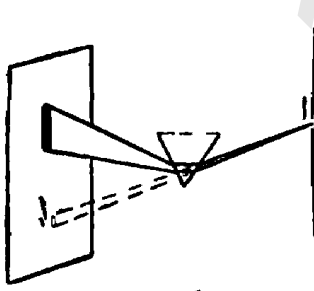


الباب الخامس

التشتت والالوان

١٠٤ - تجارب نيوتن في تشتت الضوء

أجرى نيوتن تجارب جعل فيها حزمة من أشعة الشمس تنفذ من فتحة صغيرة مستديرة مثل (شكل ٨٨) في حاجز الى غرفة مظلمة ووضع في مسيرها منشوراً ثلاثياً من الزجاج جعل حرفه



(شكل ٨٨)

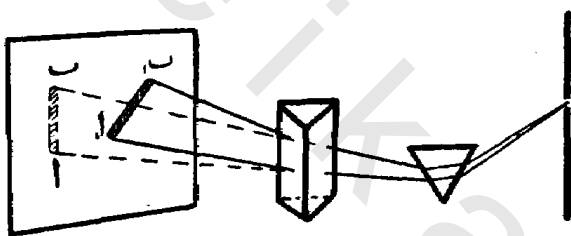
الحارف أفقياً ومشيروا الى أسفل كما هو مبين بالشكل فرأى أن الأشعة التي تنفذ من المنشور لا تكون بيضاء بل تكون ذات ألوان عدة بحيث اذا وقعت على حائط أبيض مقابل للثقب ظهرت عليه كشريط ملون طرفه الأسفل أحمر وطرفه الأعلى بنفسجى يمكن تمييز سبعة ألوان أساسية فيه هي بالترتيب الأحمر والبرتقالى والأصفر والأخضر

والأزرق والنيلي والبنفسجى وتعرف الألوان السبعة المذكورة بالألوان الرئيسية في الطيف حيث يسمى هذا الشريط الطيف (١) أو بالأحرى 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 بتب ظهورها في الطيف من الطرف الأحمر الى الطرف البنفسجى ولذلك تسمى الظاهرة ظاهرة «التشتت اللوني» (٢) أو بإيجاز ظاهرة التشتت

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

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

ووضع نيوتن في بعض تجاربه منشوراً آخر شديداً بالأول بحيث يكون حرفه الحارفاً رأسياً كما هو مبين بشكل (٨٩) فالمنشور الأول يحرف الأشعة في اتجاه رأسى ويحدث لو كان على حافته الطيف ا ب بحيث يكون ا طرفه الأحمر و ب طرفه البنفسجي ولكن وجود المنشور الثاني يحرفها في اتجاه أفقى بعيداً عن حرفه الحارفاً فيحرف الطرف الأحمر ا الى ا' والطرف البنفسجي ب الى ب'



(شكل ٨٩)

ب بمقدار أكبر ويؤدي وجود المنشورين معاً الى طيف واحد هو ا ب' بحيث يكون انحراف الأشعة ذات الألوان المختلفة فيه هو الناتج بتحصيل الانحراف الحادث بفعل أحد المنشورين

مع الانحراف الحادث بفعل الآخر ويقال عن المنشورين اللذين يكون طرفاهما الحارفاً متعامدين انهما متعامدان

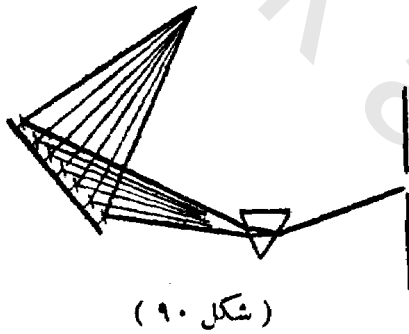
واختبر نيوتن أيضاً ما يحدث اذا كان الضوء الواقع على المنشور ذا لون واحد فجعل الضوء النافذ من المنشور الأول يقع على حاجز به فتحة صغيرة بحيث ينفذ منها ضوء جزء صغير من الطيف وجعل الضوء النافذ منها يقع على حاجز آخر به فتحة صغيرة أيضاً حتى يكون الضوء النافذ منها ذا لون يكاد يكون نقياً ثم جعل الأشعة التي تنفذ من هذه الفتحة تقع على منشور شبيه بالأول فشهد 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 في المنشور وان فعل المنشور في الواحد من هذه الأضواء انما هو حرفه عن مسيره الأول بقدر معين

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

ويمكن بيان هذا بطرق عدة فالاشعة الملونة النافذة من منشور كما في التجارب السابقة اذا نفذت خلال منشور آخر مشابه للاول ومن مادته وموضوع بحيث اذا كان الحرف الحارفي للاول أفقياً ومشيراً الى أسفل كان الحرف الحارفي للثاني أفقياً ومشيراً الى أعلى وبحيث يكون السطح الواقع عليه الضوء من أحدهما موازياً للسطح الذي يخرج منه من الآخر فان الاشعة تخرج من الثاني 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 في موضع يكون الضوء عنده أبيض أو اذا وقع على عدة مرايا صغيرة مثبتة كما بشكل (٩٠) بحيث يمكن املتها 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 كذلك اذا أخذ قرص مقسم سطحه الى قطاعات ملونه بألوان الطيف بحيث تكون النسب بين مساحاتها



(شكل ٩٠)

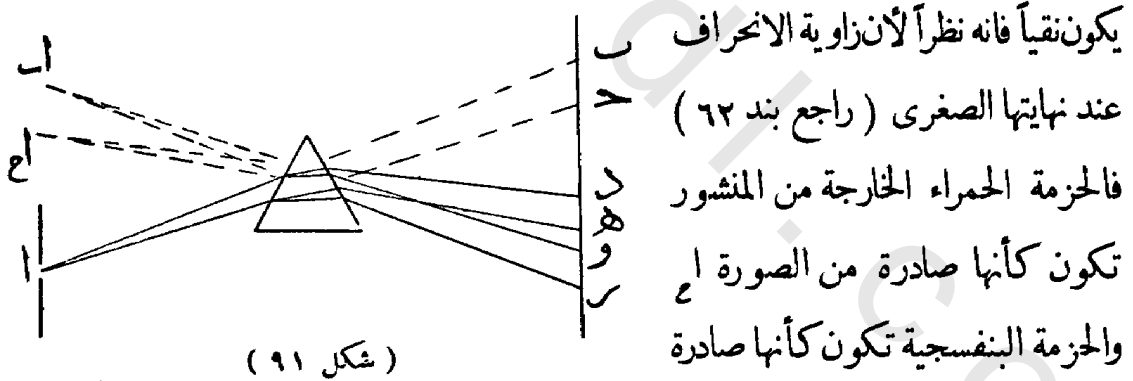
كالنسب بين شدة الألوان الأساسية في الطيف بوجه تقريبي وأدير القرص بسرعة حول محور مار بمركزه عمودى على سطحه ظهر لونه أبيض فظنراً لاستمرار تأثير العين فان الاضواء ذات الألوان المختلفة تقع على العين وهى لا تزال متأثرة بسواها فيكون التأثير العام كأن الاضواء المختلفة تقع عليها في آن واحد وتعرف هذه التجربة بتجربة قرص نيوتن

١٠٥ - الحصول على طيف نقي

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

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

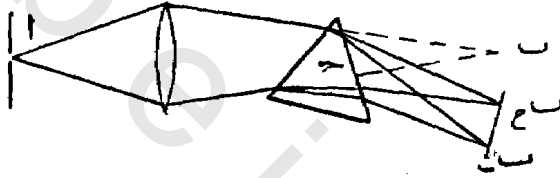
وللحصول على الطيف النقي طرق مختلفة . وأبسطها للحصول على طيف تقديري نقي أن توضع فتحة مستطيلة ضيقة ١ (شكل ٩١) تضاء بضوء أبيض بحيث تسقط الاشعة النافذة منها على منشور موضوع وحرفه الحارف مواز للفتحة ويهياً المنشور بحيث تكون زاوية انحراف الضوء النهاية الصغرى لزاوية الانحراف . فاذا وضع في الجانب الآخر من المنشور حاجز كالمبين بالشكل فإن الحزمة البيضاء التي كانت تقع على الحاجز في الموضع ب - ح لولا وجود المنشور تتشتت بحيث تقع الحمراء منها عند د ه مثلاً والبنفسجية عند و ر والحزم ذات الألوان الأخرى بين هذه وتلك على حسب ترتيبها الطيفي ولو ان الطيف الحادث على الحاجز في هذه الحالة أيضاً لا



