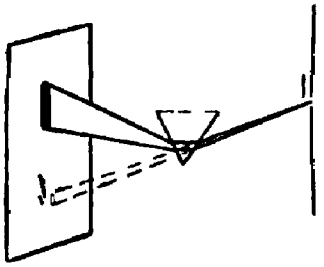
الباب الخامس

التشتت والالوان

١٠٤ – تجارب نيوتن فى تشتت الضوء

أجرى نيوتن تجارب جعل فيها حزمة من أشعة الشمس تنفذ من فتحة صغيرة مستديرة مثل ا (شكل ٨٨) فى حاجز الى غرفة مظلمة ووضع فى مسيرها منشوراً ثلاثيا من الزجاج جعل حرفه الحارف أفقياومشيرا الى أسفل كما هو مبين بالشكل فرأى أن الأشعة التى تنفذ من المنشور لا تكون بيضاء بل تكون ذات ألوان عدة بحيث اذا وقعت على حائط أبيض مقابل للثقب ظهرت عليه كشريط ملون طرفه الأسفل أحمر وطرفه الأعلى بنفسجى يمكن تمييز سبعة ألوان أساسية فيه هى بالترتيب الأحمر والبرتقالى والأصفر والأخضر والأزرق والنيلى والبنفسجى وتعرف الألوان السبعة المذكورة بالألوان الرئيسية فى الطيف حيث يسمى هذا الشريط الطيف[1] أوبالأحرى طيف ضوء الشمس. والتجربة تدل على أن الضوء الأبيض عند نفوذه خلال المنشور يتشتت الى عدة أضواء ملونة تعانى عند خروجها من المنشور انحرافات مختلفة وأقلها انحرافاً الضوء الأحمر وأكثرها انحرافاً البنفسجى ويزداد انحرافها بتتيب ظهورها فى الطيف من الطرف الأحمر الى الطرف البنفسجى ولذلك تسمى الظاهرة ظاهرة « التشتت اللونى »[2] أو بايجاز ظاهرة التشتت



(شكل ٨٨)

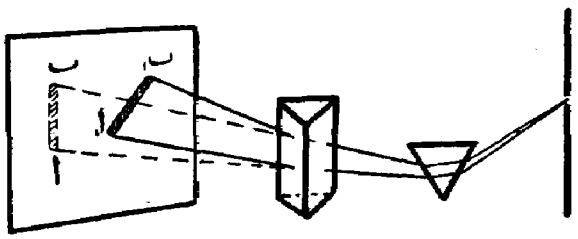
واختلاف انحراف الاشعة تبعاً لاختلاف ألوانها يدل على اختلاف معامل انكسار الضوء

---

(١) Spectrum (٢) Chromatic Dispersion

تبعاً لاختلاف لونه ولما كانت الاشعة الحمراء أقلها انحرافاً والبنفسجية أكثرها انحرافاً فان معامل انكسار الأشعة الحمراء أقل ومعامل انكسار الأشعة البنفسجية أكبر ويكون معامل انكسار الاشعة الأخرى بين هذا وذاك بترتيب وجودها فى الطيف

ووضع نيوتن فى بعض تجاربه منشوراً آخر شبيها بالأول بحيث يكون حرفه الحارف رأسياً كما هو مبين بشكل (٨٩) فالمنشور الأول يحرف الأشعة فى اتجاه رأسى ويحدث لو كان على حدته الطيف ا ب بحيث يكون ا طرفه الأحمر و ب طرفه البنفسجى ولكن وجود المنشور الثانى يحرفها فى اتجاه أفقى بعيداً عن حرفه الحارف فيحرف الطرف الأحمر ا الى ا ، والطرف البنفسجى ب الى ب ، بمقدار أكبر ويؤدى وجود المنشورين معاً الى طيف واحد هو ا ب ، بحيث يكون انحراف الاشعة ذات الالوان المختلفة فيه هو الناتج بتحصيل الانحراف الحادث بفعل أحد المنشورين مع الانحراف الحادث بفعل الآخر ويقال عن المنشورين اللذين يكون طرفاهما الحارفان متعامدين انهما متعامدان



(شكل ٨٩)

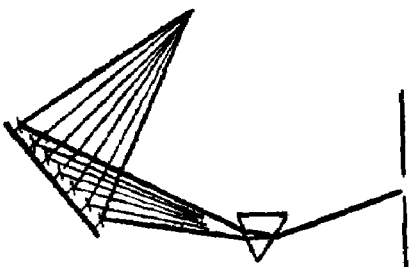
واختبر نيوتن أيضاً ما يحدث اذا كان الضوء الواقع على المنشور ذا لون واحد فجعل الضوء النافذ من المنشور الأول يقع على حاجز به فتحة صغيرة بحيث ينفذ منها ضوء جزء صغير من الطيف وجعل الضوء النافذ منها يقع على حاجز آخر به فتحة صغيرة أيضاً حتى يكون الضوء النافذ منها ذا لون يكاد يكون نقياً ثم جعل الأشعة التى تنفذ من هذه الفتحة تقع على منشور شبيه بالأول فشاهد أنها تنحرف بفعل هذا المنشور دون أن يتغير لونها

فاستدل نيوتن من مثل هذه التجارب على أن الضوء الأبيض يتركب من أضواء الطيف الملونة وان فعل المنشور فيه هو تفريق هذه الأضواء بعضها عن الآخر من جراء اختلاف انحرافها عند نفوذها فى المنشور وان فعل المنشور فى الواحد من هذه الاضواء انما هو حرفه عن مسيره الاول بقدر معين

وكذلك أجرى نيوتن تجارب لبيان أن تجمع أضواء الطيف المختلفة يؤدى الى ضوء أبيض

ويمكن بيان هذا بطرق عدة فالاشعة الملونة النافذة من منشور كما فى التجارب السابقة اذا نفذت خلال منشور آخر مشابه للاول ومن مادته وموضوع بحيث اذا كان الحرف الحارف للاول أفقياً ومشيراً الى أسفل كان الحرف الحارف للثانى أفقياً ومشيراً الى أعلى وبحيث يكون السطح الواقع عليه الضوء من أحدهما موازياً للسطح الذى يخرج منه من الآخر فان الاشعة تخرج من الثانى بيضاء موازية لمسيرها قبل وقوعها على الاول ويكون الضوء كأنه اخترق كتلة من الزجاج محدودة بسطحين متوازيين

كذلك اذا وقع الطيف على سطح مرآة مقعرة فان الاشعة المنعكسة تلم فى موضع يكون الضوء عنده أبيض أو اذا وقع على عدة مرايا صغيرة مثبتة كما بشكل (٩٠) بحيث يمكن امالتها على حسب الارادة وهيئت بحيث تعكس كل واحدة منها الضوء الواقع عليها الى نقطة واحدة حدث من تجمع الاضواء الملونة عند هذه النقطة ضوء أبيض



(شكل ٩٠)

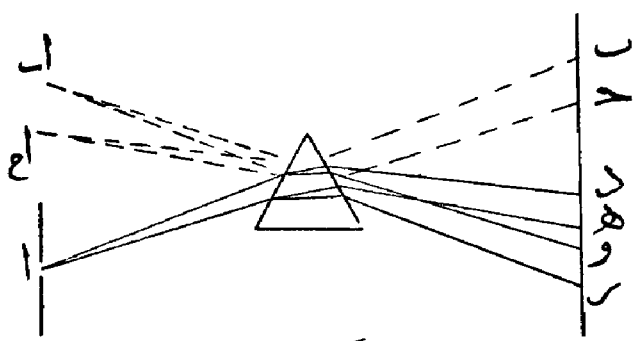
كذلك اذا أخذ قرص مقسم سطحه الى قطاعات ملونه بألوان الطيف بحيث تكون النسب بين مساحاتها كالنسب بين شدات الالوان الأساسية فى الطيف بوجه تقريبى وأدير القرص بسرعة حول محور مار بمركزه عمودى على سطحه ظهر لونه أبيض فنظراً لاستمرار تأثر العين فان الاضواء ذات الالوان المختلفة تقع على العين وهى لا تزال متأثرة بسواها فيكون التأثير العام كأن الاضواء المختلفة تقع عليها فى آن واحد وتعرف هذه التجربة بتجربة قرص نيوتن

١٠٥ — الحصول على طيف نقى

استخدم نيوتن فى تجاربه فى تشتت الضوء فتحة مستديرة ضيقة جعل أشعة الشمس تنفذ منها الى غرفة مظلمة فلو وقعت هذه الاشعة على حاجز أبيض دون أن تنفذ فى المنشور أحدثت صورة للشمس تتكون عند ا (شكل ٨٨) كما تتكون الصور بفعل ثقب صغير من جراء انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة ولو كان الضوء ذا لون واحد فان الصورة الحادثة يكون

لونها لون هذا الضوء فاذا وضع المنشور فى مسيرها انحرفت الاشعة وحدثت الصورة على الحاجز فى مكان آخر فاذا اعتبرنا الضوء الابيض يتشتت بفعل المنشور الى أضواء الطيف الملونة اتضح أن الطيف الحادث على الحاجز فى تجارب نيوتن هو فى الحقيقة مجموعة صور للشمس وهذه الصور ملونة بألوان الطيف أقلها انحرافاً الصورة الحمراء وأكثرها انحرافاً البنفسجية وهى واقعة بعضها على الآخر فلا تكون ألوان الطيف نقية ويقال عن الطيف فى هذه الحالة أنه غير نقى

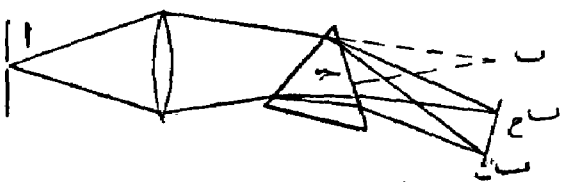
وللحصول على الطيف النقى طرق مختلفة . وأبسطها للحصول على طيف تقديرى نقى أن توضع فتحة مستطيلة ضيقة ا (شكل ٩١) تضاء بضوء أبيض بحيث تسقط الاشعة النافذة منها على منشور موضوع وحرفه الحارف موازٍ للفتحة ويهيأ المنشور بحيث تكون زاوية انحراف الضوء النهاية الصغرى لزاوية الانحراف . فاذا وضع فى الجانب الآخر من المنشور حاجز كالمبين بالشكل فان الحزمة البيضاء التى كانت تقع على الحاجز فى الموضع ب حـ لولا وجود المنشور تتشتت بحيث تقع الحمراء منها عند د هـ مثلا والبنفسجية عند و ر والحزم ذات الالوان الاخرى بين هذه وتلك على حسب ترتيبها الطيفى ولو ان الطيف الحادث على الحاجز فى هذه الحالة أيضاً لا يكون نقياً فانه نظراً لأن زاوية الانحراف عند نهايتها الصغرى (راجع بند ٦٢) فالحزمة الحمراء الخارجة من المنشور تكون كأنها صادرة من الصورة اع والحزمة البنفسجية تكون كأنها صادرة من الصورة ا ويكون الطيف التقديرى اع ا الذى يرى اذا وقعت الأشعة النافذة من المنشور على العين طيفاً نقياً



(شكل ٩١)

ويلاحظ أن وضع المنشور لكى يكون انحراف الأشعة الحمراء عند نهايته الصغرى يختلف قليلا عن وضعه عند ما يكون انحراف الاشعة البنفسجية عند نهايته الصغرى ولذلك يهيأ المنشور فيما سبق بحيث يكون انحراف شعاع أوسط بين الطرف الاحمر والطرف البنفسجى كالاصفر أو الاخضر مثلا عند نهايته الصغرى

أما للحصول على طيف حقيق نقى فيستعان ببعض العدسات اللامة وأبسط طريقة لذلك أن تهيأ فتحة مستطيلة ضيقة ا (شكل ٩٢) تضاء بضوء أبيض وتوضع عدسة لامة [١] بحيث تحدث عند ب على حاجز أبيض صورة حقيقية للفتحة ا ثم يوضع المنشور ح بحيث يكون حرفه الحارف موازياً للفتحة وفى وضع يجعل زاوية انحراف شعاع متوسط بين الطرف الأحمر والطرف البنفسجى عند نهايتها الصغرى . فالاشعة الحمراء التى كانت تلم عند ب قبل وضع المنشور تلم عند ب ح عند نفوذها فيه كذلك الاشعة البنفسجية التى كانت تلم عند ب تلم عند ب ي بعد نفوذها من المنشور وهكذا بالنسبة الى سائر الاشعة ذات الالوان الاخرى فيتكون الطيف ب ح ب ي ويكون



(شكل ٩٢)

بمثابة مجموعة صور دقيقة للفتحة ا فاذا كانت الفتحة ضيقة كانت هذه الصور ضيقة فيكاد لا يقع بعضها على الآخر واذن يحصل عند ب ح ب ي طيف حقيق نقى

ويمكن وضع المنشور ح فى الجانب الآخر من العدسة وتتضح الفكرة الاساسية فى هذا بالرجوع الى شكل (٩١) فعند تهيئة المنشور فى الوضع الذى تكون فيه زاوية الانحراف عند نهايتها الصغرى تكون الاشعة النافذة من المنشور كأنها صادرة من الطيف التقديرى ا ح ا ي (شكل ٩١) فوضع العدسة فى مسير هذه الاشعة على بعد مناسب يجعلها تحدث صورة حقيقية للطيف التقديرى النقى فيتكون الطيف الحقيقى النقى

١٠٦ — السپكترسكوب أو مبين الاطياف

ومن أصلح الاجهزة للحصول على طيف نقى جهاز يسمى السبكترسكوب أو مبين الاطياف أو السبكترومتر [٢] وهو يتركب من ثلاثة أجزاء أساسية

أولا فتحة مستطيلة ضيقة ا (شكل ٩٣) وعدسة لامة [٣] ب فى طرفى أنبوبة مصنوعة من أنبوبتين تزلق احداهما داخل الاخرى كما هو مبين بالشكل بحيث يتسنى تغيير البعد بين الفتحة

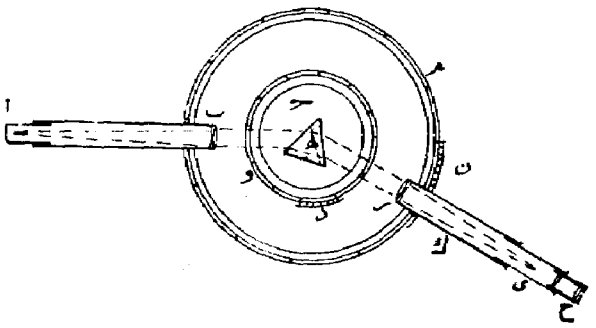
---

(١) يحسن أن تكون لا لونية أنظر الباب السابع

(٢) Spectrometer, Spectroscope

(٣) هذه العدسة تكون عادة لا لونية

والعدسة حتى يمكن جعله مساوياً البعد البؤرى للعدسة ويسمى هذا الجزء من السپكترسكوب بمجمع الضوء أو « الكليماتور » [١] ويثبت هذا المجمع بحيث يكون محوره أفقياً وفتحته رأسية



(شكل ٩٣)

