطتين ا ، ب وعنده يرى تحدب المنحنى مشيراً الى أسفل ، أما بالنسبة الى الاطوال الموجية الكبيرة فالمنحنى يتغير بحيث يصير تحدبه 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 ν_0 ، ولاختلاف عدد الالكترونات لكل فئة لأن الالكترونات جميعها ذات كتلة واحدة وشحنة واحدة ، فتتحول المعادلة الى الصورة الآتية

$$\mu^2 = 1 + \frac{ع_1 ش^2}{ط\, ك \left(\frac{1}{\nu_0^2} - \frac{1}{\nu_1^2}\right)} + \frac{ع_2 ش^2}{ط\, ك \left(\frac{1}{\nu_0^2} - \frac{1}{\nu_2^2}\right)} + \frac{ع_3 ش^2}{ط\, ك \left(\frac{1}{\nu_0^2} - \frac{1}{\nu_3^2}\right)}$$

و يمكن وضعها فى الصورة الآتية

$$\mu^2 = 1 + \sum \frac{ع_n ش^2}{ط\, ك \left(\frac{1}{\nu_0^2} - \frac{1}{\nu_n^2}\right)} \quad \ldots\ldots (11)$$

٤١٩ — الانعكاس والامتصاص المقرونان بالتشتت 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

$$\frac{ش\, ملك}{٤\, ط^2 ك \left(\frac{1}{\nu_0^2} - \frac{1}{\nu_1^2}\right)}$$

ويساوى هذا المقدار اتساع الاهتزازة القسرية الحادثة فى الالكترون بفعل الموجة الضوئية

فاذا اتفق ان كان تردد الضوء والتردد الطبيعى للالكترون متساويين ، فان اتساع الاهتزازة يكون (نظرياً) لا نهائياً ، فيحدث رنين شبيه بالرنين المألوف حدوثه فى الصوت . وفى هذه الحالة تنقاد الالكترونات انقيادا تاماً للمجال الكهربائى ، فتصبح الالكترونات فى العازل كأنها ليست مقيدة ، واذن يبطل الفرق المفروض على حسب النظرية الالكترونية بين العازل وبين الموصل . فاذا كان الامر كذلك أصبح للعازل فى هذه الحالة صفة الموصل ، ومن المعروف عن الموصلات التى هى جيدة التوصيل للكهربائية أنها جيدة العكس [1] أيضاً وسبب ذلك أن تحرك الالكترونات المطلقة فى الموصل يعمل فى تساوى جهده الكهربائى أى يؤدى الى انعدام المجال الكهربائى فى الموصل ، فيتلاشى المجال الكهربائى المتردد فى 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 التردد الطبيعى للالكترونات عكساً تاماً كما يحدث فى حالة الموصل . وهذا تعليل حدوث ظاهرة التشتت الشاذ فى الاجسام ذات اللون السطحى ، وهى التى تعكس اشعاعاً ذا طول موجى معين عكساً شديداً

ولكن أغفل فى النظرية الالكترونية فى التشتت عامل قد يكون له تأثير كبير عند حدوث الرنين المذكور أى عند ما يزداد اتساع الاهتزازة القسرية ازديادا كبيراً وتزداد أيضاً النهاية العظمى لسرعة حركة الالكترونات . وهذا العامل هو المقاومة . فاذا فرض أن هناك مقاومة تقاوم حركة الالكترونات وتزداد تبعاً لزيادة سرعتها ، فان اتساع الالكترونات 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 للالكترونات لا يكون تاماً . وثانيهما أن الطاقة الضوئية التى لا تنعكس وتنفذ ، تستنفد فى الشغل المبذول لتحريك الالكترونات ضد قوى المقاومة المذكورة ، فكأن هذه الطاقة تمتصها المادة ولا تكاد تنفذ فيها . والى هذا يرجع السبب فى أن ظاهرة التشتت الشاذ تحدث