من الصورة ب - ويكون الطيف التقديري ب - الح الذي يرى اذا وقعت الأشعة النافذة من المنشور على العين طيفاً نقياً

ويلاحظ أن وضع المنشور لكي يكون انحراف الأشعة الحمراء عند نهايته الصغرى يختلف قليلاً عن وضعه عند ما يكون انحراف الأشعة البنفسجية عند نهايته الصغرى ولذلك يهياً المنشور فيما سبق بحيث يكون انحراف شعاع أوسط بين الطرف الأحمر والطرف البنفسجي كالاصفر أو الاخضر مثلاً عند نهايته الصغرى

أما للحصول على طيف حقيقى نقى فيستعان ببعض العدسات اللامة وأبسط طريقة لذلك أن تهباً 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 الخارف موازياً للفتحة وفي وضع يجعل زاوية انحراف شعاع متوسط بين الطرفين 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



(شكل ٩٢)

تلم عند ب تلم عند ب ح بعد نفوذها من المنشور وهكذا بالنسبة الى سائر الاشعة ذات الالوان الاخرى فيتكون الطيف ب ح ب ويكون

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 طيف حقيقى نقى

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

١٠٦ - السبكتروسكوب أو مبین الاطیاف

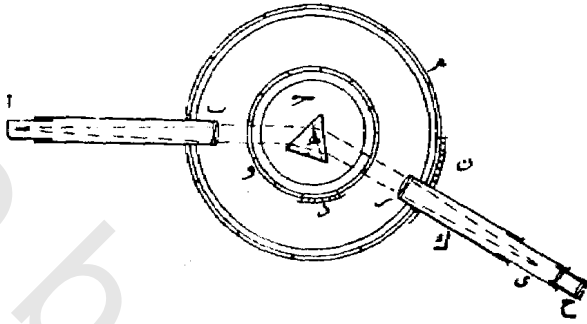
ومن أصلح الاجهزة للحصول على طيف نقى جهاز يسمى السبكتروسكوب أو مبین الاطیاف أو السبكترومتر (٢) وهو يتركب من ثلاثة أجزاء أساسية أولاً فتحة مستطيلة ضيقة ا (شكل ٩٣) وعدسة لامة (٣) ب فى طرفى أنبوبة مصنوعة من أنبوبتين تزلق احدهما داخل الاخرى كما هو مبین بالشكل بحيث يتسنى تغيير البعد بين الفتحة

(٢) Spectrometer, Spectroscope

(١) يحسن أن تكون لا لونية أنظر الباب السابع

(٣) هذه العدسة تكون عادة لا لونية

والعدسة حتى يمكن جعله مساوياً البعد البؤرى للعدسة ويسمى هذا الجزء من السيكتر سكوب مجمع



(شكل ٩٣)

الضوء أو «الكلياتور» (١) ويثبت هذا المجمع بحيث يكون محوره أفقياً وفتحته رأسية (ثانياً) منشور ثلاثى من الزجاج يوضع على قاعدة مستديرة أفقية مدلول عليها في الشكل بالحرف «ح» وهى قابلة للدوران حول محور رأسى

ماربمركزها «هـ» ويتصل بها ورنية 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 شبيثة لامة (٢) ر وقطعة عينية ح والعينية مثبتة فى أنبوبة اسطوانية قابلة للانزلاق داخل أنبوبة أخرى مثبت فيها وعلى بعد يكاد يساوى البعد البؤرى للعينية خيطان متعامدان أحدهما أفقى والآخر رأسى يتحدد بهما موضع ثابت في مجال النظر ويجعل الخيطان في أكثر الأجهزة الحديثة متقاطعين غير متعامدين تحدد نقطة تقابلها الموضع الثابت في مجال النظر والأنبوبة نفسها قابلة للانزلاق داخل الأنبوبة ك المثبتة في نهايتها العدسة الشبيثة والتلسكوب محمول على حامل بحيث يكون محوره في مستوى أفقى واحد مع محور المجمع والتلسكوب قابل للدوران حول المحور الرأسى المار بالمركز هـ ويتصل بالتلسكوب ورنية ن تتحرك حول محيط دائرة مدرجة مـ

والفكرة الأساسية في الجهاز تتلخص في أنه اذا أضيئت فتحة المجمع بضوء أبيض مثلاً تنفذ الأشعة من المجمع متوازية فتقع على المنشور وتشتت 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 شبيثة التلسكوب فتلم الشبيثة كل واحدة من هذه الحزم على بعد منها يساوى بعدها البؤرى ولكن في مواضع مختلفة نظراً لاختلاف ميل هذه الحزم بعضها بالنسبة الى الآخر عند سقوطها عليها واذن يتكون بفعل الشبيثة طيف حقيقى نقي مصغر في

المستوى البؤرى للشيئية وهذا الطيف ينظر اليه خلال العينية فيرى مكبراً

١٠٧ - كيفية اعداد السبكتروسكوب للاستعمال

ومن الضروري 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 لأعداده للاستعمال أن يبتدأ أولاً بالتلسكوب فتحرك الأنبوبة المثبتة فيها العينية بالنسبة الى الأنبوبة المثبتة فيها الخيطان المتقاطعان حتى يرى الخيطان خلال العينية واضحين دقيقين ثم تحرك الأنبوبة بالنسبة الى الأنبوبة ك المثبتة في نهايتها الشيئية حتى اذا نظر خلال التلسكوب الى جسم بعيد جداً رؤيت صورته واضحة ويمكن في أكثر الاجهزة اجراء هذه العملية الاخيرة وهى عملية تهيئة التلسكوب لرؤية الجسم البعيد بواسطة مسمار لولبي معد لكي تنزلق بإدارة رأسه الأنبوبة داخل الأنبوبة ك وقد تتطلب هذه العملية اخراج التلسكوب من مكانه في الجهاز ليتيسر النظر خلاله الى جسم بعيد وعند تهيئته يوضع مكانه مع الاحتياط في عدم تغيير البعد بين الشيئية وبين العينية بعد ذلك

واذا كان المنشور موضوعاً على القاعدة ح يزال من مكانه . وتجعل فتحة المجمع رأسية وهى في أكثر الاجهزة قابلة للاتساع والضيق فيجعل اتساعها مناسباً . ثم يؤتى بلهب صوديوم ويعد كما سبق في بند (٦٢) ويوضع في وضع مناسب من الفتحة حتى يضئها 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 في النظر خلال التلسكوب حتى ترى صورة الفتحة غاية في الدقة واذا كانت الفتحة متسعة يمكن في هذا الموضع تضيقها حتى ترى صورتها كخيوط رأسية من ضوء أصفر وبعد ذلك يوضع المنشور على القاعدة في 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 لكي تنفذ الاشعة خلال المنشور دون أن تعاني انعكاساً داخلياً ثم يدار التلسكوب حتى يأخذ الوضع الذى تقع فيه على شديته الاشعة النافذة من المنشور (كالمبين بالشكل ٣٣) فاذا نظر خلاله رؤيت صورة للفتحة . ولايجاد هذا الوضع بسهولة يستحسن أن ينظر أولاً بالعين المجردة الى الوجه الذى تخرج منه الاشعة النافذة خلال المنشور حتى تقع الاشعة الخارجة على العين وترى خلال المنشور الفتحة المضئية 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 هب الصوديوم ضوء يكاد يكون ذا لون واحد فلا يتشتت عند انكساره خلال المنشور وإنما تعاني الحزمة المتوازية التى تخترقه انحرافاً واحداً

ولكى يهيا 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 فىكون الانحراف عند نهايته الصغرى ثم يهيا التلسكوب بحيث تظهر الصورة فى هذا الوضع فى منتصف مجال النظر منطبقاً على الخط الرأسى من الخيطين المتعامدين أو على نقطة تقابلها اذا لم يكونا متعامدين

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

١٠٨ - اختبار الأطياف بواسطة السبكتروسكوب

والسبكتروسكوب يصلح لاختبار أطياف الاضواء المختلفة فاذا كان الضوء أبيض كان طيفه متصلاً ذا ألوان أهمها سبعة تتغير من الاحمر الى البنفسجى بتدرج متصل لا يمكن به تحديد موضع ابتداء اللون الواحد أو موضع انتهائه فالضوء الأبيض يمكن أن نعهده قد تحلل بواسطة السبكتروسكوب الى أضواء عدة لا حصر لها ذات ألوان مختلفة