(ثانياً) منشور ثلاثى من الزجاج يوضع على قاعدة مستديرة أفقية مدلول عليها فى الشكل بالحرف ح وهى قابلة للدوران حول محور رأسى مار بمركزها ه ويتصل بها ورنية د تتحرك حول محيط دائرة مدرجة و بحيث يتسنى ادارة القاعدة حول محورها وتقدير زاوية الدوران عند اللزوم والقاعدة قابلة للارتفاع والانخفاض

(ثالثاً) تلسكوب فلكى ر ح يتركب من شيئية لامة [٢] ر وقطعة عينية ح والعينية مثبتة فى أنبوبة اسطوانية قابلة للانزلاق داخل أنبوبة أخرى ى مثبت فيها وعلى بعد يكاد يساوى البعد البؤرى للعينية خيطان متعامدان أحدهما أفقى والآخر رأسى يتحدد بهما موضع ثابت فى مجال النظر ويجعل الخيطان فى أكثر الأجهزة الحديثة متقاطعين غير متعامدين تحدد نقطة تقابلهما الموضع الثابت فى مجال النظر والانبوبة ى نفسها قابلة للانزلاق داخل الانبوبة ك المثبتة فى نهايتها العدسة الشيئية والتلسكوب محمول على حامل بحيث يكون محوره فى مستوى أفقى واحد مع محور المجمع والتلسكوب قابل للدوران حول المحور الرأسى المار بالمركز ه ويتصل بالتلسكوب ورنية ن تتحرك حول محيط دائرة مدرجه مـ

والفكرة الأساسية فى الجهاز تتلخص فى أنه اذا أضيئت فتحة المجمع بضوء أبيض مثلا تنفذ الأشعة من المجمع متوازية فتقع على المنشور وتتشتت فتخرج منه حزم من الاضواء ذات الألوان المختلفة منحرفة بزوايا مختلفة ولكن كل حزمة ذات لون واحد منها تكون أشعتها متوازية فتسقط هذه الحزم على شيئية التلسكوب فتلم الشيئية كل واحدة من هذه الحزم على بعد منها يساوى بعدها البؤرى ولكن فى مواضع مختلفة نظراً لاختلاف ميل هذه الحزم بعضها بالنسبة الى الآخر عند سقوطها عليها واذن يتكون بفعل الشيئية طيف حقيقى نقى مصغر فى

---

(١) Collimator

(٢) هذه العدسة تكون عادة لا لونية

المستوى البؤرى للشيئية وهذا الطيف ينظر اليه خلال العينية فيرى مكبراً

١٠٧ — كيفية اعداد السپكترسكوب للاستعمال

ومن الضرورى أن تخرج الأشعة من المجمع متوازية حتى يمكن رؤية الطيف واضحاً بالنظر خلال التلسكوب ولذلك لا بد قبل استعمال الجهاز من ضبطه وأعداده . وأبسط وسيلة لاعداده للاستعمال أن يبتدأ أولا بالتلسكوب فتحرك الأنبوبة المثبتة فيها العينية بالنسبة الى الأنبوبة ى المثبت فيها الخيطان المتقاطعان حتى يرى الخيطان خلال العينية واضحين دقيقين ثم تحرك الانبوبة ى بالنسبة الى الأنبوبة ك المثبتة فى نهايتها الشيئية حتى اذا نظر خلال التلسكوب الى جسم بعيد جداً رؤيت صورته واضحة ويمكن فى أكثر الاجهزة اجراء هذه العملية الاخيرة وهى عملية تهيئة التلسكوب لرؤية الجسم البعيد بوساطة مسمار لولبى معد لكى تنزلق بادارة رأسه الانبوبة ى داخل الإنبوبة ك وقد تتطلب هـذه العملية اخراج التلسكوب من مكانه فى الجهاز ليتيسر النظر خلاله الى جسم بعيد وعند تهيئته يوضع مكانه مع الاحتياط فى عدم تغيير البعد بين الشيئية وبين العينية بعد ذلك

واذا كان المنشور موضوعاً على القاعدة حـ يزال من مكانه . وتجعل فتحة المجمع رأسية وهى فى اكثر الاجهزة قابلة للاتساع والضيق فيجعل اتساعها مناسباً . ثم يؤتى بلهب صوديوم ويعد كما سبق فى بند (٦٢) ويوضع فى وضع مناسب من الفتحة حتى يضيئها ثم يدار التلسكوب حتى يصير محوره على امتداد محور المجمع بحيث اذا نظر خلاله رؤيت صورة الفتحة . ولا ترى هذه الصورة اول الامر واضحة دقيقة واذا كان التلسكوب قد سبق تهيئته لرؤية الجسم البعيد (أى لاستقبال الاشعة المتوازية) فعدم ظهور صورة الفتحة واضحة دقيقة يكون ناجماً عن أن الفتحة ليست على بعد من عدسة المجمع يساوى بعدها البؤرى . لذلك يغير هذا البعد مع الاستمرار فى النظر خلال التلسكوب حتى ترى صورة الفتحة غاية فى الدقة واذا كانت الفتحة متسعة يمكن فى هذا الموضع تضييقها حتى ترى صورتها كخيط رأسى من ضوء أصفر وبعد ذلك يوضع المنشور على القاعدة فى وضع (كالمبين بشكل ٩٣) يخول وقوع الاشعة المتوازية الخارجة من المجمع

على احد وجهيه الحارفين وبحيث تكون زاوية سقوطها على هذا الوجه ليست صغيرة جداً لكى تنفذ الاشعة خلال المنشور دون أن تعانى انعكاساً داخلياً ثم يدار التلسكوب حتى يأخذ الوضع الذى تقع فيه على شبيته الاشعة النافذة من المنشور (كالمبين بالشكل ٩٣) فاذا نظر خلاله رؤيت صورة للفتحة . ولايجاد هذا الوضع بسهولة يستحسن أن ينظر أولا بالعين المجردة الى الوجه الذى تخرج منه الاشعة النافذة خلال المنشور حتى تقع الاشعة الخارجة على العين وترى خلال المنشور الفتحة المضيئة ثم يؤتى بالتلسكوب ليحول بين العين والمنشور بحيث ينطبق محوره على خط البصر . وتظهر صورة الفتحة خلال التلسكوب كخط رأسى من ضوء أصفر (أو بالأحرى كخطين اصفرين متقاربين يكادان يتلامسان) وذلك لأن ضوء لهب الصوديوم ضوء يكاد يكون ذا لون واحد فلا يتشتت عند انكساره خلال المنشور وانما تعانى الحزمة المتوازية التى تخترقه انحرافاً واحداً

ولكى يهيأ المنشور فى الوضع الذى تكون فيه زاوية الانحراف عند نهايتها الصغرى تدار القاعدة الموضوع عليها المنشور جهة اليمين أو جهة اليسار ويستمر فى ادارتها فى الجهة التى تجعل الصورة المرئية داخل التلسكوب تتحرك نحو الحرف الحارف للمنشور أى فى الجهة التى تجعل زاوية الانحراف تأخذ فى الصغر . وتتبع الصورة بتحريك التلسكوب فى الاتجاه نفسه حتى تأخذ الصورة الوضع الذى تبتدىء عنده فى التحرك فى الجهة المضادة وعندئذ تثبت القاعدة فيكون الانحراف عند نهايته الصغرى ثم يهيأ التلسكوب بحيث تظهر الصورة فى هذا الوضع فى منتصف مجال النظر منطبقة على الخط الرأسى من الخيطين المتعامدين أو على نقطة تقابلهما اذا لم يكونا متعامدين

فاذا استبدل بلهب الصوديوم ضوء أبيض كضوء مصباح كهربائى مثلا وأضيئت به الفتحة ثم نظر خلال التلسكوب رؤى طيف الضوء الابيض زاهياً نقياً وقد يكون ممتداً الى خارج مجال النظر فلا يرى كله دفعة واحدة وفى هذه الحالة يحرك التلسكوب فى الاتجاه المناسب لكى تنكشف الاجزاء المحجوبة من الطيف

١٠٨ — اختبار الأطياف بوساطة السپكترسكوب

والسبكترسكوب يصلح لاختبار أطياف الاضواء المختلفة فاذا كان الضوء أبيض كان طيفه متصلا ذا الوان أهمها سبعة تتغير من الاحمر الى البنفسجي بتدرج متصل لا يمكن به تحديد موضع ابتداء اللون الواحد أو موضع انتهائه فالضوء الابيض يمكن أن نعده قد تحلل بوساطة السبكترسكوب الى أضواء عدة لا حصر لها ذات ألوان مختلفة

واذا فرضنا أن هناك ضوءاً يكون طيفه الذى يرى بوساطة السبكترسكوب جزءاً ضيقاً رفيعاً فى الجزء الاحمر أو الاصفر أو غيرهما من الطيف فيظهر كخط أحمر أو أصفر كان الضوء بسيطاً ذا لون واحد غير قابل للتحلل بوساطة السبكترسكوب ومن الاضواء البسيطة الكثيرة الاستعمال ضوء لهب الصوديوم فطيفه كما ذكرنا فيما سبق يمكن أن يعتبر خطاً واحداً أصفر

واذا أضيئت فتحة السبكترسكوب بضوء آخر أيا كان أمكن باختبار طيفه معرفة ما اذا كان الضوء بسيطاً أو مركباً قابلا للتحلل الى أضواء تظهر فى مواضع مختلفة متقاربة أو متباعدة فى الطيف فمثلا اذا اختبر ضوء شرارة كهربائية من ملف رمكرف تمر فى غاز مخلخل[1] (ضغطه مليمتر أو اثنان من الزئبق) كغاز الايدروجين يرى الطيف مكوناً من بضعة خطوط أوضحها ثلاثة أحدها أحمر وثانيها أزرق وثالثها بنفسجي يتكون منها ما يسمى طيف الايدروجين واذا أستبدل بغاز الايدروجين الاكسجين أو الازوت أو الهليوم أو النيون أو غير ذلك ظهر فى كل حالة طيف خاص يمكن تمييز الغاز به وكذلك اذا أدخل فى لهب مصباح بنزن ملح فلز غير الصوديوم ككلوزور البوتاسيوم أو الاسترانشيوم أو الليثيوم أو غير ذلك ظهر فى كل حالة طيف خاص يمكن تمييز الفلز به . ولما كانت الاطياف التى يمكن الحصول عليها بمثل هذه الوسائل وجدت فى كل حالة مميزة للعنصر الذى يشع الضوء أمكن باختبار الاطياف الكشف عن العناصر وهذه وسيلة من وسائل الكشف الكيميائى وهى أساس لما يعرف بعلم التحليل الطيفى وسيأتى ذكره بشيء من التوسع فى موضع آخر من الكتاب[2]

---

(١) الباب الرابع عشر
(٢) » » »

١٠٩ — حدوث الالوان عن الامتصاص

وقد أتاحت التجارب التى أجراها نيوتن فى التشتت تعليل حدوث ألوان الاجسام . فاذا هيء منشور وعدسة وفتحة للحصول على طيف حقيقى نقى ووضع فى مسير الضوء الابيض الواقع على المنشور أو فى مسير أضواء الطيف المختلفة النافذة منه لوح من الزجاج الاحمر مثلا انقطعت من الطيف الحادث جميع الاضواء ما عدا الاحمر دالا ذلك على أن اللوح الاحمر ينفذ من أضواء الطيف المختلفة التى يمكن أن نعتبر الضوء الابيض مكونا منها الضوء الاحمر دون غيره و يمتص الاضواء الاخرى ومن جراء هذا يظهر المنظر الذى يرى خلاله كأنه مصبوغ باللون الاحمر وكذلك اذا كان اللوح الزجاجى أصفر أو أخضر أو غير ذلك

وإن كانت الألواح الزجاجية الملونة ينفذ الاحمر منها فى العادة شيئاً من الاضواء الاخرى غير الاحمر وهكذا فانه يعنى أحياناً بصنعها بحيث يكاد يكون الضوء النافذ من الواحد منها ذا لون واحد . فاذا أخذ لوحان من هذا القبيل أحدهما أحمر والآخر أزرق فالضوء النافذ من الاول لاينفذ من الثانى فاذا وضع اللوحان معاً فى مسير الاشعة التى تحدث الطيف اختفى الطيف كله كما أنه اذا نظر خلالهما الى منظر ما لا يرى منه شيء

وكثير من الاجسام الموجودة فى الطبيعة أو فى الحياة العملية تظهر بألوانها المختلفة من جراء حدوث امتصاص شبيه بالامتصاص الحادث فى الالواح الزجاجية الملونة ومن المناسب التمهيد الى شرح ذلك بالتجربة البسيطة الآتية

اذا وضع محلول مرشح من كبريتات النحاس فى اناء من الزجاج أمكن بتطبيق مثل ما ذكر آنفاً بخصوص اللوح الزجاجى الاحمر بيان أن المحلول يكاد يمتص جميع الاضواء النافذة فيه ما عدا الازرق واذا وضع المحلول فى اناء جوانبه سوداء معتمة وقاعدته سوداء معتمة ونظر الى سطحه الاعلى فى ضوء النهار ظهر المحلول اسود فى حين أنه اذا نظر الى صورة تحدث بالانعكاس عن هذا السطح لجسم أبيض ظهرت الصورة بيضاء حيث يكون انعكاس الضوء الواقع على سطح المحلول طبقاً لقانونى الانعكاس ويكون انعكاس الاضواء ذات الالوان المختلفة بالتساوى على

وجه التقريب . ولكن مظهر المحلول فى الاناء الاسود يتغير تغيراً مشهوداً اذا وضع فى المحلول مسحوق ناعم من الطباشير مثلا وقلب المحلول فانه يظهر فى هذه الحالة ذا لون أزرق

وذلك لان ضوء النهار الواقع على سطح المحلول ينفذ جانب منه الى الداخل فيقع على هذه الدقائق المعلقة فى السائل فينعكس جانب منه عن سطوحها انعكاساً سميناه فيما سبق (بند ١٦) انتثاراً ويعود خارجاً من السطح واقعاً على عين الناظر . والضوء الواقع على العين فى هذه الحالة يكون قد نفذ خلال سمك من المحلول ويكون المحلول قد امتص منه جميع الاضواء ذات الالوان المختلفة ما عدا الازرق واذن يكون الضوء الواقع على العين هو الازرق مجرداً عن غيره

ومثل هذا يحدث اذا نظر الى وردة حمراء مثلا فالضوء الابيض الواقع على أوراقها ينفذ جانب منه الى الداخل فيعانى عن عدم انتظام التركيب الداخلى بضعة انعكاسات تعود بجانب منه الى الخروج مرة أخرى فيصل هذا الى العين بعد أن يكون قد نفذ خلال طبقة أو بضع طبقات من الطبقات السطحية وتمتص هذه الطبقات الاضواء ذات الالوان المختلفة ما عدا الاحمر فيكون الضوء الاحمر دون غيره هو الواصل الى العين واذن يظهر لونها أحمر

واذا كانت اوراق الوردة المذكورة رقيقة ونظر خلال واحدة منها بحيث يكون الضوء الواصل الى العين قد نفذ فيها من أحد جانبيها الى الآخر فانها تظهر حمراء أيضاً لان الضوء فى أثناء نفوده فيها قد امتص كله الا الأحمر