---

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

بالقرب من منطقة امتصاص ، وهى مقرونة بحدوث الامتصاص الخاص

واغفال قوى المقاومة فى استنباط معادلة التشتت وهى التى تدل على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى للضوء، يجعل هذه المعادلة غير صحيحة بالنسبة الى الضوء الذى موضعه فى الطيف ينطبق على موضع خط الامتصاص أو شريط الامتصاص للمادة ، أى أن المعادلة المذكورة تبين علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى ما دام الطول الموجى أطول أو أقصر من الطول الموجى لخط الامتصاص أو ما دام خارج حدى شريط الامتصاص

٤٢٠ — معادلة كوشى وسلماير فى التشتت

والنظرية الالكترونية التى استنبطنا على أساسها معادلة التشتت التى راعيناها فيما سبق ، قد سبقتها بحوث لشرح التشتت كانت مبنية على أساس نظرية الصلب المرن استنبطت منها معادلات تدل على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى . ومن أسبق هذه البحوث بحث نشره « كوشى » [1] سنة ١٨٣٥ ، بين فيه أن سرعة انتشار الموجة لا تكون مرتبطة بالطول الموجى اذا كان الطول الموجى كبيراً جدا بالنسبة الى الازاحة الحادثة فى دقائق الوسط المتموج . أما اذا كانت الازاحة لا يغفل قدرها بالنسبة الى الطول الموجى ، فان سرعة الموجة تتوقف على الطول الموجى ، وذهب كوشى الى أن الازاحة الحادثة فى الاوساط الشفافة التى ينكسر فيها الضوء كبيرة لا يصح اغفالها بالنسبة الى الطول الموجى ، واستنبط معادلة تدل على العلاقة بين معامل الانكسار والطول الموجى ، تعرف بمعادلة « كوشى » وتنص على أن

$$م = ١ + \frac{ب}{ل^{٢}} + \frac{حـ}{ل^{٤}} + \ldots\ldots$$

باعتبار أن م رمز لمعامل الانكسار ، ل للطول الموجى ، ١ ، ب ، حـ مقادير ثابتة

ومعادلة كوشى هذه يصح أن نتخذها دالة على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى فى حالة الاجسام الشفافة المألوفة كالزجاج والماء . فاذا رمز للمقدار

---

(١) Cauchy

$$\frac{٤ ش^{٢} ل_{١}^{٢}}{ط ك_{ص}^{٢}}$$

فى المعادلة (١٠) بند (٤١٧) بالحرف $ر$ فان هذه المعادلة تفضى الى الصورة الآتية

$$ر^{٢} = ١ + \left(\frac{ل_{١}^{٢}}{ل^{٢}} - ١ \right) ر^{-١}$$

فاذا كان الطول الموجى للضوء (وهو $ل$) كبيراً جداً بالنسبة الى الطول الموجى الذى تمتصه المادة (وهو $ل_{١}$) ، 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 « سلماير »[1] سنة ١٨٧١ نظرية لشرحها بناها أيضاً على نظرية الصلب المرن . ولكنه ذهب الى أن جزيئات المادة الذى يحدث فيها الانكسار أو ذراتها قابلة للاهتزاز فاذا 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 للجزئيات ، حدث ما يشبه الرنين . وصار اتساع الاهتزازة كبيراً جداً . وهذه الفروض لاتختلف فى الجوهر عن الفروض التى قامت عليها النظرية الالكترونية فى التشتت ، وأدت فعلا الى معادلة تدل على علاقة معامل الانكسار بالطول الموجى تعرف بمعادلة « سلماير » تنص فى صورتها البسيطة (باعتبار أن الجزيئات جميعها متشابهة وذات مدة طبيعية واحدة) على أن

$$ر^{٢} = ١ + \frac{ا ل^{٢}}{ل^{٢} - ل_{١}^{٢}}$$

باعتبار أن $ا$ مقدار ثابت ، وهى معادلة متفقة ومعادلة التشتت التى استنبطت على أساس النظرية الالكترونية

---

(١) Sellmeier