واذا فرضنا أن هناك ضوءاً يكون طيفه الذى يرى بواسطة السبكتروسكوب 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 بواسطة السبكتروسكوب ومن الاضواء البسيطة الكثيرة الاستعمال ضوء لهب الصوديوم فطيفه كما ذكرنا فيما سبق يمكن أن يعتبر خطأ واحداً أصفر

واذا أضئت فتحة السبكتروسكوب بضوء آخر أيا كان أمكن باختبار طيفه معرفة ما اذا كان الضوء بسيطاً أو مرئياً قابلاً للتحلل الى أضواء تظهر فى مواضع مختلفة متقاربة أو متباعدة فى الطيف فمثلاً اذا اختبر ضوء شرارة كهربائية من ملف رمكرف تمر فى غاز مخلخل^(١) (ضغطه مليمتر أو اثنان من الزئبق) كغاز الايدروجين يرى الطيف مكوناً من بضعة خطوط أوضحها ثلاثة أحدها أحمر وثانيها أزرق وثالثها بنفسجى 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 ككلوروزور البوتاسيوم أو الاسترانسيوم 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 الكيمائى وهى أساس لما يعرف بعلم التحليل الطيفى وسيأتى ذكره بشيء من التوسع فى موضع آخر من الكتاب^(٢)

(١) الباب الرابع عشر

(٢) ، ، ،

١٠٩ - حدوث الألوان عن الامتصاص

وقد أتاحت التجارب التي أجراها نيوتن في التشتت تعليل حدوث ألوان الاجسام . فاذا هي 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 مثلاً انقطعت من الطيف الحادث جميع الاضواء ما عدا الاحمر ذلك على أن اللوح الاحمر ينفذ من أضواء الطيف المختلفة التى يمكن أن نعتبر الضوء الابيض مكوناً منها الضوء الاحمر دون غيره ويمتص 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 فإنه 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 لا ينفذ من الثانى فاذا وضع اللوحان معاً فى مسير الاشعة التى تحدث الطيف اختفى الطيف كله كما أنه اذا نظر خلالها 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 الألواح 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 الألوان المختلفة بالتساوى على

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

وذلك لان ضوء النهار الواقع على سطح المحلول ينفذ جانب منه الى الداخل فيقع على هذه الدقائق المعلقة في السائل فينعكس جانب منه عن سطوحها انعكاساً سميناً فيما سبق (بند ١٦) انتشاراً ويعود خارجاً من السطح واقعاً على عين الناظر . والضوء الواقع على العين في 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 مثلاً فالضوء الابيض الواقع على أوراقها ينفذ جانب منه الى الداخل فيعاني عن عدم انتظام التركيب الداخلي بضعة انعكاسات تعود بجانب منه الى الخروج مرة أخرى فيصل هذا الى العين بعد أن يكون قد نفذ خلال طبقة أو بضعة 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 أثناء نفوذه فيها قد امتص كله الا الاحمر

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

هذا واذا نظر الى جسم أبيض كورقة بيضاء مثلاً فان الضوء ينفذ في 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 شاملاً جميع أضواء الطيف بنسبة تكاد تكون واحدة فيظهر لون الجسم أبيض

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

١١٠ — الألوان الحادثة عن خلط الدهانات

والألوان الحادثة عند خلط الدهانات المختلفة هي أيضاً حادثة عن الامتصاص فمن المعلوم مثلاً أن خلط دهان أصفر بدهان أزرق يحدث لوناً أخضر وهذا اللون لا يحدث كما يقال أحياناً لأن الأخضر يقع بين الأصفر والأزرق من الطيف بل يحدث لأن الدهان الأزرق يمتص الأحمر والبرتقالي والأصفر في حين أنه لا يمتص كثيراً البنفسجي والأزرق والأخضر (وهو أقل امتصاصاً للأزرق فيغلب هذا في لونه) أما الدهان الأصفر فإن كان يمتص البنفسجي والأزرق فهو ينفذ الأخضر والأصفر والأحمر واذن يكون الأخضر هو الضوء الذي لا يمتصه الدهانان وينفذ منهما فإذا خلط أحدهما بالآخر ودهن بالخليط سطح قطعة من الورق الأبيض فان الضوء الأبيض عند نفوذه في طبقة الدهان وخروجه منها يكون قد تجرد من جميع الاضواء الا الأخضر

١١١ — الألوان الحادثة عن الانعكاس

وان كانت ألوان أكثر الاجسام تحدث عن الامتصاص كما تقدم بيانه فان هناك فريقاً من الاجسام تحدث ألوانها عن الانعكاس بمعنى أن هذه الاجسام اذا سقطت على سطح أحدها ضوء أبيض عكس ضوءاً أو بضعة أضواء ذات ألوان معينة عكساً خاصاً ونفذت خلالها أو خلال طبقات رقيقة منها الاضواء الأخرى فالذهب مثلاً لونه أصفر لأنه يعكس من الضوء الواقع على سطحه بصفة خاصة الضوء الأصفر. فاذا أخذت ورقة ذهبية رقيقة جداً ووقع على أحد سطحيها ضوء أبيض ظهر لونها بالنظر الى هذا السطح أصفر في حين أن الضوء النافذ خلالها لا يحتوى على شيء من المنعكس فيظهر لونها اذا نظر الى سطحها الآخر أزرق يضرب الى الخضرة وكذلك الحال في كثير من الصبغات الانيلينية ويمكن بيان ذلك باذابتها في الكحول ثم بسط

طبقة من المحلول المركز على لوح من الزجاج فاذا بخر المذيب تغطي 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 ففي 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 لأنه يحدث عن نفوذ الضوء في المادة ويسمى الثاني بلون السطح^(٤) نظراً لأنه يحدث عن الانعكاس عند السطح

١١٢ — معامل الامتصاص ومعامل الانفاذ

عند ما يخترق الضوء جسماً شفافاً فإن شدته ونعني 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 في الجسم الواحد باختلاف لون الضوء ويتناسب وشدة الضوء الواقع على المادة ويتناسب أيضاً وسمك الطبقة التي يخترقها الضوء. فاذا فرضنا أن الضوء الواقع على المادة ذو لون واحد ورمزنا لشدته بالحرف s وفرضنا أنه يخترق طبقة رقيقة من الجسم نرمز لسمكها برمز التفاضل ds وفرضنا أن شدة الضوء نقصت من جراء نفوذه في هذه الطبقة بمقدار نرمز له برمز التفاضل ds يكون

$$s \text{ متناسباً و } ds$$

$$s \text{ متناسباً و } ds$$

$$s = s_0 e^{-kds}$$

حيث يكون s_0 مقداراً ثابتاً يسمى معامل امتصاص المادة للضوء^(٥) المعين وتكون الإشارة

السالبة دالة على أن التغير الطارىء على شدة الضوء بازدياد السمك هو نقص فيها

Body Colour (٣) Aniline Blue (٢)

Fuchsin (١)

Coefficiene of absorption (٥)

Surface Colour (٤)

ومن المعادلة السابقة ينتج أن

$$s + 1 = \frac{s}{s} -$$

فاذا أجريت عملية التكامل واعتبرنا أن سمك المادة يزداد من الصفر الى قيمة نرمز لها بالحرف s وان شدة الضوء تنقص من قيمتها الأولى s_0 الى أخرى نرمز لها بالرمز s يكون

$$s + 1 \int_0^s = \frac{s}{s} - \int_0^s$$

$$\therefore - \ln s = \frac{s}{s}$$

$$\therefore s = e^{-s} \dots (1)$$

باعتبار أن s رمز لاساس اللوغارتمات الطبيعية

وتدل هذه المعادلة على العلاقة بين شدة الضوء النافذ من المادة وشدة 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 (1)

فاذا رمزنا لشدة الضوء قبل اختراقه المادة بالحرف s_0 واعتبرنا المادة التي يخترقها الضوء طبقات متتالية سمك الواحدة منها قدره الوحدة أى السنتيمتر ورمز لمعامل الانفاذ بالحرف k تكون شدة الضوء عند ما ينفذ من الطبقة الاولى s_1 ويكون هذا هو شدة الضوء الواقع على الطبقة الثانية واذن شدة الضوء النافذ من هذه الطبقة تكون s_2 وهكذا فاذا رمزنا لسمك المادة التي ينفذ خلالها الضوء بالحرف s ورمزنا لشدة الضوء النافذ منها بالرمز s يكون

$s = s' \dots (2)$
ومن المعادلتين (١) و (٢) يتضح أن

$$s = s'$$

$$\therefore s = s'$$

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 إذا لم يكن كذلك فإنه 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)