ومثل هذا يحدث اذا نظر الى ورقة خضراء أو صفراء او غير ذلك فالالوان فى هذه الاجسام تحدث من جراء الامتصاص وقد ذهبنا فى شرحنا السابق لسهولة الشرح الى أن الطبقات التى يخترقها الضوء تمتص جميع الاضواء ماعدا واحداً منها والاجسام الملونة بوجه عام تمتص أضواء الطيف بنسب مختلفة فلا تكون ألوانها صافية بسيطة

هذا واذا نظر الى جسم أبيض كورقة بيضاء مثلا فان الضوء ينفذ فى هذه الحالة أيضاً خلال طبقة أو أكثر من الطبقات السطحية ولكن هذه الطبقات لا تمتص أضواء ذات ألوان معينة بنسبة أكبر من غيرها بل تمتصها جميعاً بنسبة صغيرة تكاد تكون واحدة ولذلك يكون الضوء الواصل منها الى العين شاملا جميع أضواء الطيف بنسبة تكاد تكون واحدة فيظهر لون الجسم أبيض

ولاحاجة للاطالة هنا فى أن الاجسام المعتمة السوداء تمتص جميع الاضواء فلا يكون السواد لوناً بل هو عدم الألوان وقد يكون سطح الجسم الاسود مصقولا فينعكس جانب من الضوء عنه دون أن ينفذ الى الباطن كما ينعكس عند السطوح العاكسة المعتادة

١١٠ — الألوان الحادثة عن خلط الدهانات

والالوان الحادثة عند خلط الدهانات المختلفة هى أيضاً حادثة عن الامتصاص فمن المعلوم مثلا أن خلط دهان أصفر بدهان أزرق يحدث لونا أخضر وهذا اللون لا يحدث كما يقال أحياناً لأن الاخضر يقع بين الاصفر والازرق من الطيف بل يحدث لأن الدهان الأزرق يمتص الاحمر والبرتقالى والاصفر فى حين أنه لا يمتص كثيراً البنفسجى والازرق والاخضر (وهو أقل امتصاصاً للازرق فيغلب هذا فى لونه) أما الدهان الاصفر فان كان يمتص البنفسجى والازرق فهو ينفذ الاخضر والاصفر والاحمر واذن يكون الاخضر هو الضوء الذى لا يمتصه الدهانان وينفذ منهما فاذا خلط أحدهما بالآخر ودهن بالخليط سطح قطعة من الورق الابيض فان الضوء الابيض عند نفوذه فى طبقة الدهان وخروجه منها يكون قد تجرد من جميع الاضواء الا الاخضر

١١١ — الألوان الحادثة عن الانعكاس

وان كانت الوان اكثر الاجسام تحدث عن الامتصاص كما تقدم بيانه فان هناك فريقاً من الاجسام تحدث الوانها عن الانعكاس بمعنى أن هذه الاجسام اذا سقط على سطح أحدها ضوء أبيض عكس ضوءا أو بضعة أضواء ذات الوان معينة عكساً خاصاً ونفذت خلالها أو خلال طبقات رقيقة منها الاضواء الاخرى فالذهب مثلا لونه أصفر لأنه يعكس من الضوء الواقع على سطحه بصفة خاصة الضوء الاصفر . فاذا أخذت ورقة ذهبية رقيقة جداً ووقع على أحد سطحيها ضوء أبيض ظهر لونها بالنظر الى هذا السطح أصفر فى حين أن الضوء النافذ خلالها لا يحتوى على شىء من المنعكس فيظهر لونها اذا نظر الى سطحها الآخر أزرق يضرب الى الخضرة

وكذلك الحال فى كثير من الصبغات الانيلينية ويمكن بيان ذلك باذابتها فى الكحول ثم بسط

طبقة من المحلول المركز على لوح من الزجاج فاذا بخر المذيب تغطى سطح اللوح بطبقة رقيقة من الصبغة يرى لونها بالنظر الى سطحها بحيث يصل الى العين ضوء منعكس عنه، غير لونها بالنظر خلالها بحيث يصل الى العين ضوء ينفذ فيها ففى صبغة الفوكسين[١] يكون اللون الذى يرى بالضوء المنعكس أخضر أما بالضوء النافذ فأحمر وصبغة الانيلين الازرق[٢] فاللون الذى يرى بالضوء المنعكس شبيه بلون البرونز أما الذى يرى بالضوء النافذ فأزرق

وللتمييز بين اللون الحادث عن الامتصاص وبين اللون الحادث عن الانعكاس يسمى الأول أحياناً بلون الجرم[٣] نظراً لانه يحدث عن نفوذ الضوء فى المادة ويسمى الثانى بلون السطح[٤] نظراً لأنه يحدث عن الانعكاس عند السطح

١١٢ ـــ معامل الامتصاص ومعامل الانفاذ

عند ما يخترق الضوء جسما شفافاً فان شدته ونعنى بالشدة هنا كمية الضوء أو الطاقة الواقعة على مساحة معينة من سطح الجسم تقل نظراً لأن الجسم يمتص جانباً من الضوء النافذ فيه والنقص الذى يحدث من جراء هذا الامتصاص يختلف باختلاف نوع الجسم الشفاف ويختلف فى الجسم الواحد باختلاف لون الضوء ويتناسب وشدة الضوء الواقع على المادة ويتناسب أيضاً وسمك الطبقة التى يخترقها الضوء. فاذا فرضنا أن الضوء الواقع على المادة ذو لون واحد ورمزنا لشدته بالحرف س وفرضنا أنه يخترق طبقة رقيقة من الجسم نرمز لسمكها برمز التفاضل ء س وفرضنا أن شدة الضوء نقصت من جراء نفوذه فى هذه الطبقة بمقدار نرمز له برمز التفاضل ء س يكون

ء س متناسبا و س

و ء س متناسبا و ء س

$$\therefore \quad - \text{ء س} = ا \, \text{س ء س}$$

حيث يكون ا مقداراً ثابتاً يسمى معامل امتصاص المادة للضوء[٥] المعين وتكون الاشارة السالبة دالة على أن التغير الطارىء على شدة الضوء بازدياد السمك هو نقص فيها

---

(١) Fuchsin (٢) Aniline Blue (٣) Body Colour

(٤) Surface Colour (٥) Coefficiene of absorption

ومن المعادلة السابقة ينتج أن

$$-\frac{\text{و س}_{\text{ه}}}{\text{س}_{\text{ه}}} = \text{ا و س}$$

فاذا أجريت عملية التكامل واعتبرنا أن سمك المادة يزداد من الصفر الى قيمة نرمز لها بالحرف س وان شدة الضوء تنقص من قيمتها الأولى $\text{س}_{\text{ه}}$ الى أخرى نرمز لها بالرمز $\text{س}_{\text{ه}}'$ يكون

$$\int_{\text{س}_{\text{ه}}}^{\text{س}_{\text{ه}}'} -\frac{\text{و س}_{\text{ه}}}{\text{س}_{\text{ه}}} = \int_{0}^{\text{س}} \text{ا و س}$$

$$\therefore -\text{لو}\frac{\text{س}_{\text{ه}}'}{\text{س}_{\text{ه}}} = \text{ا س}$$

$$\therefore \text{س}_{\text{ه}}' = \text{س}_{\text{ه}}\, \text{هـ}^{-\text{ا س}} \quad \ldots\ldots (١)$$

باعتبار أن هـ رمز لاساس اللوغارتمات الطبيعية

وتدل هذه المعادلة على العلاقة بين شدة الضوء النافذ من المادة وشدته الاصلية وسمك المادة ومعامل امتصاصها للضوء

أما من حيث الانفاذ فاذا فرضنا أن شدة الضوء النافذ عند ما يخترق الضوء سمكا من المادة قدره الوحدة هو كسر معين من شدة الضوء الاصلى الواقع على المادة وكان الضوء ذا لون واحد فان هذا الكسر يسمى معامل الانفاذ (١)

فاذا رمزنا لشدة الضوء قبل اختراقه المادة بالحرف $\text{س}_{\text{ه}}$ واعتبرنا المادة التي يخترقها الضوء طبقات متتالية سمك الواحدة منها قدره الوحدة أى السنتيمتر ورمز لمعامل الانفاذ بالحرف ب تكون شدة الضوء عند ما ينفذ من الطبقة الاولى ب $\text{س}_{\text{ه}}$ ويكون هذا هو شدة الضوء الواقع على الطبقة الثانية واذن شدة الضوء النافذ من هذه الطبقة تكون $\text{ب}^{٢}\, \text{س}_{\text{ه}}$ وهكذا فاذا رمزنا لسمك المادة التى ينفذ خلالها الضوء بالحرف س ورمزنا لشدة الضوء النافذ منها بالرمز $\text{س}_{\text{ه}}'$ يكون

---

(١) Coefficient of transmission

$$سـ_{٢} = ب_{٢}^{س} سـ_{٠} \quad \ldots\ldots (٢)$$

ومن المعادلتين (١) ، (٢) يتضح أن

$$ب = ه^{-ا}$$

$$\therefore -ا = لو ب$$

وهذه المعادلة تدل على العلاقة بين معامل الامتصاص ومعامل الانفاذ طبقا للتعريفين المذكورين

وقد فرضنا فيما سبق أن الضوء الواقع على الجسم الشفاف ذو لون واحد أما اذا لم يكن كذلك فانه يمكن اعتباره مكوناً من أضواء عدة يكون لكل واحد منها معامل امتصاص ومعامل انفاذ وتكون شدة الضوء الكلى الذى ينفذ من الجسم هى مجموع شدات ما ينفذ من هذه الاضواء العدة المختلفة

١١٢ — تغير لون بعض الأجسام الشفافة بتغير السمك — ظاهرة اللون المزدوج

لوحظ أن بعض الاجسام الشفافة اذا تغير سمكها يتغير تبعاً لذلك لون الضوء النافذ منها كالزجاج الملون بالكوبلت المعروف « بالزجاج الكوبلتى »[١] . فانه اذا أخذ لوح رقيق منه شوهد أن الضوء النافذ منه أزرق أما اذا أخذ لوح سميك فان الضوء النافذ يكون أحمر وتعرف الظاهرة بوجه عام باسم « ظاهرة اللون المزدوج »[٢]

فاذا رمزنا لشدة الضوء الازرق عند وقوعه على الجسم بالرمز $سـ_{١}$ ولمعامل انفاذ الجسم له بالرمز $ب_{١}$ ورمزنا لشدة الضوء الأحمر عند وقوعه عليه بالرمز $سـ_{٢}$ ولمعامل انفاذ الجسم له بالرمز $ب_{٢}$ ورمزنا لسمك الجسم بالحرف س تكون شدة الضوء الأزرق النافذ منه $سـ_{١} ب_{١}^{س}$ وشدة الضوء الأحمر النافذ منه $سـ_{٢} ب_{٢}^{س}$ والمقداران بوجه عام يكونان مختلفين

فاذا كان $سـ_{١} > سـ_{٢}$

و $ب_{١} < ب_{٢}$

(١) Cobalt Glass

(٢) Dichromatism

فانه عند ما تكون قيمة س صغيرة جداً يكون

$$\text{معامل}_{1} \; ^{-س}_{1} > \text{معامل}_{2} \; ^{-س}_{2}$$

فيغلب الضوء الازرق ويكون لون الضوء النافذ من الجسم ضارباً الى الزرقة

أما اذا كانت قيمة س كبيرة جداً يكون

$$\text{معامل}_{1} \; ^{-س}_{1} < \text{معامل}_{2} \; ^{-س}_{2}$$

فيغلب الضوء الأحمر ويكون لون الضوء النافذ من الجسم ضارباً الى الحمرة

وهناك قيمة معينة للسمك يكون فيها

$$\text{معامل}_{1} \; ^{-س}_{1} = \text{معامل}_{2} \; ^{-س}_{2}$$

فيكون الضوء النافذ محتوياً على الضوءين بنسبة واحدة ويكون لونه مزيجاً منهما بنسبة واحدة أيضاً ويتضح من هذا أنه اذا أخذ السمك يزداد بالتدريج فان الضوء النافذ تكون فيه أولا نسبة الأزرق اكبر ولكنها تأخذ فى النقص وتأخذ نسبة الأحمر فى الزيادة حتى تتساويا ثم تزداد نسبة الاحمر مع اطراد نقص نسبة الازرق

وظاهرة اللون المزدوج تحدث فى محلول موريات الكرميوم [1] فاذا وضع المحلول فى اناء من الزجاج على شكل خابور أو منشور ثلاثى ، الزاوية بين وجهيه صغيرة ووقع ضوء أبيض على أحد وجهيه ونظر خلال المحلول كان الضوء النافذ من الطبقات الرقيقة أخضر فاذا زاد السمك تحول الى لون بنى ثم الى أحمر . وتحدث الظاهرة أيضاً فى محلولات بعض الصبغات الانيلينية فمحلول السيانين [2] اذا نظر خلال طبقة رقيقة منه يكون لونه أزرق واذا نظر خلال طبقة سميكة يكون أحمر

١١٤ — اختلاف الالوان بعضها عن الآخر

تبين فيما سبق أنه يمكن أن نعتبر أن الضوء الابيض يتحلل عند انكساره فى المنشور مثلا الى أضواء الطيف العدة وهذه أضواء يختلف بعضها عن الآخر من حيث قدر انحرافها فى المنشور وسنرى بعد أنها طبقاً للنظرية الموجية موجات يختلف بعضها عن الآخر من حيث طول الموجة

---

(١) Muriate of Chromium (٢) Cyanin

ويختلف الاثر الحادث عنها فى العين اختلافاً نعبر عنه باختلاف نقبتها والاضواء الموجودة فى الطبيعة تتحلل الى هذه الاضواء الطيفية البسيطة بعضها أو كلها ويترتب على اختلاف ما تتحلل اليه اختلاف أثر تلك الاضواء فى العين واذن اذا كان الضوء بسيطاً فأهم ما يميز لونه موضعه فى الطيف أى قدر انحرافه فى المنشور أو طبقاً للنظرية الموجية طول موجته واذا كان مركباً يمكن تحليله الى أضواء طيفية بسيطة فأهم ما يميز لونه مواضع هذه الاضواء البسيطة فى الطيف أو طبقاً للنظرية الموجية أطوال موجاتها

وهناك عامل آخر يميز الالوان بعضها عن الآخر حتى ألوان الاضواء الطيفية البسيطة فبعضها أشد تأثيراً فى العين من غيرها وتظهر اذ ذاك أزهى ويقال عنها أنها ألوان زاهية . واذا كان الضوء مركباً من أضواء طيفية بسيطة فتغير زهو هذه الاضواء البسيطة بعضها عن الآخر بتغير شداتها النسبية مثلا دون أن تتغير هى نفسها يؤدى الى تغير كبير فى لون الضوء المركب منها

وهناك عامل ثالث يميز الألوان بعضها عن الآخر وهو الصفاء فقد يكون الضوءان كلاهما ضوءا طيفيا بسيطا من الأحمر من الطيف مثلا غير أن أحدهما مشوب بشىء من الضوء الابيض فيظهر باهتاً والآخر ليس كذلك فيظهر صافياً

فالاحساس باللون يتوقف على ثلاثة أمور أولها موضع الضوء (أومواضع الاضواء البسيطة التى يتحلل اليها) فى الطيف أو طبقاً للنظرية الموجية طول موجته (أو أطوال الموجات التى يتحلل اليها) وهذا ما نعبر عنه بنقبة [١] اللون . وثانيها زهو [٢] اللون أى مبلغ تأثيره فى العين . وثالثها صفاء [٣] اللون أى مبلغ تجرده من الاختلاط بالضوء الابيض