فإذا رمزنا لشدة الضوء الأزرق عند وقوعه على الجسم بالرمز s_1 ولمعامل انفاذ الجسم له بالرمز s_1 ورمزنا لشدة الضوء الأحمر عند وقوعه عليه بالرمز s_2 ولمعامل انفاذ الجسم له بالرمز s_2 ورمزنا لسمك الجسم بالحرف s تكون شدة الضوء الأزرق النافذ منه $s_1 s_1$ وشدة الضوء الأحمر النافذ منه $s_2 s_2$ والمقداران بوجه عام يكونان مختلفين

$$\text{فإذا كان } s_1 < s_2$$

$$s_1 > s_2 \quad 6$$

فانه عند ما تكون قيمة s صغيرة جداً يكون

$$s_{1,2} < s_{3,4}$$

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

أما اذا كانت قيمة s كبيرة جداً يكون

$$s_{1,2} > s_{3,4}$$

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

وهناك قيمة معينة للسمك يكون فيها

$$s_{1,2} = s_{3,4}$$

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 أولاً نسبة الأزرق اكبر ولكنها تأخذ في النقص وتأخذ نسبة الأحمر في الزيادة حتى تتساويا ثم تزداد نسبة الاحمر مع اطراد نقص نسبة الازرق

وظاهرة اللون المزدوج تحدث في محلول موريات الكروميوم^(١) فاذا وضع المحلول في اناء من الزجاج على شكل خابور أو منشور ثلاثي، 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 بني ثم الى أحمر . وتحدث الظاهرة أيضاً في محلولات بعض الصبغات الانيلينية فمحلول السيانين^(٢) 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 في المنشور مثلاً الى أضواء الطيف العدة وهذه أضواء يختلف بعضها عن الآخر من حيث قدر انحرافها في المنشور وسنرى بعد أنها طبقاً للنظرية الموجية موجات يختلف بعضها عن الآخر من حيث طول الموجة

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

وهناك عامل آخر يميز الألوان بعضها عن الآخر حتى ألوان الاضواء الطيفية البسيطة فبعضها أشد تأثيراً في 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 مثلاً دون أن تتغير هي نفسها يؤدي الى تغير كبير في لون الضوء المركب منها وهناك عامل ثالث يميز الألوان بعضها عن الآخر وهو الصفاء فقد يكون الضوء ان كلاهما ضوءاً طيفياً بسيطاً من الأحمر من الطيف مثلاً غير أن أحدهما مشوب بشيء من الضوء الأبيض فيظهر باهتاً والآخر ليس كذلك فيظهر صافياً

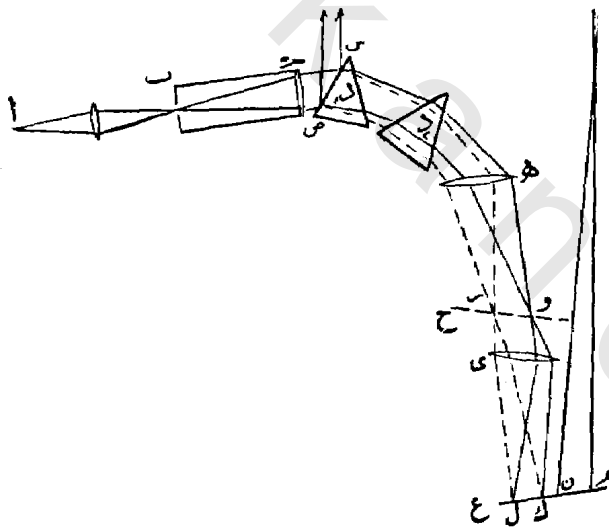
فالاحساس باللون يتوقف على ثلاثة أمور أولها موضع الضوء (أو موضع الاضواء البسيطة التي يتحلل اليها) في الطيف أو طبقاً للنظرية الموجية طول موجته (أو أطوال الموجات التي يتحلل اليها) وهذا ما نعب عنه بنقبة ^(١) اللون . وثانيها زهو ^(٢) اللون أى مبلغ تأثيره في العين . وثالثها صفاء ^(٣) اللون أى مبلغ تجرده من الاختلاط بالضوء الأبيض

١١٥ - مزج الألوان

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

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

والطريقة الثانية وتعرف بطريقة «أبنى»^(١) وهي المبينة تخطيطياً في شكل (٩٤) وفيها تصدر



(شكل ٩٤)

أشعة من الضوء الأبيض من مصدر أ (كقوس فولتى مثلاً) بقلم بوساطة عدسة لامة على فتحة مستطيلة ضيقة ب على بعد من عدسة لامة ح يساوى بعدها البؤرى فتخرج الأشعة من هذه متوازية وتقع على منشور د فينعكس جانب من الضوء عن الوجه س ص وينفذ جانب منه خلال المنشور ثم

خلال منشور آخر د لى يزداد تشتت الأشعة ثم تقع الأشعة بعد ذلك على عدسة لامة ه 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 ي تلها 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

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

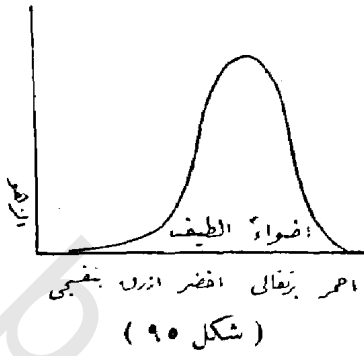
١١٦ — قياس زهو الألوان الطيفية البسيطة

وجهاز « أبني » الذى وصفناه فيما سبق يمكن تطبيقه لقياس زهو الألوان 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 فتكون نقطة مضيئة بيضاء بالقرب من الموضع ك ل ويوضع فى مسير هذه الأشعة 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 وإدارتها بسرعة تغيير شدة الضوء الأبيض الواقع على المساحة م ن

فلقياس زهو الألوان الطيفية 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 « أبني » هذه فى انه اذا تغيرت شدة الضوء الأبيض الصادر من المصدر ا تغير زهو الألوان ولكن تتغير بالنسبة نفسها شدة الاستضاءة فى المنطقة البيضاء م ن

والنتائج التى توصل اليها « أبني » عن زهو الوان طيف الضوء الأبيض الصادر من القوس الفولتى موضحة بالمنحنى البياني (شكل ٩٥) وتدل على أن زهو الضوء الأصفر من الطيف هو



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

١١٧ - نظرية ينج وهلمهولتز في 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 أبني على أن هذه الالوان هى الاحمر والازرق والبنفسجى 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 الاساسية هى الاحمر والاخضر والبنفسجى يكون الاحساس بالاحمر ناشئاً عن تأثر احدى هذه المجموعات أو الشعب العصبية والاحساس بالاخضر ناشئاً عن تأثر المجموعة الثانية والاحساس بالبنفسجى عن تأثر الثالثة . فاذا تأثرت مجموعة واحدة حدث احساس واحد أما اذا تأثرت المجموعات الثلاث حدث احساس مزجى 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

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

١١٨ — معادلات الالوان ومنحنيات الاحساسات الاساسية الثلاثة

اذا تحددت مواضع ألوان ثلاثة فى طيف الضوء الابيض ولنرمز لها بالحروف α ، β ، γ ووضع عند α (شكل ٩٤) فى جهاز أبنى ثلاث فتحات مستطيلة فى مواضع هذه الالوان وغير اتساع هذه الفتحات حتى صار الضوء الحادث على المساحة ك ل أبيض كان الاحساس بهذا الضوء الابيض ناشئاً عن مزج الالوان الثلاثة بنسبة معينة . فاذا عرف زهو هذه الالوان 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 المقادير الثلاثة بالحروف α ، β ، γ بالترتيب أمكن اعتبار الاحساس بالضوء الابيض الحادث عن مزج هذه الالوان مساوياً المقدار

$$1 \text{ من اللون } \alpha + \beta \text{ من اللون } \beta + \gamma \text{ من اللون } \gamma \text{ فى } 0.000 \dots (1)$$

ويمكن قياس الاحساس باللون الابيض الحادث بمضاهاة شدة استضاءة المساحة ك ل بشدة استضاءة المساحة م ن فاذا غيرت القطاعات المعتمدة الموضوعة فى سبيل الضوء الابيض الواقع على م ن حتى تظهر الشدتان متساويتين كانت مساحة الفرج بين القطاعات المعتمدة 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 α وغير اتساع الفتحات حتى ظهر الضوء الحادث على المساحة ك ل أبيض ورمزنا لمقادير الاحساس بالرموز α ، β ، γ ويمكن تقديرها كما فى الحالة السابقة أمكن اعتبار الاحساس بالضوء الابيض الحادث عن مزج هذه الالوان مساوياً المقدار

$$1 \text{ من اللون } \alpha + \beta \text{ من اللون } \beta + \gamma \text{ من اللون } \gamma \text{ فى } 0.000 \dots (2)$$