١١٥ — مزج الألوان

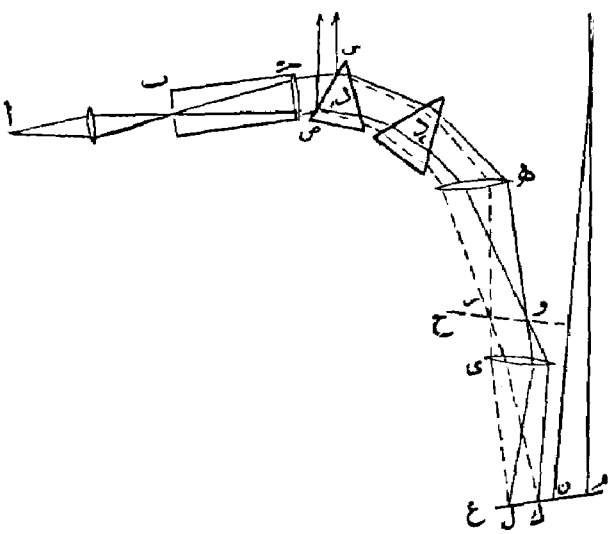
لانعنى بمزج الألوان خلط دهانات أوطلاءات مختلفة بعضها بالآخر فقد تبين فى شرح الألوان الحادثة بالامتصاص أن اللون الحادث من خلط دهانين هو لون الضوء الذى ينفذه المخلوط وانما نعنى أن تقع ألوان مختلفة على العين فى وقت واحد أو بينها فترات قصيرة جداً أقصر من مدة استمرار تأثر العين بالضوء حتى يكون الاحساس الحادث هو مجموع الاحساسات المختلفة التى تحدثها تلك الألوان

---

(١) Hue (٢) Brightness or Luminosity (٣) Purity

ولمزج الألوان طريقتان الأولى مبنية على ظاهرة استمرار الرؤية وهى تتلخص فى أن يؤتى بقرص قابل للدوران بسرعة حول محور رمار بمركزه عمودى على مستواه ويغطى سطحه بقطاعات من الورق الملون بالألوان المراد مزجها . فاذا أدير القرص بسرعة كان الاحساس الحادث عند النظر اليه هو الحاصل من مزج الألوان بنسبة مساحات القطاعات. ويمكن تغطية سطح القرص بأقراص من الورق الملون وجعل هذه الأقراص مشقوقة فى استقامة نصف القطر من المركز الى الحافة فيتيسر أن يطوى بعضها تحت الآخر وتنكشف منها مساحات قابلة للزيادة والنقصان على حسب الارادة

والطريقة الثانية وتعرف بطريقة «أبنى»[1] وهى المبينة تخطيطياً فى شكل (٩٤) وفيها تصدر أشعة من الضوء الابيض من مصدر ا (كقوس فولتى مثلا) فتلم بوساطة عدسة لامة على فتحة مستطيلة ضيقة ب على بعد من عدسة لامة حـ يساوى بعدها البؤرى فتخرج الأشعة من هذه متوازية وتقع على منشور د$_1$ فينعكس جانب من الضوء عن الوجه س ص وينفذ جانب منه خلال المنشور ثم



(شكل ٩٤)

خلال منشور آخر د$_2$ لكى يزداد تشتت الاشعة ثم تقع الأشعة بعد ذلك على عدسة لامة هـ تلم الأشعة الحمراء عند و والأشعة البنفسجية عند ر فيتكون طيف حقيقى نقى يمكن رؤيته اذا وضع عند و ر حاجز أبيض ح أما اذا لم يكن الحاجز موجوداً فالأشعة تقع على عدسة لامة ى تلمها على سطح حاجز أبيض ع فى المنطقة المدلول عليها بالحرفين ك ل فاذا وقعت ألوان الطيف كلها على هذه المساحة حدث ضوء أبيض

ولكى يتيسر مزج ألوان معينة من الطيف بعضها بالآخر يوضع عند و ر حاجز معتم به

---

(١) Abney

بضع فتحات مستطيلة ضيقة موازية للفتحة ب فتقع على المساحة ك ل أضواء الطيف النافذة من هذه الفتحات ويمتزج هناك بعضها بالآخر

١١٦ — قياس زهو الالوان الطيفية البسيطة

و جهاز « أبنى » الذى وصفناه فيما سبق يمكن تطبيقه لقياس زهو الالوان الطيفية البسيطة زهوها بعضها بالنسبة الى الآخر فالأشعة البيضاء المنعكسة عن السطح س ص من المنشور د ، (شكل ٩٤) تقع على عدسة لامة ذات بعد بؤرى مناسب ثم تنعكس عن سطح مرآة مستوية (والعدسة والمرآة غير مبينين بالشكل) بحيث تلم بعد ذلك على الحاجز ع فى الموضع المدلول عليه بالحرفين م ن فتتكون منقطة مضيئة بيضاء بالقرب من الموضع ك ل ويوضع فى مسير هذه الاشعة البيضاء قبل وقوعها على الحاجز ع بضعة قطاعات معتمة من دائرة وبين القطاعات فتحات هى أيضاً على صورة قطاعات والقطاعات المعتمة قابلة للدوران حول محور مار بمركز الدائرة عمودى على مستواها فيتسنى بتغيير مساحات القطاعات المعتمة وادارتها بسرعة تغيير شدة الضوء الابيض الواقع على المساحة م ن

فلقياس زهو الالوان الطيفة البسيطة يوضع عند ح (شكل ٩٤) حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة فى موضع مامن الطيف ويقابل بين شدة الاستضاءة على المنطقة ك ل الملونة وبين شدة الاستضاءة على المنطقة م ن البيضاء وتغير مساحات القطاعات المعتمة المذكورة حتى تظهر الشدتان متساويتين فيكون زهو اللون الطيفى المذكور متناسباً ومساحات الفتحات التى بين القطاعات . ثم يوضع الحاجز الموجود عند ح والفتحة المستطيلة الضيقة فى موضع آخر من الطيف وتكرر العملية السابقة وهكذا

وتمتاز طريقة « ابنى » هذه فى انه اذا تغيرت شدة الضوء الابيض الصادر من المصدر ا تغير زهو الالوان ولكن تتغير بالنسبة نفسها شدة الاستضاءة فى المنطقة البيضاء م ن

والنتائج التى توصل اليها « أبنى » عن زهو الوان طيف الضوء الابيض الصادر من القوس الفولتى موضحة بالمنحنى البيانى (شكل ٩٥) وتدل على أن زهو الضوء الاصفر من الطيف هو

الاكبر وزهو البنفسجي صغير . ودلت تجاربه على أنه اذا قيس زهو لونين أو اكثر كل على حدته ثم قيس زهو اللون الحادث عن مزجهما كان هذا مساوياً مجموع زهو يهما

(شكل ٩٠)

١١٧ — نظرية ينج وهلمهولتز فى الاحساسات الثلاثة

وقد دلت بوجه عام التجارب العدة التى أجريت فى مزج الالوان على أن جميع الوان الطيف يمكن احداث الاحساس بها بمزج ثلاثة الوان بعضها بالآخر بنسب مختلفة . وتدل تجارب أبنى على أن هذه الالوان هى الاحمر والازرق والبنفسجي واذن تكون جميع الالوان الموجودة فى الطبيعة يمكن احداث الاحساس بها بمزج هذه الالوان الثلاثة كما أن الاحساس بالضوء الابيض يحدث أيضاً اذا امتزجت هذه الالوان بنسبة معينة وتسمى الالوان الثلاثة « الالوان الثلاثة الاساسية »(١) .

وكان « ينج » (٢) من أسبق الذاهبين الى أن العين تحس بثلاثة احساسات مختلفة وعاضد « هلمهولتز »(٣) هذه الفكرة وذهب الى ان العصب البصرى مكون من ثلاث مجموعات أو شعب من الاعصاب يحدث عن تأثر الواحد منها الاحساس بواحد من هذه الالوان الثلاثة الاساسية فاذا اعتبرنا الالوان الأساسية هى الأحمر والأخضر والبنفسجي يكون الاحساس بالاحمر ناشئاً عن تأثر احدى هذه المجموعات أو الشعب العصبية والاحساس بالاخضر ناشئاً عن تأثر المجموعة الثانية والاحساس بالبنفسجي عن تأثر الثالثة . فاذا تأثرت مجموعة واحدة حدث احساس واحد أما اذا تأثرت المجموعات الثلاث حدث احساس مزجي يؤدى فى الذهن معنى لون من الالوان التى تحدث عن امتزاج الالوان الاساسية الثلاثة . ويتوقف هذا اللون على شدة الاحساسات الثلاثة بعضها بالنسبة الى الآخر

وان كانت التجارب فى مجموعها تعزز اعتبار الالوان الموجودة فى الطبيعة كأنها نتيجة امتزاج

---

(١) Three Primary Colours (٢) Young (٣) Helmholtz

الالوان الثلاثة الاساسية بنسب مختلفة فانه لا يوجد دليل فسيولوجى يثبت حقيقة وجود ثلاث مجموعات أو شعب فى العصب البصرى وفقاً لنظرية هلمهولتز ولكن بالرغم من هذا فان النظرية متفقة ونتائج التجارب العملية بوجه عام وتعد اداة صالحة لمعالجة ظواهر كثيرة خاصة بالالوان

١١٨ ـــ معادلات الالوان ومنحنيات الاحساسات الاساسية الثلاثة

اذا تحددت مواضع ألوان ثلاثة فى طيف الضوء الابيض ولنرمز لها بالحروف ح ، صه ، ف ووضع عند ح (شكل ٩٤) فى جهاز أبنى ثلاث فتحات مستطيلة فى مواضع هذه الألوان وغير اتساع هذه الفتحات حتى صار الضوء الحادث على المساحة ك ل أبيض كان الاحساس بهذا الضوء الأبيض ناشئاً عن مزج الألوان الثلاثة بنسبة معينة . فاذا عرف زهو هذه الألوان الثلاثة من المنحنى بشكل (٩٥) وقيس اتساع هذه الفتحات أمكن اعتبار حاصل ضرب اتساع الفتحة فى زهو اللون مقياساً لقدر الاحساس الحادث بتأثير هذا اللون فاذا رمزنا لهذه القادير الثلاثة بالحروف ا ، ب ، ه بالترتيب أمكن اعتبار الاحساس بالضوء الأبيض الحادث عن مزج هذه الألوان مساوياً المقدار

ا من اللون ح + ب من اللون صه + ه من اللون ف .... (١)

ويمكن قياس الاحساس باللون الابيض الحادث بمضاهاة شدة استضاءة المساحة ك ل بشدة استضاءة المساحة م ن فاذا غيرت القطاعات المعتمة الموضوعة فى سبيل الضوء الابيض الواقع على م ن حتى تظهر الشدتان متساويتين كانت مساحة الفرج بين القطاعات المعتمة متناسبة والاحساس الحادث بفعل الضوء الابيض

فاذا فرضنا بعد ذلك أن احدى الفتحات الثلاث ولتكن الاولى أزيحت الى موضع آخر من الطيف ورمزنا للون هذا الموضع بالحرف س وغير اتساع الفتحات حتى ظهر الضوء الحادث على المساحة ك ل أبيض ورمزنا لمقادير الاحساس بالرموز ا ، ، ب ، ، ه ، ويمكن تقديرها كما فى الحالة السابقة أمكن اعتبار الاحساس بالضوء الابيض الحادث عن مزج هذه الألوان مساوياً المقدار

ا ، من اللون س + ب ، من اللون صه + ه ، من اللون ف ..... (٢)

فاذا غيرت كما فى الحالة السابقة مساحة القطاعات الموضوعة فى سبيل الضوء الابيض الواقع على م ن حتى تظهر شدته مساوية شدة الضوء الابيض الحاصل عند ك ل كانت شدة هذا

متناسبة ومساحة الفرج بين القطاعات المعتمة فى هذه الحالة واذن تتعين نسبة شدة الضوء الابيض الحادث من المزج فى هذه الحالة الى شدة الضوء الابيض الحادث من المزج فى الحالة الاولى فاذا رمزنا لهذه النسبة بالحرف ن تكون نسبة المقدار (٢) الى المقدار (١) مساوية ن

∴ ن (١ من اللون ح + ب من اللون صه + د من اللون ف)

= ١ من اللون س + ب من اللون صه + د من اللون ف

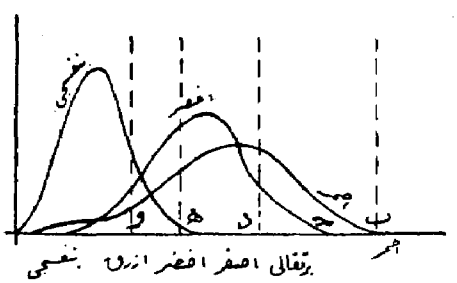
ومن هذه المعادلة ينتج أن الاحساس باللون س ينشأ عن الاحساس بالالوان ح ، صه ، ف بالمقادير الآتية

$$\frac{ن\ ا}{ا}\ ،\ \frac{ن\ ب - ب}{ا}\ ،\ \frac{ن\ د - د}{ا}$$

بالترتيب

بهذه الكيفية يمكن ايجاد المقادير المختلفة من الاحساسات بالالوان الثلاثة ح ، صه ، ف التى يترتب على حدوثها الاحساس بأى لون طبيعى آخر غير س وقد كان « كونج »[1] أول من حسب مثل هذه المقادير و بين نتائجه بمنحنيات كالمبينة بشكل (٩٦) وفيها اتخذت الالوان الثلاثة المعينة ح ، صه ، ف هى الاحمر والاخضر والبنفسجى بالترتيب وهى التى تدل التجارب على أنها الالوان الثلاثة الاساسية وتعتبر الاحساسات بها هى الاحساسات الثلاثة الاساسية طبقاً لنظرية ينج وهلمهولتز

وتسمى المنحنيات المبينة بشكل (٩٦) منحنيات الاحساسات الاساسية الثلاثة وفيها يدل المحور الافقى على مواضع الالوان الطيفيه والمحور الرأسى على مبلغ ما تحدثه هذه الالوان من الاحساسات الثلاثة والمنحنيات مرسومة بحيث اذا أثيرت الاحساسات الثلاثة بالتساوى حدث الاحساس بالضوء الابيض



(شكل ٩٦)

ومن هذه المنحنيات يتبين أن الاحساس الاحمر لا يحدث

(١) Kônig

على حدته الا بفعل الطرف الاحمر من الطيف أى أن هذا الجزء من الطيف يؤثر طبقاً لنظرية هلمهولتز فى المجموعة العصبية التى تحدث الاحساس الاحمر ولا تأثير له فى المجموعتين الاخريين أما اللون الاصفر كلون لهب الصوديوم (وموضعه مدلول عليه بالحرف د فى الشكل) فيحدث الاحساس الاحمر والاحساس الاخضر معاً ولكن نسبة الاحمر أكبر أى أن لهب الصوديوم على اعتبار أنه ضوء بسيط ذو طول موجى معين يؤثر فى المجموعتين العصبيتين اللتين تحدث احداهما الاحساس الاحمر وتحدث الاخرى الاحساس الاخضر ويؤثر فى الاولى أكثر من تأثيره فى الثانية ويكون الاحساس الحادث عنهما هو الاحساس باللون الاصفر . أما الضوء الازرق فى الموضع المبين بالرسم فيحدث الاحساس الاحمر والاخضر وهذا بمقدار أكبر ثم البنفسجى وهذا أكبر من ذلك . ويتبين من المنحنيات أن الاحساس الأخضر مجرداً عن الاحساسين الآخرين لا يحدث أبداً بفعل أضواء الطيف كما أن النهاية القصوى للاحساس الأحمر لا تحدث بفعل الأشعة الحمراء بل بفعل الجزء الطيفى المتوسط بين البرتقالى والاصفر كما أن الاحساس الأحمر تثيره جميع أضواء الطيف المختلفة الا نهاية الجزء البنفسجى