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 المعتمدة في هذه الحالة واذن تتعين نسبة شدة الضوء الابيض الحادث من المزج في هذه الحالة الى شدة الضوء الابيض الحادث من المزج في الحالة الاولى فاذا رمزنا لهذه النسبة بالحرف n تكون نسبة المقدار (٢) الى المقدار (١) مساوية n

$$\therefore n = (١ \text{ من اللون ح} + ٢ \text{ من اللون صم} + ٣ \text{ من اللون ف})$$

$$= ١ \text{ من اللون س} + ٢ \text{ من اللون صم} + ٣ \text{ من اللون ف}$$

ومن هذه المعادلة ينتج أن الاحساس باللون س ينشأ عن الاحساس بالالوان ح ، ص ، ف

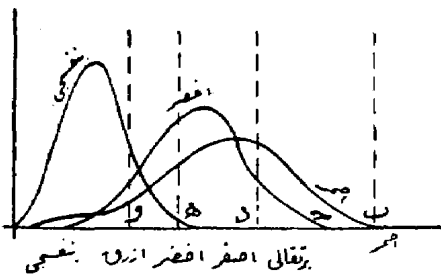
بالمقادير الآتية

$$\frac{١}{١} \quad \frac{٢}{١} \quad \frac{٣}{١}$$

بالترتيب

بهذه الكيفية يمكن إيجاد المقادير المختلفة من الاحساسات بالالوان الثلاثة ح ، ص ، ف التي يترتب على حدوثها الاحساس بأى لون طبيعى آخر غير س وقد كان « كونيغ »^(١) أول من حسب مثل هذه المقادير وبين نتائجه بمنحنيات كالمبينة بشكل (٩٦) وفيها اتخذت الالوان الثلاثة المعينة ح ، ص ، ف هي الاحمر والاخضر والبنفسجى بالترتيب وهي التي تدل التجارب على أنها الالوان الثلاثة الاساسية وتعتبر الاحساسات بها هي الاحساسات الثلاثة الاساسية طبقاً لنظرية ينج وهلمهولتز

وتسمى المنحنيات المبينة بشكل (٩٦) منحنيات الاحساسات الاساسية الثلاثة وفيها يدل



(شكل ٩٦)

المحور الافقى على مواضع الالوان الطيفية والمحور الرأسى على مبلغ ما تحدثه هذه الالوان من الاحساسات الثلاثة والمنحنيات مرسومة بحيث اذا أثبرت الاحساسات الثلاثة بالتساوى حدث الاحساس بالضوء الابيض ومن هذه المنحنيات يتبين أن الاحساس الاحمر لا يحدث

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 الاخرين أما اللون الاصفر كلون لذب الصوديوم (وموضعه مدلول عليه بالحرف د فى الشكل) فيحدث الاحساس الاحمر والاحساس الاخضر معاً ولكن نسبة الاحمر أكبر أى أن لذب الصوديوم على اعتبار أنه ضوء بسيط ذو طول موجى معين يؤثر فى المجموعتين العصبيتين اللتين تحدث احدهما 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 الاخضر مجرداً عن الاحساسين الآخرين لا يحدث أبداً بفعل أضواء الطيف كما أن النهاية القصوى للاحساس الاحمر 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 — الالوان المتتامة

إذا 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 وإذا حُجبت 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 فمثلاً اذا وضعت فتحة فى الطيف فى الجزء البرتقالى منه بين الوضعين ٥٦ د (شكل ٩٦) وأخرى فى الجزء الاخضر ما بين ٥٦ هـ فان ضوءيهما يحدثان الاحساس بالضوء الأبيض ويتضح السبب فى ذلك بالرجوع الى المنحنيات حيث يتبين أن الضوءين فى هذه الحالة يحدثان الاحساسات الأساسية الثلاثة بالنسبة التى يتكون بها الاحساس

بالضوء الأبيض

وإذا نظر الإنسان طويلاً إلى ضوء مصباح أحمر شديد ثم حول الطرف فجاءة إلى سطح أبيض فإن كلال البصر لا يؤدي إلى رؤية صورة مظلمة للمصباح بل إلى رؤية صورة لونها اللون الذي يكون هو والأحمر لونين متتامين فتظهر الصورة زرقاء ضاربة إلى الخضرة وذلك لأن المجموعة العصبية التي تحدث الإحساس الأحمر تكون قد كُلت فلا تؤثر فيها الأضواء المختلفة في الضوء الأبيض تأثيرها في المجموعتين الآخرين فيكون الإحساس الأخضر والإحساس البنفسجي شديدين في حين أن الأحمر يكون ضعيفاً

١٢٠ - عمى الألوان

جميع المسائل الخاصة بالألوان التي سبق ذكرها تنطبق على حالة الإنسان السليم النظر ولكن هناك نقصاً طبيعياً موروثاً في العادة دل الإحصاء على أن نسبة ما يصاب به من الرجال تبلغ أربعة في المائة ونسبة ما يصاب به من النساء تبلغ عشر ذلك ويعرف هذا النقص بعمى الألوان وهو نقص يفقد صاحبه المقدرة على التمييز بين الألوان المختلفة تمييز المتوسط من الناس ومنشأ هذا النقص طبقاً لنظرية ينج وهلهولتز فقد أحد الإحساسات الأساسية الثلاثة وفي حالات نادرة جداً فقد اثنان منها والإحساس المفقود في أغلب المصابين به هو الإحساس الأحمر ويسمى هذا النقص أحياناً « الدالتونية »^(١) نسبة إلى دالتون العالم الكيميائي المشهور الذي 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 الألوان المتشابهة بعضها إلى الآخر وتفضل الخيوط الصوفية الملونة لقلة لمعانها فإذا كان الشخص مصاباً بعمى الألوان أخطأ في ضم الخيوط بعضها إلى الآخر

وبالنسبة إلى المصاب بفقد الإحساس الأحمر مثلاً لا يكون لمنحني الإحساس الأحمر وجود فإذا نظر إلى الطيف لا يرى نهايته الحمراء وإذا كان الإحساسان الآخران سليمين فإنه يحس

بوجود الجزء البرتقالي والجزء الأصفر من الطيف والاول يظهر في الغالب كأخضر أغبر والثاني كأخضر زاه أما الطرف الأحمر فيظهر اسود والمنطقة بين ٥ و ٦ (شكل ٩٦) حيث يتقاطع منحني الاحساس الاخضر ومنحني الاحساس البنفسجي ويبلغ الاحساسان مقدارين متساويين تظهر بيضاء نظراً لانعدام الاحساس الأحمر . ويمكن تصور كيفية ظهور الوان الاجسام بالنسبة الى المصاب بفقد الاحساس الأحمر اذا نظر خلال محلول من كبريتات النحاس فهو يكاد يمتص الأشعة التي تثير الاحساس الأحمر

وبالنسبة الى المصاب بفقد الاحساس الاخضر فنحنى هذا الاحساس لا يكون موجوداً فاذا كان الاحساسان الآخران سليمين فالجزء الاخضر من الطيف حيث يتقاطع منحني الاحساس الأحمر ومنحني الاحساس البنفسجي يظهر أبيض فاذا نظر المصاب الى الطيف ظهر أحد طرفيه أحمر والآخر بنفسجياً وما بينهما أبيض وبالنسبة الى المصاب بفقد الاحساس البنفسجي فالجزء الأصفر من الطيف حيث يتقاطع منحني الاحساس الأحمر ومنحني الاحساس الاخضر يظهر أبيض

ونظرية ينج وهلمولتز تصلح بوجه عام لشرح الظواهر الخاصة بمعنى الالوان

١٢١ - التصوير الفتوغرافي بالالوان

فكرة أن الالوان المختلفة يمكن الحصول عليها بمزج الالوان الاساسية الثلاثة بنسب مختلفة هي الفكرة الاساسية في التصوير الفتوغرافي بالالوان ولتطبيق هذه الفكرة طريقتان (الطريقة الأولى)

تعرف بطريقة الضم^(١) ولشرح نظريتها نفرض أولاً أن لوحاً فتوغرافياً معداً لتصوير الصورة السالبة قابل للتأثر بالأضواء ذات الالوان المختلفة بما فيها الأحمر، وأنه أمكن بوسيلة ما أن تجعل هذه الاضواء مؤثرة فيه تأثيرات تتناسب شدتها وما تثيره هذه الاضواء من الاحساس الأحمر فاذا صورت السالبة ثم طبعت منها صورة موجهة على لوح فتوغرافي فان الاجزاء الشفافة في