١١٩ ــ الالوان المتتامة

اذا قسمنا طيف الضوء الأبيض الى قسمين وحجبنا أحدهما بحاجز أو بضعة حواجز وأنفذنا الآخر خلال فتحة أو بضع فتحات حدث من امتزاج الأضواء النافذة لون معين واذا حجبت هذه الأضواء وأنفذت الاولى حدث من امتزاجها لون آخر ويقال عن هذين اللونين أنهما متتامان لأن امتزاج احدهما بالآخر يحدث الاحساس بالضوء الأبيض

وقد دلت التجارب على أن اللونين المتتامين قد يكونان لونين طيفيين بسيطين فيحدث الاحساس بالضوء الأبيض من امتزاجهما بنسبة معينة فمثلا اذا وضعت فتحة فى الطيف فى الجزء البرتقالى منه بين الوضعين حـ ﻫ د (شكل ٩٦) وأخرى فى الجزء الأخضر ما بين و ﻫ ﻫ فان ضوءيهما يحدثان الاحساس بالضوء الابيض ويتضح السبب فى ذلك بالرجوع الى المنحنيات حيث يتبين أن الضوءين فى هذه الحالة يحدثان الاحساسات الأساسية الثلاثة بالنسبة التى يتكون بها الاحساس بالضوء الابيض

واذا نظر الانسان طويلا الى ضوء مصباح أحمر شديد ثم حول الطرف فجاءة الى سطح أبيض فان كلال البصر لا يؤدى الى رؤية صورة مظلمة للمصباح بل الى رؤية صورة لونها اللون الذى يكون هو والاحمر لونين متتامين فتظهر الصورة زرقاء ضاربة الى الخضرة وذلك لان المجموعة العصبية التى تحدث الاحساس الأحمر تكون قد كلت فلا تؤثر فيها الأضواء المختلفة فى الضوء الأبيض تأثيرها فى المجموعتين الأخريين فيكون الاحساس الأخضر والاحساس البنفسجى شديدين فى حين ان الاحمر يكون ضعيفاً

١٢٠ — عمى الألوان

جميع المسائل الخاصة بالالوان التى سبق ذكرها تنطبق على حالة الانسان السليم النظر ولكن هناك نقصاً طبيعياً موروثاً فى العادة دل الاحصاء على أن نسبة ما يصاب به من الرجال تبلغ أربعة فى المائة ونسبة ما يصاب به من النساء تبلغ عشر ذلك ويعرف هذا النقص بعمى الالوان وهو نقص يفقد صاحبه المقدرة على التمييز بين الالوان المختلفة تمييز المتوسط من الناس

ومنشأ هذا النقص طبقاً لنظرية ينج وهلمهولتز فقد أحد الاحساسات الاساسية الثلاثة وفى حالات نادرة جداً فقد اثنين منها والاحساس المفقود فى أغلب المصابين به هو الاحساس الاحمر ويسمى هذا النقص أحياناً « الدالتونية »[1] نسبة الى دالتون العالم الكيميائى المشهور الذى كان مصاباً به

ومن الطرق الشائعة لاختبار عمى الألوان أن توضع أمام الشخص المراد فحصه خيوط كثيرة من الصوف الملون بألوان مختلفة ويطلب منه جمع ذات الالوان المتشابهة بعضها الى الآخر وتفضل الخيوط الصوفية الملونة لقلة لمعانها فاذا كان الشخص مصاباً بعمى الألوان اخطأ فى ضم الخيوط بعضها الى الآخر

وبالنسبة الى المصاب بفقد الاحساس الاحمر مثلا لا يكون لمنحنى الاحساس الاحمر وجود فاذا نظر الى الطيف لا يرى نهايته الحمراء واذا كان الاحساسان الآخران سليمين فانه يحس

---

(١) Daltonism

بوجود الجزء البرتقالى والجزء الاصفر من الطيف والاول يظهر فى الغالب كأخضر أغبر والثانى كأخضر زاه أما الطرف الاحمر فيظهر اسود والمنطقة بين هـ ، و (شكل ٩٦) حيث يتقاطع منحنى الاحساس الاخضر ومنحنى الاحساس البنفسجى ويبلغ الاحساسان مقدارين متساويين تظهر بيضاء نظراً لانعدام الاحساس الاحمر . ويمكن تصور كيفية ظهور الوان الاجسام بالنسبة الى المصاب بفقد الاحساس الاحمر اذا نظر خلال محلول من كبريتات النحاس فهو يكاد يمتص الأشعة التى تثير الاحساس الاحمر

وبالنسبة الى المصاب بفقد الاحساس الاخضر فمنحنى هذا الاحساس لا يكون موجوداً فاذا كان الاحساسان الآخران سليمين فالجزء الاخضر من الطيف حيث يتقاطع منحنى الاحساس الاحمر ومنحنى الاحساس البنفسجى يظهر أبيض فاذا نظر المصاب الى الطيف ظهر أحد طرفيه أحمر والآخر بنفسجياً وما بينهما أبيض وبالنسبة الى المصاب بفقد الاحساس البنفسجى فالجزء الاصفر من الطيف حيث يتقاطع منحنى الاحساس الاحمر ومنحنى الاحساس الاخضر يظهر أبيض

ونظرية ينج وهلمهولتز تصلح بوجه عام لشرح الظواهر الخاصة بعمى الالوان

١٢١ — التصوير الفتوغرافى بالالوان

فكرة أن الالوان المختلفة يمكن الحصول عليها بمزج الألوان الاساسية الثلاثة بنسب مختلفة هى الفكرة الاساسية فى التصوير الفتوغرافى بالالوان ولتطبيق هذه الفكرة طريقتان

(الطريقة الأولى)

تعرف بطريقة الضم[1] ولشرح نظريتها نفرض أولا أن لوحاً فتوغرافياً معداً لتصوير الصورة السالبة قابل للتأثر بالأضواء ذات الألوان المختلفة بما فيها الأحمر، وانه أمكن بوسيلة ما أن تجعل هذه الاضواء مؤثرة فيه تأثيرات تتناسب شدتها وما تثيره هذه الاضواء من الاحساس الاحمر فاذا صورت السالبة ثم طبعت منها صورة موجبة على لوح فتوغرافى فان الاجزاء الشفافة فى

---

(١) Additive Process

هذه الصورة تكون صور الاجزاء الملونة بالالوان التى تثير الاحساس الاحمر ودرجة شفيفها تتناسب وقدر ما تثيره هذه الالوان من هذا الاحساس . كذلك اذا فرضنا انه أمكن بوسيلة ما أن تجعل الاضواء ذات الالوان المختلفة مؤثرة فى لوح فتوغرافى آخر تأثيرات تتناسب شدتها وما تثيره هـذه الاضواء من الاحساس الاخضر وأمكن أن نجعلها تؤثر فى لوح ثالث تأثيرات تتناسب شدتها وما تثيره من الاحساس البنفسجى وصورت على كل منهما صورة سالبة وطبعت منها موجبـة على لوح فتوغرافى فان الاجزاء الشفافة من احدى هاتين الموجبتين تكون صور الاجزاء الملونة بالالوان التى تثير الاحساس الاخضر وتكون درجة شفيفها متناسبة وقدر ما تثيره هذه الالوان من هـذا الاحساس ، كما أن الاجزاء الشفافة من الاخرى تكون صور الاجزاء الملونة بالالوان التى تثير الاحساس البنفسجى وتـكون درجة شفيفها متناسبة وقدر ما تثيره هذه الالوان من هذا الاحساس . فاذا تـكونت بوساطة فانوس سحرى مثلا صورة من اللوح الموجب الأول على ستار أبيض ووضع فى مسير ضوء الفانوس لوح من الزجاج الأحمر فان الصورة الحادثة على الستار يكون لونها أحمر وتـكون الأجزاء الزاهية فيها هى صور الأجزاء الملونة بالألوان التى تثير بشدة الاحساس الأحمر والأجزاء القاتمة صور الأجزاء الملونة بالالوان التى تثير هذا الاحساس قليلا وتـكون الاجزاء المعتمة وهى التى ينحجب الضوء عنهـا صور الاجزاء الملونة بالالوان التى لا تثير الاحساس الاحمر ، كذلك اذا تـكونت بوساطة فانوس سحرى صورة من اللوح الموجب الثانى وأخرى من اللوح الموجب الثالث ووضع فى مسير ضوء الفانوس فى الاولى لوح من الزجاج الأخضر وفى مسيره فى الثانية لوح من الزجاج البنفسجى فان لون الصورة الاولى يكون أخضر ويكون زهو هذا اللون فى الاجزاء المختلفة من الصورة متناسباً وما تثيره ألوان هذه الاجزاء من الاحساس الاخضر ولون الثانية يكون بنفسجياً وزهوه فى الاجزاء المختلفة من الصورة يكون متناسباً وما تثيره ألوان هذه الاجزاء من الاحساس البنفسجى . فاذا وقعت الصور الثلاث بعضها على الآخر بحيث تتطابق تماماً امتزجت الالوان الثلاثة الاحمر والاخضر والبنفسجى فى الاجزاء المتطابقة بنسبة ما تثيره ألوان هذه الاجزاء فى الجسم الاصلى من الاحساسات الثلاثة واذن يؤدى الاحساس الحادث من النظر الى الصورة النهائية الحادثة بالتطابق الى ظهور هذه الاجزاء بألوانها الطبيعية .

هذا شرح لنظرية الطريقة التى نحن بصددها هنا غير أنه ليس من المتيسر عملياً الحصول على تأثيرات فتوغرافية للاضواء ذات الالوان المختلفة تتناسب فى الشدة وما تثيره هذه الاضواء من الاحساسات الاساسية الثلاثة كل على حدته . ولكن دلت البحوث العملية على امكان انتقاء مواد شفافة اذا وضعت فى سبيل الضوء الساقط على اللوح الفتوغرافى عند التقاط الصورة السالبة تجعل تأثيرات الاضواء المختلفة فى اللوح الحساس متناسبة أو تكاد تكون متناسبة وما تثيره هذه الاضواء من الاحساسات الاساسية الثلاثة كل على حدته . وهذه المواد الشفافة هى فى الغالب الواح من الزجاج الملون بألوان خاصة تسمى ألواح الترشيح اللونى أو المرشحات اللونية (١) . وهى ثلاثة أنواع أحدها يكاد يكون لونه برتقالياً وينفذ الاضواء ذات الالوان المختلفة بمقادير تجعل تأثيراتها فى اللوح الفتوغرافى الحساس مماثلة الى حد ما ما تثيره هذه الاضواء من الاحساس الاحمر ويسمى هذا المرشح الاحمر . والثانى لونه أخضر ضارب الى الزرقة وينفذ الاضواء ذات الالوان المختلفة بمقادير تجعل تأثيراتها فى اللوح الحساس مماثلة الى حد ما ما تثيره هذه الاضواء من الاحساس الاخضر ويسمى المرشح الاخضر . والثالث لونه أزرق وينفذ الاضواء ذات الالوان المختلفة بمقادير تجعل تأثيراتها فى اللوح الحساس مماثلة الى حد ما ما تثيره هذه الاضواء من الاحساس البنفسجى ويسمى المرشح الازرق وهذه المرشحات ليست فى الواقع صالحة تماماً لتأدية الغاية النظرية التى بيناها فيما سبق ولكنها تحقق فى مجموعها الى حد ما الغاية المقصودة من التصوير الفتوغرافى بالألوان . وهى ليست واحدة فى جميع الحالات بل تختلف تبعاً لاختلاف نوع اللوح الفتوغرافى الحساس ومبلغ تأثره بالاضواء ذات الالوان المختلفة

وتطبيق الطريقة السابقة عملياً يتلخص فى التقاط ثلاث صور سالبة منفصلة على ثلاثة ألواح فتوغرافية قابلة للتأثر بالاضواء المختلفة بحيث تلتقط احداها خلال المرشح الاحمر والثانية خلال الاخضر والثالثة خلال الازرق ثم تطبع من كل واحدة صورة موجبة وتضم الموجبة من الاولى الى لوح من الزجاج الاحمر ينفذ الضوء الاحمر خالصاً والموجبة من الثانية الى لوح من الاخضر والموجبة من الثالثة الى لوح من الزجاج الازرق بحيث يمكن بوساطة فانوس سحرى

---

(١) Colour Filters

الحصول على ثلاث صور احداها حمراء والثانية خضراء والثالثة زرقاء . ويستعمل عادة فانوس سحرى ذو ثلاثة مكثفات وثلاث عدسات مهيأة بحيث ترتمى الصور الثلاث على ستار واحد وبحيث تكون متطابقة

وطبقت الفكرة نفسها فى الصور المتحركة أيضاً وكانت فى مبدىء الأمر عقبات آلية تحول دون الحصول على ثلاث صور ملونة بالالوان المذكورة تقع على الستار الأبيض فى آن واحد وتكون أجزاؤها متطابقة فروعيت البساطة الى حد كبير واكتفى بمرشحين اثنين بدلا من ثلاثة جعل أحدهما أحمر والآخر أخضر ازرق فعند التقاط الصور صورت الصور السالبة أحداها خلال أحد المرشحين والتالية خلال الآخر وعند اتمام تجهيز الشريط (الفلم) الموجب وفى أثناء العرض جعل فى جهاز القاء الصور على الستار مرشحان أحدهما أحمر والآخر أخضر أزرق بحيث يأتى الأحمر مع الصورة الموجبة التى استعمل المرشح الأحمر فى تصوير سالبتها ويأتى الآخر مع الصورة الموجبة التى استعمل المرشح الثانى فى تصوير سالبتها فترتمى على الستار مرة صورة حمراء ثم تليها صورة خضراء زرقاء وهكذا . فينشأ عن استمرار الرؤية أن يندمج الاحساس بهذه الصور ، فتظهر الصور المعروضة بألوان قريبة من ألوانها الطبيعية

وطبقت الفكرة المذكورة بتعديل روعى فيه البساطة لنشر التصوير الفتوغرافى بالألوان وتعميمه تجارياً والمتبع فى ذلك طريقتان احداهما تعرف بطريقة « لوميير » [1] وأساسها تحضير الواح فتوغرافية مادتها الحساسة تتأثر بجميع الأضواء الطيفية ذات الألوان المختلفة ويغطى سطحها بطبقة من حبيبات النشاء (ويمكن رؤيتها بوساطة ميكرسكوب) وهذه الحبيبات ملونة بعضها باللون الأحمر وبعضها بالاخضر وبعضها بالازرق ومختلطة بعضها بالآخر وموزعة على سطح المادة الحساسة وهى تعمل دفعة واحدة عمل المرشحات الثلاثة عند التقاط الصورة . فاذا تم التقاط الصورة السالبة على هذا اللوح عولج معالجة خاصة تجعل الصورة المنطبعة عليه موجبة مع بقاء حبيبات النشاء المذكورة على سطحه فاذا نظر الى الصورة بالضوء النافذ خلال اللوح وخلال هذه الحبيبات ظهرت بالوان تشبه الألوان الطبيعية

---

(١) Lumière

والطريقة الثانية تعرف بطريقة « باجت »[١] واساسها استخدام مرشح لونى مفرد يتركب من لوح شفاف مرسوم على سطحه مستطيلات صغيرة بعضها احمر وبعضها اخضر وبعضها أزرق موزعة توزعاً خاصاً وهى لصغرها ولتقاربها بعضها الى الآخر لا ترى بألوانها المذكورة اذا نظر اليها بالعين المجردة وانما يرى اللوح كلوح شفاف معتاد من الزجاج . فتلتقط صورة سالبة على لوح فتوغرافى مادته الحساسة تتأثر بأضواء الطيف المختلفة خلال هذا المرشح ثم تعالج الصورة وتطبع منها صورة موجبة على لوح فتوغرافى فاذا تم تجهيز الموجبة يضاف اليها المرشح المذكور بحيث تقع المستطيلات الحمراء على صور الأجزاء التى صورت سالبتها خلال المستطيلات الحمراء وتقع المستطيلات الخضراء والزرقاء فى مواضعها المناسبة تماماً ثم ينظر الى الصورة الموجبة بالضوء النافذ خلالها وخلال المرشح المذكور فتظهر الصورة ملونة بألوان تشبه الألوان الطبيعية

(الطريقة الثانية)

وتعرف بطريقة « التفريق »[٢] وأول من استعملها « ايفز »[٣] وتتلخص نظريتها فى التقاط ثلاث صور سالبة خلال المرشحات الثلاثة ولتكن الأحمر والأخضر والازرق كل واحدة على حدتها فاذا سمينا التى تصور خلال المرشح الأحمر الصورة الحمراء والتى تصور خلال لأخضر الخضراء والتى تصور خلال الأزرق الزرقاء (والصور طبعاً لاتكون ملونة بهذه الالوان) فالصورة السالبة الحمراء هى صورة تظهر فيها صور الأجزاء التى تثير ألوانها الاحساس الأحمر معتمة والتى ليست كذلك شفافة وبالمثل الصورة السالبة الخضراء والصورة السالبة الزرقاء تظهر فى الاولى صور الأجزاء التى تثير ألوانها الاحساس الاخضر معتمة والتى ليست كذلك شفافة . وتظهر فى الثانية صور الاجزاء التى تثير ألوانها الاحساس الازرق (أونظرياً البنفسجى اذا ذهبنا الى أنه أحد الاحساسات الثلاثة الاساسية) معتمة والتى ليست كذلك شفافة. ثم تطبع من الصورة الاولى صورة على لوح من الزجاج مغطى سطحه بطبقة جيلاتينية جعلت حساسة بفعل ثانى رومات البوتاسيوم فأجزاء الجيلاتين التى يقع عليها الضوء تصير غير قابلة للذوبان فى الماء والاجزاء التى يحجب عنها الضوء

---

(١) Paget (٢) Subtractive Process (٣) Ives

تذوب فى الماء ولذلك اذا غسلت الصورة يزول الجيلاتين عن المواضع المقابلة للمواضع المعتمة فى الصورة السالبة وهى صور الأجزاء ذات الألوان التى تثير الاحساس الاحمر فاذا صبغت الصورة المطبوعة بلون أزرق أخضر وهو اللون المتمم للاحمر انصبغ الجيلاتين الباقى على اللوح بهذا اللون وبقيت الأجزاء الاخرى من اللوح شفافة لالون لها . ثم تعاد العملية المذكورة بالنسبة الى الصورة السالبة الخضراء فالمواضع التى يبقى عليها الجيلاتين تكون صور الأجزاء ذات الالوان التى لا تثير الاحساس الأخضر وتصبغ باللون المتمم للاخضر وهو الارجوانى الحاصل من مزج الأحمر والبنفسجى . أما المواضع التى يزول عنها الجيلاتين وتبقى شفافة غير مصبوغة فتكون صور الاجزاء التى تثير ألوانها الاحساس الاخضر . كذلك تعاد العملية بالنسبة الى الصورة الثالثة وهى السالبة الزرقاء فالمواضع التى يبقى عليها الجيلاتين تكون صور الاجزاء ذات الالوان التى لا تثير الاحساس الازرق (أو نظرياً البنفسجى) وتصبغ باللون المتمم للازرق وهو الاصفر فى حين أن المواضع التى يزول عنها الجيلاتين وتبقى شفافة تكون صور الأجزاء التى تثير الاحساس الازرق فاذا وضعت هذه الصور المطبوعة المصبوغة الثلاث بعضها فوق الآخر بحيث تكون متطابقة ونظر اليها بالضوء النافذ أو ألقيت صورتها بوساطة فانوس سحرى على ستار أبيض بحيث ينفذ الضوء الابيض من المصدر خلال الصور الثلاث فان الصورة التى ترى تكون ملونة بألوان شبيهة بالالوان الطبيعية

١٢٢ — الطبع بالألوان

وقد طبقت طريقة التفريق السابقة فى الطبع بالالوان وفى هذه الحالة تطبع الصور السالبة التى التقطت خلال المرشحات على ألواح من الخارصين أو النحاس مغطاة بطبقة جيلاتينية جعلت حساسة بفعل ثانى كرومات البوتاسيوم فتصير الاجزاء التى عرضت للضوء غير قابلة للذوبان فى الماء أما الاخرى فتذوب فاذا عولج سطح اللوح بالحامض المناسب تأكلت المواضع التى أذيب من فوقها الجيلاتين وبقيت الاجزاء المغطاة بالجيلاتين بارزة . فالاجزاء البارزة فى اللوح المعدنى الذى استعملت معه الصورة السالبة الملتقطة خلال المرشح الاحمر تمثل صور الاجزاء الملونة بالالوان التى لاتثير الاحساس الاحمر ولذلك تطبع بوساطة هذا اللوح باعتبار أنه خاتم معتاد (اكلشيه)

صورة على صفحة من الورق الابيض بحبر لونه المتمم للاحمر . و كذلك يجهز خاتم من الصورة السالبة التى التقطت خلال المرشح الاخضر وتطبع بوساطته صورة بحبر لونه المتمم للاخضر بحيث تقع على الصورة الاولى وتنطبق عليها . وكذلك يجهز خاتم ثالث من الصورة السالبة التى التقطت خلال المرشح الثالث وتطبع بوساطته صورة بحبر لونه المتمم للازرق بحيث تقع على الصورتين الاخريين وتنطبق عليهما فتكون الصورة النهائية الحادثة من انطباع الصور الثلاث بألوان مشابهة للالوان الطبيعية . ومن أهم ما يعنى به فى هذه العملية اختيار الالوان الثلاثة المناسبة التى تطبع بها الصور

١٢٣ — التلون — الظاهرة الفلورية

اذا أذيب بعض كبريتات الكينا فى حامض الكبريتيك ووضع المحلول فى اناء من الزجاج شوهد أنه يكاد يكون كالماء لا لون له لولا أن موضع وقوع الضوء على سطح المحلول يتلون بلون أزرق . واذا وضع المحلول فى غرفة مظلمة ووجهت اليه حزمة من أشعة الضوء الابيض بوساطة عدسة لامة شوهد أن مسير الاشعة خلال المحلول يتلون بذلك اللون الازرق واذا كان سمك المحلول الذى يخترقه الضوء كبيراً شوهد أن التلون الازرق يمتد الى حد ينقطع بعده حتى اذا وقع الضوء النافذ من المحلول على محلول آخر من كبريتات الكينا لا يحدث عن ذلك تلون المحلول الثانى . و يدل هذا على أن التلون باللون الازرق يحدث بفعل أشعة خاصة فى الضوء الابيض يمتصها المحلول اذا كان سمكه مناسباً فاذا تجرد الضوء النافذ من هذه الاشعة بطل أثره فى احداث التلون

ولمعرفة أى أضواء الطيف هو المحدث لهذا التلون يوضع المحلول فى انبوبة اختبار رقيقة وتوضع الانبوبة فى مواضع مختلفة فى طيف حقيقى نقى (للضوء الابيض) متكون على صفحة من الورق الأبيض فتشاهد انها اذا انتقلت من الطرف الأحمر نحو الطرف البنفسجى ظهرت فى الجزء الاحمر حمراء وفى البرتقالى برتقالية وهكذا حتى اذا بلغت الجزء الأزرق وتجاوزته الى الطرف البنفسجى تلونت باللون الأزرق المشار اليه ويلاحظ أنها اذا تجاوزت الطرف البنفسجى قليلا ظلت متلونة بهذا اللون الأزرق واذا تجاوزته بمقدار كبير بطل التلون وانه قبيل زواله

يكون التلون مقصوراً على طبقة رقيقة من المحلول فى الجانب القريب من الطيف

وهذا يدل على أن التلون الازرق يحدث بفعل أشعة عند الطرف البنفسجى من الطيف أو بقربه وان هذه الأشعة يمتصها المحلول ويشع بدلا عنها أشعة زرقاء واذن المحلول يمتص أشعة اكبر انحرافاً فى المنشور ويشع بدلا عنها أشعة أقل انحرافاً فيه

ونطلق على هذه الظاهرة اسم « التلون » وتعرف عادة « بالظاهرة الفلورية » [١] نسبة الى نوع من البلورات يسمى « فلوسبار »[٢] وهى تحدث فى مواد كثيرة نسميها مواد « متلونة » أو « فلورية » ومنها محلول الكلورفيل فى الكحول ويتلون بلون أحمر وزيت البرافين ويتلون بلون أزرق والفلورسين [٣] ويتلون بلون أزرق يضرب الى الصفرة والحبر الأحمر وبعض الأملاح كملح سيانور البلاتين والباريوم وملح سيانور البلاتين والبوتاسيوم وغير ذلك

وقد درس « ستوكس » [٤] هذه الظاهرة واستنبط من تجارب عدة أجراها قانوناً يعرف باسمه يتلخص فى ان الأشعة المحدثة للتلون تكون اكبر انحرافاً فى المنشور الزجاجى من التلون الحادث فى المادة بفعلها وقد دلت البحوث الحديثة على أن قانون ستوكس هذا لا ينطبق فى جميع الحالات فقد تكون الأشعة المحدثة للتاون أقل انحرافاً فى المنشور من التلون الحادث بفعلها فى بعض المواد

والتلون الأزرق الحادث فى محلول كبريتات الكينا مثلا ليس ضوءاً بسيطاً ذا لون واحد فهو اذا اختبر بوساطة سبكترسكوب يتحلل الى ألوان عدة تنحصر بين الطرف الاحمر والجزء الازرق من الطيف وتغلب فيها طبعاً نسبة الأزرق ولكنها تكون جميعاً أقل انحرافاً فى المنشور من الضوء البنفسجى مثلا الذى يحدثها

---

(١) Fluorescence

(٢) Fluorspar

(٣) Fluorescine

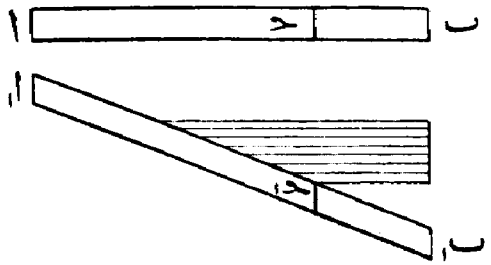
(٤) Stokes العالم الانجليزى

١٢٤ — دراسة ظاهرة التلون عملياً

واخترع « ستوكس » لبيان التلون طريقة عملية تتلخص فى اعداد لوحين أو بوجه عام وسطين شفافين أحدهما ينفذ الضوء من الطرف البنفسجى من الطيف دون الاضواء الاخرى كلوح من الزجاج الكوبلتى مثلا ومعه لوح رقيق من الزجاج الاخضر فاللوحان معاً يتكون منهما وسط ينفذ الازرق والنيلى والبنفسجى من الطيف ويكون غير شفاف للاضواء الاخرى والآخر لا ينفذ هذه الاضواء ولكنه ينفذ الاخرى كلوح من الزجاج الاصفر الذى ينفذ الاحمر والبرتقالى والاصفر والاخضر ويكون غير شفاف للاضواء الاخرى فاذا هيء الوسط الاول بحيث يقع عليه ضوء أبيض وينفذ خلاله الى غرفة مظلمة مثلا ووقع على جسم غير فلورى ونظر الى هذا الجسم خلال اللوح الاصفر فان الجسم لا يرى لان الاضواء الواقعة عليه والتى تنعكس عنه لا تنفذ خلال اللوح الاصفر ولكن اذا كان الجسم فلورياً فانه يمتص الضوء الواقع عليه ويحوله الى ضوء أو أضواء أقل انحرافاً فى المنشور ويشع هذه الاضواء وهذه تنفذ خلال اللوح الاصفر واذن يمكن رؤية الجسم خلال هذا اللوح. وقد استطاع « ستوكس » أن يستدل بمثل هذه الطريقة على فلورية كثير من المواد والاجسام المألوفة كالورق المعتاد والقطن والعظم والعاج والفلين وغير ذلك

ولاختبار صحة قانون ستوكس يجعل طيف ضوء أبيض شديد كالطيف ا ب (شكل ٩٧) بحيث يقع فى غرفة مظلمة على سطح السائل او الجسم الفلورى ثم ينظر الى هذا الطيف خلال منشور موضوع وحرفه الحارف عمودى على الحرف الحارف للمنشور الذى يحدث الطيف ا ب فاذا لم يكن الجسم الواقع عليه الطيف ا ب فلورياً ظهر الطيف خلال المنشور الثانى منحرفاً وليكن ظهوره فى الموضع ا' ب' كما هو مبين بالشكل مع ملاحظة أن ا ى ، ا' ى' يدلان على الطرف الاحمر ى ب ى' ب' يدلان على الطرف البنفسجى. وكذلك نظراً لان سطح السائل أو الجسم الفلورى قد يعكس شيئاً من الضوء الواقع عليه فان الطيف ا' ب' يرى عادة. ولكن علاوة على هذا الطيف يرى ضوء آخر كالمبين فى الشكل بالجزء المظلل فيه وهذا ينشأ عن التلون.