هذه الصورة تكون صور الاجزاء الملونة بالالوان التي 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 في لوح فتوغرافي آخر تأثيرات تتناسب شدتها وما تثيره هذه الاضواء من الاحساس الاخضر وأمكن أن نجعلها تؤثر في لوح ثالث تأثيرات تتناسب شدتها وما تثيره من الاحساس البنفسجي وصورت على كل منهما صورة سالبة وطبعت منها موجبة على لوح فتوغرافي فان الاجزاء الشفافة من احدى هاتين الموجبتين تكون صور الاجزاء الملونة بالالوان التي تثير الاحساس الاخضر وتكون درجة شفيفها متناسبة وقدر ما تثيره هذه الالوان من هذا الاحساس ، كما أن الاجزاء الشفافة من الاخرى تكون صور الاجزاء الملونة بالالوان التي تثير الاحساس البنفسجي وتكون درجة شفيفها متناسبة وقدر ما تثيره هذه الالوان من هذا الاحساس . فاذا تكونت بوساطة فانوس سحري مثلاً صورة من اللوح الموجب الاول على ستار أبيض ووضع في مسير ضوء الفانوس لوح من الزجاج الأحمر فان الصورة الحادثة على الستار يكون لونها أحمر وتكون الاجزاء الزاهية فيها هي صور الاجزاء الملونة بالالوان التي تثير بشدة الاحساس الأحمر والاجزاء القائمة صور الاجزاء الملونة بالالوان التي تثير هذا الاحساس قليلاً وتكون الاجزاء المعتمدة وهي التي ينحجب الضوء عنها صور الاجزاء الملونة بالالوان التي لا تثير الاحساس الاحمر، كذلك اذا تكونت بوساطة فانوس سحري صورة من اللوح الموجب الثاني وأخرى من اللوح الموجب الثالث ووضع في مسير ضوء الفانوس في الاولى لوح من الزجاج الأخضر وفي مسيره في الثانية لوح من الزجاج البنفسجي فان لون الصورة الاولى يكون أخضر ويكون زهوهذا اللون في الاجزاء المختلفة من الصورة متناسباً وما تثيره ألوان هذه الاجزاء من الاحساس الاخضر ولون الثانية يكون بنفسجياً وزهوه في الاجزاء المختلفة من الصورة يكون متناسباً وما تثيره ألوان هذه الاجزاء من الاحساس البنفسجي . فاذا وقعت الصور الثلاث بعضها على الآخر بحيث تتطابق تماماً امتزجت الالوان الثلاثة الاحمر والاخضر والبنفسجي في الاجزاء المتطابقة بنسبة ما تثيره ألوان هذه الاجزاء في الجسم الاصلي من الاحساسات الثلاثة واذن يؤدي الاحساس الحادث من النظر الى الصورة النهائية الحادثة بالتطابق الى ظهور هذه الاجزاء بألوانها الطبيعية .

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

وتطبيق الطريقة السابقة عملياً يتلخص في 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 بواسطة فانوس سحري

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

وطبقت الفكرة نفسها فى الصور المتحركة أيضاً وكانت فى مبدئ الأمر عقبات آلية تحول دون الحصول على ثلاث صور ملونة بالألوان 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 أزرق 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 سالبتهـا ويأتى الآخر مع الصورة الموجبة التى استعمل المرشح الثانى فى تصوير سالبتهـا فترتبى 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 احدهما تعرف بطريقة « لومير » (١) وأساسها تحضير الواح فتوغرافية مادتها الحساسة تتأثر بجميع الأضواء الطيفية ذات الألوان المختلفة ويغضى سطحها بطبقة من حبيبات النشاء (ويمكن رؤيتها بوساطة ميكروسكوب) وهذه الحبيبات ملونة بعضها باللون الأحمر وبعضها بالأخضر وبعضها بالأزرق 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

والطريقة الثانية تعرف بطريقة « باجت » (١) واساسها استخدام مرشح لوني مفرد يتركب من لوح شفاف مرسوم على سطحه مستطيلات صغيرة بعضها احمر وبعضها اخضر وبعضها أزرق موزعة توزيعاً خاصاً وهي لصغرها ولتقاربها بعضها الى الآخر لا ترى بألوانها المذكورة اذا نظر اليها بالعين المجردة وإنما يرى اللوح كلوح شفاف معتاد من الزجاج . فلتلقط صورة سالبة على لوح فتوغرافي مادته الحساسة تتأثر بأضواء الطيف المختلفة خلال هذا المرشح ثم تعالج الصورة وتطبع منها صورة موجبة على لوح فتوغرافي فاذا تم تجهيز الموجبة يضاف اليها المرشح المذكور بحيث تقع المستطيلات الحمراء على صور الأجزاء التي صورت سالبتها خلال المستطيلات الحمراء وتقع المستطيلات الخضراء والزرقاء في 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 في التقاط ثلاث صور سالبة خلال المرشحات الثلاثة ولتكن الأحمر والأخضر والأزرق كل واحدة على حدها فاذا سمينا التي تصور خلال المرشح الأحمر الصورة الحمراء والتي تصور خلال لأخضر الخضراء والتي تصور خلال الأزرق الزرقاء (والصور طبعاً لا تكون ملونة بهذه الألوان) فالصورة السالبة الحمراء هي صورة تظهر فيها صور الأجزاء التي تثير ألوانها الاحساس الأحمر معتمة والتي ليست كذلك شفافه وبالمثل الصورة السالبة الخضراء والصورة السالبة الزرقاء تظهر في الاولى صور الأجزاء التي تثير ألوانها الاحساس الاخضر معتمة والتي ليست كذلك شفافه . وتظهر في الثانية صور الاجزاء التي تثير ألوانها الاحساس الازرق (أو نظرياً البنفسجي اذا ذهبنا الى أنه أحد الاحساسات الثلاثة الاساسية) معتمة والتي ليست كذلك شفافه . ثم تطبع من الصورة الاولى صورة على لوح من الزجاج مغطى سطحه بطبقة جيلاتينية جعلت حساسة بفعل ثاني رومات البوتاسيوم فأجزاء الجيلاتين التي يقع عليها الضوء تصير غير قابلة للذوبان في الماء والاجزاء التي يحجب عنها الضوء

تذوب في الماء ولذلك اذا غسلت الصورة يزول الجيلاتين عن المواضع المقابلة للمواضع المعتمدة في الصورة السالبة وهي صور الأجزاء ذات الألوان التي تثير الاحساس الاحمر فاذا صبغت الصورة المطبوعة بلون أزرق أخضر وهو اللون المتمم للاحمر انصبغ الجيلاتين الباقي على اللوح بهذا اللون وبقيت الأجزاء الأخرى من اللوح شفافة لالون لها . ثم تعاد العملية المذكورة بالنسبة الى الصورة السالبة الخضراء فالمواضع التي يبقى عليها الجيلاتين تكون صور الأجزاء ذات الالوان التي لا تثير الاحساس الأخضر وتصبغ باللون المتمم للاخضر وهو الارجواني الحاصل من مزج الأحمر والبنفسجي . أما المواضع التي يزول عنها الجيلاتين وتبقى شفافة غير مصبوعة فتكون صور الأجزاء التي تثير ألوانها الاحساس الأخضر . كذلك تعاد العملية بالنسبة الى الصورة الثالثة وهي السالبة الزرقاء فالمواضع التي يبقى عليها الجيلاتين تكون صور الأجزاء ذات الالوان التي لا تثير الاحساس الازرق (أو نظرياً البنفسجي) وتصبغ باللون المتمم للازرق وهو الاصفر في حين أن المواضع التي يزول عنها الجيلاتين وتبقى شفافة تكون صور الأجزاء التي تثير الاحساس الازرق فاذا وضعت هذه الصور المطبوعة المصبوغة الثلاث بعضها فوق الآخر بحيث تكون متطابقة ونظر اليها بالضمء النافذ أو ألقيت صورتها بوساطة فانوس سحري على ستار أبيض بحيث ينفذ الضوء الأبيض من المصدر خلال الصور الثلاث فان الصورة التي ترى تكون ملونة بألوان شبيهة بالالوان الطبيعية