فاذا وضع حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة فى مسير الطيف ا ب الواقع على الجسم أمكن أن يجعل الضوء الواقع على الجسم مستمداً من جزء معين من الطيف فيكون أو يكاد يكون ضوءاً بسيطاً ذا لون واحد واذن يمكن اختبار ما اذا كان التلون الحادث بفعل هـذا الضوء أقل أو اكثر انحرافاً فى المنشور . فاذا فرضنا أن الضوء الواقع على المادة هو الجزء المدلول عليه بالحرف حـ من الطيف ا ب فان هذا الجزء يرى خلال المنشور الثانى عند حـ١ فاذا كانت المادة فلورية والضوء الفلورى الذى تشعه أقل انحرافاً فى المنشور ظهر الضوء الفلورى ممتداً فوق ا١ حـ١ (كما هو مبين بالشكل) أما اذا كان اكبر انحرافاً فانه يظهر ممتداً تحت ب١ حـ١



(شكل ٩٧)

١٢٥ — الوميض — الظاهرة الفسفورية

وتحدث فى بعض المواد ظاهرة أخرى شبيهة بالتلون ولكنها تختلف عنه فى أنها تدوم مدة بعد انقطاع الضوء الواقع على المادة فى حين أن التلون يبطل بانقطاع الضوء . ويطلق على الظاهرة اسم « الوميض » و تسمى المادة التى تحدثها « مومضة » . والمواد المومضة اذا تعرضت لضوء الشمس أو ضوء مصباح شديد ثم حجبت فى الظلام رؤى أنها تشع ضوءاً يختلف لونه وشدته باختلاف نوع الجسم وحالته . ومن هذه المواد كبريتور الباريوم وكبريتور الكلسيوم المومض ويصنع منه نوع من الدهان يومض فى الظلام والماس ولا سيما الماس الاصفر وبعض البلورات الاخرى كالفلورسبار وبلورة الاراجونيت[1] و بعض مركبات الاسترانشيوم والباريوم والجنزيوم

وقد دلت التجارب على أن الوميض المنبعث من المادة فى الظلام هو بوجه عام أقل انحرافاً فى المنشور من الضوء الذى يحدثه وان كان ذلك ليس صحيحاً على الاطلاق

وظاهرة الوميض تسمى عند الفرنجة « الظاهرة الفسفورية »[2] ولكنها لاعلاقة لها بالضوء المتشعع من الفسفور من جراء تأكسده البطىء فهذا ينقطع بانقطاع الاكسجين عن

---

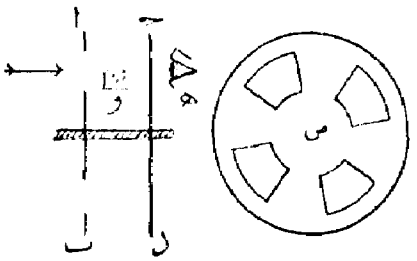
(١) Aragonite

(٢) Phosphorescence

الفسفور أما الاجسام المومضة فتمتص الضوء أو بعض الضوء الواقع عليها ثم تشعه ويستمر اشعاعها له مدة من الزمان فى الظلام حتى يتم اشعاع الطاقة التى امتصتها

١٢٦ — مقياس أجل الوميض — الفسفورسكوب

والمدة التى يدومها الوميض بعد انقطاع الضوء المؤثر عن المادة تسمى « أجل الوميض » وهى تختلف باختلاف المادة المومضة فقد تبلغ عدة ساعات فى بعض الاجسام وقد تدوم بضع دقائق أو ثوان وقد لا تدوم الا برهة صغيرة لا تتجاوز كسراً صغيراً من الثانية . فاذا كان الاجل طويلا أمكن قياسه بسهولة أما اذا كان كسراً صغيراً من الثانية فيستعمل لقياسه جهاز اخترعه « بكرل »[1] يعرف باسم « الفسفورسكوب » وهو يتركب من قرصين من المعدن مثل ا ب ، حـ د (شكل ٩٨) مثبتين متوازيين ومحوراهما منطبقان بحيث يمكن ادارتهما معاً كجسم واحد حول هـذا المحور . وبكل من القرصين فتحات كالفتحات المبينة بالقرص ص بالشكل والقرصان مثبتان بحيث لا تكون الفتحات فيهما متقابلة بل بحيث تكون الفتحة فى أحدهما مقابلة لما بين الفتحتين فى الآخر . ويوضع الجسم المراد اختبار وميضه بين القرصين على حامل عند و معد لذلك وتلم أشعة الضوء بوساطة عدسـة بحيث تنفذ من احدى فتحات أحد القرصين وتقع على الجسم فاذا أدير القرصان وجعلت العـين عند ه على امتداد الضوء الواقع على الجسم فان هذا الجسم يتعرض الى الضوء وهو محجوب عن العين ويتعرض الى العين وهو محجوب عن الضوء فاذا زادت سرعة الدوران صغرت البرهة الزمنية التى تمضى بين قطع الضوء عن الجسم وبين انكشاف الجسم للعين



(شكل ٩٨)

فاذا فرضنا أن القرصين يعملان دورة واحدة فى الثانية وكان بكل منهما فتحات عددها ن فالجسم يتعرض ن مرة للضوء فى الثانية الواحدة فتكون البرهة الزمنية التى تمضى بين تعرضه للضوء

---

(١) Becquerel

مرة وتعرضه مرة أخرى هى $\frac{1}{2ن}$ من الثانية واذن تكون المدة بين تعرض المادة للضوء وانكشافها للعين هى $\frac{1}{2ن}$ من الثانيـة فاذا دار القرصان ع دورة فى الثانية كانت هذه المدة الزمنية $\frac{1}{2ن ع}$ من الثانية ، فاذا كانت هذه المدة أقل من أجل الوميض رؤى الجسم من جراء وميضه واذا كانت أكبر امتنعت رؤيته . فاذا أدير القرصان أولا ببطء ثم زيدت سرعة الدوران بالتدريج وقيست سرعة الدوران عند ما تبتدىء العين أن ترى الجسم أو أدير القرصان أولا بسرعة بحيث ترى العين الجسم من جراء الوميض ثم قللت السرعة بالتدريج وقيست عند ما تنقطع رؤيته أمكن بمعرفة هذه السرعة وعدد الفتحات تقدير مدة أجل الوميض

والقرصان فى هذا الجهاز مطليان بدهان أسود وموضوعان داخل علبة اسطوانية الشكل مطلية من الداخل بدهان أسود وبها فتحتـان احداهما لنفوذ الضوء الواقع على الجسم خلالها والأخرى للنظر الى هذا الجسم خلالها وبهذه الكيفية يوقى الجسم من الضوء من جميع الجهات الا الضوء الواقع عليه من الفتحة

وقد استدل « بكرل » على أن أجل الوميض فى بعض الاجسام لا يتجاوز جزءاً من خمسمائة وألف جزء من الثانية فى حين أنه يبلغ عدة ساعات فى الأجسام الاخرى ودلت التجارب على أن الاجسام الصلبة الفلورية هى فى الحقيقة مومضة أى تظل تومض فى الظلام بعد انقطاع الضوء عنها أما السوائل ففلورية ينقطع تلونها بانقطاع الضوء عنها

١٢٧ — تأثير تغير درجة الحرارة فى الوميض

دلت التجارب على أن لتغير درجة الحرارة تأثيراً فى الوميض فكثير من المواد المومضة اذا عرضت للضوء وحجبت فى الظلام ثم رفعت درجة حرارتها اشتد وميضها وقصر أجله . وتجارب « ديوار » [1] دلت على أن كثيراً من الاجسام المومضة اذا تعرضت لضوء شديد وهى فى درجات منخفضة جداً من الحرارة (درجة الهواء السائل) فانها لا تومض ولكن اذا ارتفعت درجة حرارتها أومضت بشدة كما أن هناك مواداً أخرى كالجيلاتين والبرافين والعاج وقشر البيض يكاد لا يكون

---

(١) Dewar

لها وميض فى الدرجات المعتادة ولكنها اذا بردت الى درجة — ١٠٨ مئوية أومضت بشدة

١٢٨ — اشعاع ما فوق البنفسجى

من المعلوم أن التصوير الفتوغرافى أساسه أن للضوء تأثيراً كيميائياً فى بعض المواد . وقد كشف « شيل »[١] سنة ١٧٧٧ التأثير الكيميائى للضوء بتجارب بينت أن للضوء تأثيراً كيميائياً فى بعض مركبات الفضة وبينت أن التأثير الكيميائى للاشعة يزداد كلما زاد انحرافها فى المنشور الزجاجى فهو للاشعة البنفسجية من الطيف أشد كثيراً منه للاشعة الحمراء . ولكن دلت التجارب على أنه اذا أختبر التأثير الكيميائى لطيف ضوء أبيض كضوء الشمس مثلا شوهد أن هذا التأثير لا ينقطع عند الطرف البنفسجى من الطيف بل يتجاوزه الى ما بعده وقد كشف ذلك « رتر »[٢] سنة ١٨٠١ بتجارب على تأثير أشعة الطيف المختلفة فى كلورور الفضة اذ دلت تجاربه على أن تحلل كلورور الفضة يحدث أيضاً فى المنطقة المظلمة المجاورة للطرف البنفسجى والتى لا ترى بالعين والاشعة التى تلى الطرف البنفسجى من الطيف والتى لا ترى بالعين ولكن يستدل عليها بتأثيرها الكيميائى فى بعض المركبات سميت عند أول الكشف عنها « بالاشعة الكيميائية » أو « الاكتينية »[٣] وتعرف الآن بأشعة «ما فوق البنفسجى » أو « ما بعده »[٤]

ويستدل أيضاً بظاهرة التلون على وجود هذه الاشعة . فطبقاً لقانون « ستوكس » يحدث التلون حيث تكون الأشعة المحدثة له اكثر انحرافاً من الاشعة التى تشعها المادة المتلونة . فاذا أتى بانبوبة اختبار رقيقة بها محلول كبريتات الكينا فى حامض الكبريتيك ووضعت فى الطرف البنفسجى من طيف حقيق نقى فانها كما ذكرنا فيما قبل تتلون بلون أزرق واذا نقلت بالتدريج حتى تتجاوز قليلا الطرف البنفسجى الى المنطقه المظلمة فانها تظل متلونة باللون الأزرق المذكور ويكون تلونها هذا ناشئاً عن أشعة ما فوق البنفسجى الواقعة عليها

وأسهل طريقة لبيان أشعة ما فوق البنفسجى أن يهيأ منشور وعدسة وفتحة للحصول على

---

(١) Scheele

(٢) Ritter

(٣) Actinic Rays

(٤) Ultra Violet Rays

طيف حقيق نق لضوء الشمس بحيث يتكون على حاجز أبيض من الورق المقوى مثلا و يحدد على الحاجز موضع الطرف البنفسجى ثم يؤتى بلوح مغطى سطحه بطبقة من سيانور الباريوم والبلاتين وهى مادة فلورية ويمسك ملاصقاً للحاجز بحيث يقع على سطحه شطر من الطيف يشمل الالوان كلها فيرى التلون الحادث على اللوح المذكور ممتداً الى مسافة ليست بالقصيرة خارج الطرف البنفسجى من الطيف

وقد طبق « ستوكس » ظاهرة التلون لدراسة أشعة ما فوق البنفسجى فوجد أن الاجسام الشفافة بالنسبة الى الضوء المرئى يختلف بعضها عن الآخر من حيث شفيفها لأشعة ما فوق البنفسجى فالزجاج مثلا أقل انفاذاً أو شفيفاً لأشعة ما فوق البنفسجى من الكوارتز فالاول لا ينفذ أشعة ما فوق البنفسجى الصادرة من لهب الكحول فى حين أن الثانى ينفذها . ولذلك يستبدل بالزجاج الكوارتز فى صنع العدسات والمنشورات التى تستخدم فى دراسة أشعة ما بعد البنفسجى

وقد دلت تجارب « ستوكس » على ان التلون الحادث بفعل الاشعة الصادرة من شرارة كهربائية أوقوس فولتى يمتد فيما بعد البنفسجى الى مدى أطول مما يمتد اليه التلون الحادث بفعل أشعة الشمس دالا ذلك على أن هذه المصادر الضوئية تصدر من أشعة ما فوق البنفسجى ما هو اكثر انحرافاً من أشعة ما فوق البنفسجى الموجودة فى اشعاع الشمس الواصل الى سطح الارض ولما كانت أضواء الطيف المختلفة طبقاً للنظرية الموجية يختلف بعضها عن الآخر من حيث الطول الموجى وكانت الاشعة الحمراء أطول موجة والبنفسجية أقصر فان ورود أشعة ما فوق البنفسجى فى موضعها من الطيف (أى انحرافها بالنسبة الى أضواء الطيف انحرافاً اكبر) يدل على انها اذا كانت ماهيتها كماهية الضوء حركة موجية فانها تختلف عن اشعة الضوء المرئية فى أنها (أى المافوق البنفسجية) أقصر موجة

١٢٩ - اشعاع ما دون الاحمر

أجرى « هرشل »[١] سنة ١٨٠٠ تجربة تتلخص فى وضع ترمومتر حساس فى مواضع مختلفة من الطيف الشمسى فوجد أن درجة حرارة الترمومتر ترتفع اذا وضع الترمومتر خارج الطيف بالقرب من الطرف الاحمر فاستدل من ذلك على ان هناك اشعاعاً يرد فى الطيف قبل الاحمر لا تأثير له فى العين ولكن له تأثيراً حرارياً يستدل به عليه

وقد أعاد « دافى »[٢] تجربة « هرشل » فى الفراغ فأثبت أن ارتفاع درجة الحرارة عند ما يوضع الترمومتر فى المنطقة المظلمة قبيل الطرف الاحمر لا ينجم عن حدوث تيارات هوائية تنتقل الى هذه المنطقة من الجزء الاحمر أو الاصفر من الطيف حيث توجد أيضاً تأثيرات حرارية بل ينجم عن اشعاع غير اشعاع الطيف المرئى

ويسمى هذا الاشعاع « اشعاع ما دون الاحمر » أو « ما قبله[٣] » وورود هذا الاشعاع قبل الطرف الاحمر من الطيف أى انحرافه بمقدار أقل من انحراف أضواء الطيف المرئية يدل على أنه لو كانت ماهيته كماهية الضوء حركة موجية فانه يختلف عن الضوء المرئى فى أن موجاته أطول وطريقة الاستدلال عليه تدل على أنه من قبيل ما يعرف بالاشعاع الحرارى . ويستدل من هذا بوجه عام على تشابه الاشعاع الحرارى والاشعاع الضوئى ، فيكون الاختلاف بينهما طبقاً للنظرية الموجية اختلافا فى الطول الموجى . ويعزز هذا ما نورده فيما يلى

١٣٠ — الاجهزة الاولى التى استخدمت لبيان الاشعاع الحرارى ودراسته

من أسبق الاجهزة التى استخدمت لبيان الاشعاع الحرارى جهاز استخدمه « لزلى »[٤] يسمى « الترمسكوب الهوائى الفرقى »[٥] ويتركب من أنبوبة من الزجاج ذات شعبتين على شكل حرف U ينتهى طرفاهما بمنتفخين من الزجاج مكسو أحدهما بالسناج وبشعبتى الأنبوبة سائل ملون يعلوه هواء . فاذا عرض المنتفخ المكسو بالسناج الى الاشعاع الحرارى وحجب الآخر منه امتص

---

(١) F. W. Herschel (٢) Davy (٣) Infra Red Radiation

(٤) Leslie (٥) Differential Air Thermoscope

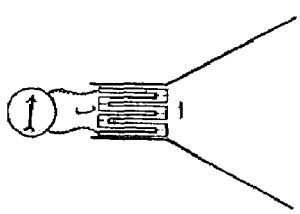
المنتفخ جانباً كبيراً من الاشعاع الواقع عليه فترتفع درجة حرارته ويتمدد الهواء الموجود فيه فينخفض سطح السائل فى الشعبة المتصلة به و يعلو فى الشعبة الاخرى . والجهاز أكثر حساً من الترمومتر المعتاد وأصلح منه للغاية الموضوع من أجلها