١٢٢ - الطبع بالألوان

وقد طبقت طريقة التفريق السابقة في الطبع بالالوان وفي هذه الحالة تطبع الصور السالبة التي التقطت خلال المرشحات على ألواح من الخارصين أو النحاس مغطاة بطبقة جيلاتينية جعلت حساسة بفعل ثاني كرومات البوتاسيوم فتصير الأجزاء التي عرضت للضوء غير قابلة للتذوبان في الماء أما الأخرى فتذوب فاذا عولج سطح اللوح بالحامض المناسب تأكلت المواضع التي أذيب من فوقها الجيلاتين وبقيت الأجزاء المغطاة بالجيلاتين بارزة . فالأجزاء البارزة في اللوح المعدني الذي استعملت معه الصورة السالبة الملتقطة خلال المرشح الاحمر تمثل صور الأجزاء الملونة بالالوان التي لا تثير الاحساس الاحمر ولذلك تطبع بوساطة هذا اللوح باعتبار أنه خاتم معتاد (اكشيه)

صورة على صفحة من الورق الابيض بجبر لونه المتمم للاحمر . وكذلك يجهر خاتم من الصورة السالبة التى التقطت خلال المرشح الاخضر وتطبع بوساطته صورة بجبر لونه المتمم للاخضر بحيث تقع على الصورة الاولى وتنطبق عليها . وكذلك يجهر خاتم ثالث من الصورة السالبة التى التقطت خلال المرشح الثالث وتطبع بوساطته صورة بجبر لونه المتمم للازرق بحيث تقع على الصورتين الاخرين 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

إذا أذيب بعض كبريتات الكينا فى حامض الكبريتيك ووضع المحلول فى اناء من الزجاج شوهد أنه يكاد يكون كالماء لالون له لولا أن موضع وقوع الضوء على سطح المحلول يتلون بلون أزرق . وإذا 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 وإذا 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 . ويدل 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 نقي (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 الازرق وإذا تجاوزته بمقدار كبير بطل التلون وانه قبيل زواله

يكون التلون مقصوراً على طبقة رقيقة من المحلول في الجانب القريب من الطيف وهذا يدل على أن التلون الأزرق يحدث بفعل أشعة عند الطرف البنفسجي من الطيف أو بقربه وإن هذه الأشعة يمتصها المحلول ويشع بدلا عنها أشعة زرقاء واذن المحلول يمتص أشعة اكبر انحرافاً في 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) وهي تحدث في مواد كثيرة نسميها مواد « متلونة » أو « فلورية » ومنها محلول الكلور فيل في الكحول ويتلون بلون أحمر وزيت اليرافين ويتلون بلون أزرق والفلورسين ^(٣) ويتلون بلون أزرق يضرب الى الصفرة والخبر 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 في أن الأشعة المحدثه للتلون تكون اكبر انحرافاً في المنشور الزجاجي من التلون الحادث في المادة بفعلها وقد دلت البحوث الحديثة على أن قانون ستوكس هذا لا ينطبق في جميع الحالات فقد تكون الأشعة المحدثه للتلون أقل انحرافاً في المنشور من التلون الحادث بفعلها في بعض المواد

والتلون الأزرق الحادث في محلول كبريتات الكينا مثلاً ليس ضوءاً بسيطاً ذا لون واحد فهو اذا اختبر بوساطة سبكتروسكوب يتحلل الى ألوان عدة تنحصر بين الطرف الأحمر والجزء الأزرق من الطيف وتغلب فيها طبعاً نسبة الأزرق ولكنها تكون جميعاً أقل انحرافاً في المنشور من الضوء البنفسجي مثلاً الذي يحدثها

Fluorescence (١)

Fluorspar (٢)

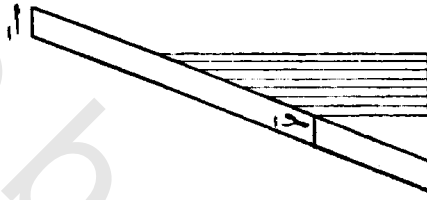
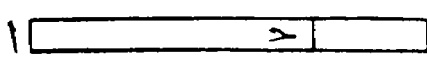
Fluorescine (٣)

Stokes العالم الانجليزى (٤)

واخترع « ستوكس » لبيان التلون طريقة عملية تتلخص في اعداد لوحين أو بوجه عام وسطين شفافين أحدهما ينفذ الضوء من الطرف البنفسجي من الطيف دون الاضواء الاخرى كلوح من الزجاج الكوبلتى مثلاً ومعه لوح رقيق من الزجاج الاخضر فاللوحان معاً يتكون منهما وسط ينفذ الازرق والنيلي والبنفسجي 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 مثلاً ووقع على جسم غير فلورى ونظر الى هذا الجسم خلال اللوح الاصفر فان الجسم لا يرى لان الاضواء الواقعة عليه والتي تنعكس عنه لا تنفذ خلال اللوح الاصفر ولكن اذا كان الجسم فلورياً فانه يمتص الضوء الواقع عليه ويحوّله الى ضوء أو أضواء أقل انحرافاً في 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 اب (شكل ٩٧) بحيث يقع في 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 اب فاذا لم يكن الجسم الواقع عليه الطيف اب فلورياً ظهر الطيف خلال المنشور الثانى منحرفاً وليكن ظهوره في الموضع ا ب كما هو مبين بالشكل مع ملاحظة أن ا ب ا يدلان على الطرف الاحمر ب ب ب يدلان على الطرف البنفسجي. وكذلك نظراً لان سطح السائل او الجسم الفلورى قد يعكس شيئاً من الضوء الواقع عليه فان الطيف ا ب يرى عادة. ولكن علاوة على هذا الطيف يرى ضوء آخر كالمبين في الشكل بالجزء المظلل فيه وهذا ينشأ عن التلون.

فاذا وضع حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة في 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



(شكل ٩٧)

ذا لون واحد واذن يمكن اختبار ما اذا كان التلون ب الحادث بفعل هذا الضوء أقل أو أكثر انحرافاً في المنشور . فاذا فرضنا أن الضوء الواقع على المادة هو الجزء المدلول عليه بالحرف ح من الطيف ا ب

فان هذا الجزء يرى خلال المنشور الثاني عند ح فاذا كانت المادة فلورية والضوء الفلورى الذى تشعه أقل انحرافاً في المنشور ظهر الضوء الفلورى ممتداً فوق ا ح (كما هو مبين بالشكل) أما اذا كان اكبر انحرافاً فانه يظهر ممتداً تحت ب ح

١٢٥ — الوميض — الظاهرة الفسفورية

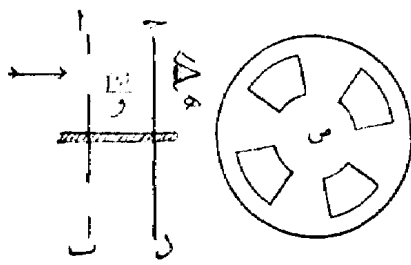
وتحدث في بعض المواد ظاهرة أخرى شبيهة بالتلون ولكنها تختلف عنه في أنها تدوم مدة بعد انقطاع الضوء الواقع على المادة في حين أن التلون يبطل بانقطاع الضوء . ويطلق على الظاهرة اسم « الوميض » وتسمى المادة التى تحدثها « مومضة » . والمواد المومضة اذا تعرضت لضوء الشمس أو ضوء مصباح شديد ثم حجب في الظلام رؤى أنها تشع ضوءاً يختلف لونه وشدة باختلاف نوع الجسم وحالته . ومن هذه المواد كبريتور الباريوم وكبريتور الكالسيوم المومض ويصنع منه نوع من الدهان يومض في الظلام والماس ولا سيما الماس الاصفر وبعض البلورات الأخرى كالفلورسبار وبلورة الاراجونيت^(١) وبعض مركبات الاسترانسيوم والباريوم والمغنيزيوم وقد دلت التجارب على أن الوميض المنبعث من المادة في الظلام هو بوجه عام أقل انحرافاً في المنشور من الضوء الذى يحدثه وان كان ذلك ليس صحيحاً على الإطلاق

وظاهرة الوميض تسمى عند الفرنجة « الظاهرة الفسفورية »^(٢) ولكنها لا علاقة لها بالضوء المتشع من الفسفور من جراء تأكسده البطيء فهذا ينقطع بانقطاع الأكسجين عن