وقد يستبدل بالترمسكوب الفرق المذكور ترمسكوب أثيرى[١] ويتركب هو أيضا من أنبوبة ذات شعبتين منتهيتين بمنتفخين من الزجاج ولكن احداهما قصيرة والاخرى طويلة والجهاز مفرغ من الهواء و به مقدار من الاثير الملون ويكون المنتفخ المتصل بالشعبة القصيرة عادة مكسواً بطبقة من السناج فاذا تعرض للاشعاع الحرارى تمدد مافيه من بخار الاثير وأخذ سطح السائل يعلو فى الشعبة الاخرى

وقد استخدم « ملونى »[٢] فى البحوث التى أجراها فى الاشعاع الحرارى جهازاً يسمى « الترموبيل »[٣]

ويتوقف عمله على الظاهرة المعروفة فى علم الكهربائية باسم « الكهربائية الحرارية »[٤] وهى تتلخص فى أنه اذا أخذ سلكان مثلا من معدنين مختلفين كالنحاس والحديد وجعل طرفا أحدهما متصلين بطرفى الآخر بحيث تتكون منهما حلقة أو دائرة كهربائية تامة ثم سخن أحد ملتقيي المعدنين وترك الآخر فى درجة الجو أو برد سار فى الدائرة تيار كهربائى يتوقف اتجاهه على متوسط درجة الحرارة بين الملتقيين وتتوقف شدته غلى الفرق بينهما اذا كان الفرق صغيراً

والترموبيل المبنى عمله على هذه الظاهرة يتركب كما بشكل (٩٩) من قضبان من البزموت والانتمون معزول بعضها عن الآخر ولكن يتصل طرف القضيب البزموتى منها بطرف القضيب الانتمونى وملتقيات هذه القضبان مكسوة بطبقة من السناج . فاذا وصل الطرفان الخالصان للقضيبين الاخيرين بجلفانومتر حساس (واستخدم ملونى فى تجاربه جلفانومترا ذا ابرة استاتيكية) وعرضت مثلا الملتقيات المدلول عليها بالحرف ا فى الشكل للاشعاع الحرارى وحجبت الاخرى



(شكل ٩٩)

---

(١) Ether Thermoscope
(٢) Melloni
(٣) Thermopile
(٤) Thermo-Electricity

ب عنه ارتفعت درجة حرارة الاولى فيمر عندها تيار كهربائى من البزموت الى الانتمون ويتضاعف فى الدائرة نظراً لتعدد الملتقيات

ومن الاجهزة التى تستخدم أحياناً لبيان الاشعاع الحرارى جهاز اخترعه « كروكس »[١] وسماه « الرديومتر »[٢] أو مقياس الاشعاع وهو يتركب كما بشكل (١٠٠) من صفائح رقيقة جداً من الميكا مثبتة فى اطراف أذرع بحيث تكون قابلة للدوران حول محور فى اناء مخلخل هواؤه كثيراً وهذه الصفائح مكسو أحد وجهى الواحدة منها بطبقة من السناج ومهيأة بحيث تكون الأوجه السوداء متجهة فى اتجاه دائرى واحد . فاذا وضع الجهاز فى أشعة الشمس أو بالقرب من جسم حار أخذت الصفائح تدور ووجوهها غير المكسوة بالسناج نحو الامام

ونظرية الجهاز مبنية على ظاهرة تسمى «الفعل الغازى» أو «الفعل الاشعاعى»[٣] وتتلخص فى أنه نظراً لارتفاع درجة حرارة السطح الاسود بالنسبة الى الآخر من جراء كونه أشد امتصاصاً للاشعاع فان جزيئات الغاز الموجود فى الاناء عند سقوطها على السطحين ترتد عن السطح الأعلى درجة وهو الأسود بسرعة أكبر فيندفع هذا الى الخلف

وقد اتخذ « كروكس » الحد الأقصى لسرعة دوران الجهاز مقياساً لشدة (شكل ١٠٠) الاشعاع الناشىء عنه الدوران ولذلك سماه مقياس الاشعاع ولكنه فى صورته المذكورة يصلح لبيان الاشعاع اكثر منه لقياسه

١٣١ — تشابه الاشعاع الحرارى والاشعاع الضوئى

(أولا) الانتشار فى خطوط مستقيمة

ينتشر الاشعاع الحرارى كما ينتشر الضوء فى خطوط مستقيمة ويمكن بيان ذلك بتجربة بسيطة . فاذا هيء مصدر اشعاع حرارى (كمصباح كهربائى مثلا أو كرة معتمة سوداء من المعدن

---

(١) W. Crookes

(٢) Radiometer

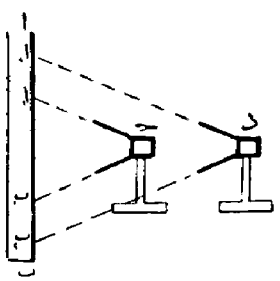
(٣) Gas or Radiometric Action

مسخنة الى درجة التوهج) وبضع صفائح من القصدير بكل واحدة ثقب وترموبيل بحيث تحول الصفائح بين مصدر الاشعاع والترموبيل فانها تحجب الاشعاع عن الترموبيل فلا يتأثر الا اذا كانت ثقوبها جميعاً منطبقة على المستقيم الواصل بين الترموبيل ومصدر الاشعاع

(ثانياً) قانون التربيع العكسى

ويترتب على انتشار الاشعاع الحرارى فى خطوط مستقيمة أن يكون مقدار الاشعاع الواقع فى وحدة الزمن على وحدة المساحات عمودياً عليها متناسباً وعكس مربع البعد عن المصدر ويمكن بيان ذلك بالتجربة الآتية . وذلك أن يؤخذ اناء من القصدير ويكون سطحه ا ب (شكل ١٠١) مكسواً بطبقة من السناج ويملأ الاناء بالماء الحار ثم يوضع امام السطح ا ب ترموبيل مجهز بدرع مخروطى كالمبين بالشكل فيشاهد أن انحراف الجلفانومتر المتصل بالترموبيل لا يتوقف على بعده عن السطح ما دام امتداد الدرع يقع على السطح الاسود المشع

فنى الوضع حـ تكون المساحة ا$_{١}$ ب$_{١}$ من السطح الاسود المشع هى المعرضة للترموبيل واذن تكون كمية الاشعاع الواقعة عليه متناسبة وهـذه المساحة وكذلك تكون كمية الاشعاع الواقعة عليه عند د متناسبة والمساحة ا$_{٢}$ ب$_{٢}$ وبما أن ثبوت انحراف الجلفانومتر يدل على أن المقدار واحد فى الحالتين وبما أن المساحات تتناسب ومربع الابعاد يتضح أن ما يقع على مساحة معينة من سطح الترموبيل صادراً من مساحة معينة من السطح المشع يتناسب وعكس مربع البعد بينهما



(شكل ١٠١)

(ثالثاً) الانعكاس والانكسار

والاشعاع الحرارى ينعكس وينكسر كما ينعكس وينكسر الضوء فاذا وضع سطح مقعر عاكس أو عدسة لامة فى مسير أشعة الشمس فانه فضلا عن تجمع الأشعة الضوئية فان الاشعاع الحرارى أيضاً يتجمع حتى يمكن بوساطته احراق قطعة من الورق أو اشعال لفيفة من الطباق كما هو معروف

ويمكن توضيح الانعكاس بتجربة يتخذ فيها سطحان كريان عاكسان أو أصلح منهما سطحان بهيئة مدور القطع المكافىء ويوضعان كما بشكل (١٠٢) بحيث يكون سطحاهما

العاكسان متقابلين ومحوراهما منطبقين وعند ا بؤرة أحدهما مصدر اشعاع حرارى (كمصباح كهربائى احمر مثلا) وعند ب بؤرة الآخر رديومتر لرولس فيدور الرديومتر بسرعة اذا أمر التيار الكهربائى فى المصباح كما أنه اذا وضع حاجز صغير كقرص من المعدن أو الورق المقوى بالقرب من السطح الاول وأبعد من بؤرته ووضع عند حـ فى الجانب الآخر من الحاجز رديومتر آخر فان هذا لوقوعه فى ظل الحاجز لا يتأثر فى حين أن الاول الموضوع عند ب يكون دائراً بسرعة

(شكل ١٠٢)

(رابعاً) سرعة انتقال الاشعاع الحرارى

وينتقل الاشعاع الحرارى بسرعة كبيرة جداً تدل المشاهدات على أنها تساوى سرعة الضوء فعند كسوف الشمس لوحظ أن انقطاع الضوء الواصل من الشمس مصحوب فى الوقت نفسه بانقطاع الاشعاع الحرارى ووصوله بعد انتهاء الكسوف مصحوب أيضاً بوصول الاشعاع الحرارى

فمثل التجارب أو المشاهدات السابقة تدل على تشابه الاشعاع الحرارى والاشعاع الضوئى ويعزز هذا القول بأن ماهيتهما واحدة فاذا كان الاشعاع الحرارى كالاشعاع الضوئى ماهيته حركة موجية فان وروده فيما قبل الاحمر من الطيف يدل على أن طوله الموجى أكبر من الطول الموجى للاحمر وهو أطول الاضواء موجة كما أن ورود اشعاع مافوق البنفسجى فيما يلى البنفسجى من الطيف يدل على أن موجاته أقصر من الطول الموجى للبنفسجى وهو أقصر الاضواء موجة وان كانت العين بطبعها لا تتأثر بهذين النوعين من الاشعاع ولا تتأثر الا بالضوء الاحمر والبنفسجى وما بينهما من أضواء الطيف فان لاشعاع ما دون الاحمر واشعاع ما فوق البنفسجى تأثيرات يستدل بها (كما اتضح فيما سبق) على وجودهما

والاستدلال على اشعاع ما دون الاحمر مبنى على أن هذا الاشعاع عند وقوعه على جسم أسود يمتصه الجسم ويكون مظهر امتصاصه له أن ترتفع درجة حرارته أو بتعبير آخر يمتص الجسم هذا الاشعاع فيتحول الاشعاع الى طاقة حرارية ولكن اذا كانت ماهية هذا الاشعاع وماهية الضوء واحدة

فالمنتظر عند وقوع الضوء على جسم أسود أن يمتصه الجسم ويتحول الضوء أيضاً الى طاقة حرارية وهذا ما تدعمه التجارب لان وقوع الجزء الاحمر أو الاصفر من الطيف على ترمو بيل مثلا يجعله يتأثر . وان كان تأثر الترمو بيل يقل كلما قربنا من الطرف البنفسجى فهذا يدل على أن طاقة هذه الاضواء تقل كلما قصر طولها الموجى ولا ينفى اثبات تحول الاشعة البنفسجية مثلا الى طاقة حرارية اذا كانت هناك أجهزة بلغت من الحس درجة تكفى لبيان ذلك

١٣٢ ــ انفاذ الاجسام للاشعاع الحرارى

تختلف الاجسام بعضها عن الآخر من حيث انفاذها للاشعاع الحرارى كما تختلف الاجسام بعضها عن الآخر من حيث شفيفها للضوء والأجسام التى تنفذ الاشعاع الحرارى خلالها كما ينفذ الزجاج مثلا الضوء خلاله تسمى أجساماً منفذة للاشعاع الحرارى[١]

وكان « مللونى » من أسبق الباحثين فى انفاذ الاجسام المختلفة للاشعاع الحرارى وكانت طريقته فى ذلك أن يجعل الاشعاع الحرارى الصادر من المصدر يمر من فتحة فى حاجز ثم يقع على ترمو بيل فاذا وضع لوح من المادة المراد اختبارها بين الفتحة والترمو بيل صار الاشعاع الواقع على هذا هو الذى ينفذ فى المادة فاذا عدم انحراف الجلفانومتر كانت مادة اللوح غير منفذة واذا قل الانحراف كانت منفذة لبعض الاشعاع واذا لم يقل كانت منفذة تماماً . وقد دلت تجاربه الوصفية التى أجراها بهذه الكيفية على أن لوحاً من الزجاج سمكه سنتيمتران يمتص ما يقرب من نصف الاشعاع الحرارى الصادر من سراج يضىء باشتعال غاز الفحم فى حين أنه يكاد لا ينفذ شيئاً من الاشعاع الحرارى الصادر من جدران اناء أسود من القصدير فيه ماء فى درجة المائة المئوية ودلت تجاربه على أن الملح الصخرى[٢] يكاد يكون تام الانفاذ للاشعاع الحرارى

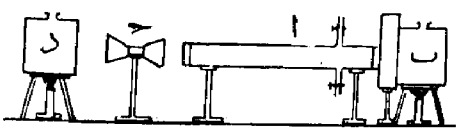
وبحث « مللونى » فى انفاذ السوائل أيضاً وكان يضع السائل فى اناء من الزجاج الرقيق جداراه المتواجهان مستويان متوازيان ودلت تجاربه على أن الماء المقطر لا ينفذ الاشعاع الحرارى الا بنسبة صغيرة وعلى أن اذابة ملح فيه تزيد كثيراً من انفاذه

---

(١) تعرف باسم « Diathermanous »

(٢) Rock Salt

وبحث « تندال » (١) فى انفاذ الغازات و الأبخرة واتخذ فى تجاربه أنبوبة طويلة ا (شكل ١٠٣) طولها أربعة أقدام وقطرها بوصتان أوثلاث مسدود طرفاها بلوحين من الملح الصخرى جعل بالقرب من أحد طرفيها اناء ب من القصدير على شكل مكعب وبه ماء يغلى بحيث يكون أحد جوانبه الرأسية مصدراً للاشعاع الحرارى . وأحاط المكان بين هذا المصدر و بين طرف الأنبوبة بحيث يمكن تفريغ الهواء منه فيقع الاشعاع من سطح المكعب خلال الفراغ على طرف الانبوبة وجعل بالقرب من الطرف الآخر للانبوبة ا ترموبيل حـ يتجه أحد وجهيه نحو طرف الأنبوبة و يتجه وجهه الآخر نحو سطح مكعب آخر د به ماء يغلى . وطريقته أن يفرغ الانبوبة ا من الهواء ويجعل البعد بين حـ و د



(شكل ١٠٣)

بحيث يصير الترموبيل فى حالة تعادل أى يكون الاشعاع الواقع عليه واحداً من جانبيه فاذا ملئت الأنبوبة ا بعد ذلك بالغاز المراد اختباره وكان الغاز تام الانفاذ فان الترموبيل يبقى فى حالة التعادل أما اذا امتص الغاز بعض الاشعاع النافذ فيه اختل تعادله

وقد دلت تجاربه على أن الهواء والاكسجين والأزوت والايدروجين تكاد لا تمتص شيئاً ولكن أول اكسيد الكربون والايدروجين المكبرت والنوشادر أى الغازات المركبة تمتص جانباً كبيراً ودلت تجاربه على أن الابخرة قليلة الانفاذ وتشبه بوجه عام سوائلها

وموضوع انفاذ الاجسام للاشعاع الحرارى ذو خطورة فيما يتعلق بالبحوث الخاصة باشعاع ما دون الاحمر حيث تتطلب هذه البحوث أن تكون المواد التى يخترقها الاشعاع منفذة له

---

(١) Tyndall