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

١٢٦ - مقياس أجل الوميض - الفسفورسكوب

والمدة التي يدومها الوميض بعد انقطاع الضوء المؤثر عن المادة تسمى « أجل الوميض » وهي تختلف باختلاف المادة المومضة فقد تبلغ عدة ساعات في بعض الاجسام وقد تدوم بضع دقائق أو ثوان وقد لا تدوم الا برهة صغيرة لا تتجاوز كسراً صغيراً من الثانية . فاذا كان الاجل طويلاً أمكن قياسه بسهولة أما اذا كان كسراً صغيراً من الثانية فيستعمل لقياسه جهاز اخترعه « بكرل » ^(١) يعرف باسم « الفسفورسكوب » وهو يتركب من قرصين من المعدن مثل ا ب ٦ ح د (شكل ٩٨) مثبتين متوازيين ومحوراهما منطبقان بحيث يمكن ادارتهما معاً كجسم واحد حول هذا المحور . وبكل من القرصين فتحات كالفتحات الميئة بالقرص ص بالشكل



(شكل ٩٨)

والقرصان مثبتان بحيث لا تكون الفتحات فيهما متقابلة بل بحيث تكون الفتحة في أحدهما مقابلة لما بين الفتحتين في الآخر . ويوضع الجسم المراد اختبار وميضه بين القرصين على حامل عند و معد لذلك وتلم أشعة الضوء بواسطة عدسة بحيث تنفذ من احدى فتحات أحد

القرصين وتقع على الجسم فاذا أدير القرصان وجعلت العين 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 التي تمضي بين قطع الضوء عن الجسم وبين انكشاف الجسم للعين

فاذا فرضنا أن القرصين يعملان دورة واحدة في الثانية وكان بكل منهما فتحات عددها ٢ فالجسم يتعرض ٢ مرة للضوء في الثانية الواحدة فتكون البرهة الزمنية التي تمضي بين تعرضه للضوء

مرة وتعرضه مرة أخرى هي $\frac{1}{q}$ من الثانية واذن تكون المدة بين تعرض المادة للضوء وانكشافها للعين هي $\frac{1}{q}$ من الثانية فإذا دار القرصان c دورة في الثانية كانت هذه المدة الزمنية $\frac{1}{c \cdot q}$ من الثانية ، فإذا كانت هذه المدة أقل من أجل الوميض روى الجسم من جراء وميضه وإذا كانت أكبر امتنعت رؤيته . فإذا أدير القرصان أولاً ببطء ثم زيدت سرعة الدوران بالتدريج وقيست سرعة الدوران عند ما تبدى العين أن ترى الجسم أو أدير القرصان أولاً 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 في هذا الجهاز مطليان بدهان أسود وموضوعان داخل علبة اسطوانية الشكل مطلية من الداخل بدهان أسود وبها فتحتان احدهما لنفوذ الضوء الواقع على الجسم خلالها والآخرى للنظر الى هذا الجسم خلالها وبهذه الكيفية بوى الجسم من الضوء من جميع الجهات الا الضوء الواقع عليه من الفتحة

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

١٢٧ — تأثير تغير درجة الحرارة في الوميض

دلت التجارب على أن لتغير درجة الحرارة تأثيراً في الوميض فكثير من المواد المومضة اذا عرضت للضوء وحجبت في الظلام ثم رفعت درجة حرارتها اشتد وميضها وقصر أجله . وتجارب « ديوار » ^(١) دلت على أن كثيراً من الاجسام المومضة اذا تعرضت لضوء شديد وهي في 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

لها ومبيض في الدرجات المعتادة ولكنها اذا بردت الى درجة - ١٠٨ مئوية أومضت بشدة

١٢٨ - اشعاع ما فوق البنفسجي

من المعلوم أن التصوير الفتوغرافي أساسه أن للضوء تأثيراً كيميائياً في بعض المواد . وقد كشف « شيل »^(١) سنة ١٧٧٧ التأثير الكيميائي للضوء بتجارب بينت أن للضوء تأثيراً كيميائياً في بعض مركبات الفضة وبينت أن التأثير الكيميائي للأشعة يزداد كلما زاد انحرافها في المنشور الزجاجي فهو للأشعة البنفسجية من الطيف أشد كثيراً منه للأشعة الحمراء . ولكن دلت التجارب على أنه اذا اختبر التأثير الكيميائي لطيف ضوء أبيض كضوء الشمس مثلاً شوهد أن هذا التأثير لا ينقطع عند الطرف البنفسجي من الطيف بل يتجاوز الى ما بعده وقد كشف ذلك « رتر »^(٢) سنة ١٨٠١ بتجارب على تأثير أشعة الطيف المختلفة في كلورور الفضة اذ دلت تجاربه على أن تحلل كلورور الفضة يحدث أيضاً في المنطقة المظلمة المجاورة للطرف البنفسجي والتي لا ترى بالعين والأشعة التي تلي الطرف البنفسجي من الطيف والتي لا ترى بالعين ولكن يستدل عليها بتأثيرها الكيميائي في بعض المركبات سميت عند أول الكشف عنها « بالأشعة الكيميائية » أو « الاكتينية »^(٣) وتعرف الآن بأشعة « ما فوق البنفسجي » أو « ما بعده »^(٤)

ويستدل أيضاً بظاهرة التلون على وجود هذه الأشعة . فطبقاً لقانون « ستوكس » يحدث التلون حيث تكون الأشعة المحدثه له أكثر انحرافاً من الأشعة التي تشعها المادة المتلونة . فاذا أتى بانوبة اختبار رقيقة بها محلول كبريتات الكينا في حامض الكبريتيك ووضعت في الطرف البنفسجي من طيف حقيقي نقي فانها كما ذكرنا فيما قبل تتلون بلون أزرق واذا نقلت بالتدريج حتى تتجاوز قليلاً الطرف البنفسجي الى المنطقة المظلمة فانها تظل متلونة باللون الأزرق المذكور ويكون تلونها هذا ناشئاً عن أشعة ما فوق البنفسجي الواقعة عليها

وأسهل طريقة لبيان أشعة ما فوق البنفسجي أن يهياً منشور وعدسة وفتحة للحصول على

طيف حقيقى نقي لضوء الشمس بحيث يتكون على حاجز أبيض من الورق المقوى مثلاً ويحدد على الحاجز موضع الطرف البنفسجى ثم يؤتى بلوح مغطى سطحه بطبقة من سيانور الباريوم والبلاطين وهى مادة فلورية ويمسك ملاصقاً للحاجز بحيث يقع على سطحه شطر من الطيف يشمل الألوان 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 شفافيتها لأشعة ما فوق البنفسجى فالزجاج مثلاً أقل انفاذاً أو شفافاً لأشعة ما فوق البنفسجى من الكوارتز فالاول لا ينفذ أشعة ما فوق البنفسجى الصادرة من لمب 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 أن التلون الحادث بفعل الاشعة الصادرة من شرارة كهربائية أو قوس فولتى يمتد فيما بعد البنفسجى الى مدى أطول مما يمتد اليه التلون الحادث بفعل أشعة الشمس دالاً ذلك على أن هذه المصادر الضوئية تصدر من أشعة ما فوق البنفسجى ما هو أكثر 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 كاهية 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 في وضع ترمومتر حساس في 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 في الطيف قبل الاحمر لا تأثير له في العين ولكن له تأثيراً حرارياً يستدل به عليه

وقد أعاد « دافى »^(٢) تجربة « هرشل » في الفراغ فأثبت أن ارتفاع درجة الحرارة عند ما يوضع الترمومتر في 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 اختلافًا فى الطول الموجى . ويعزز هذا ما نوردته 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 بمنفتحين من الزجاج مكسو أحدهما بالسناج وبشعبتى الأنبوبة سائل ملون يعلوه هواء . فاذا عرض المنتفخ المكسو بالسناج الى الاشعاع الحرارى وحجب الآخر منه امتص

Infra Red Radiation (٢)

Davy (٢)

F. W. Herschel (١)

Differential Air Thermoscope (٥)

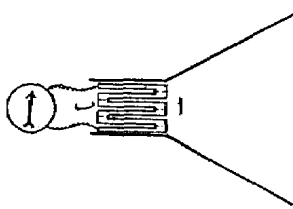
Leslie (٤)

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

وقد يستبدل بالترمسكوب الفرقى المذكور ترمسكوب أثيرى^(١) ويتركب هو أيضاً من أنبوبة ذات شعبتين منتهيتين بمنتهخين من الزجاج ولكن احدهما قصيرة والاخرى طويلة والجهاز مفرغ من الهواء وبه مقدار من الاثير الملون ويكون المنتفخ المتصل بالشعبة القصيرة عادة مكسواً بطبقة من السناج فاذا تعرض للاشعاع الحرارى تمدد ما فيه من بخار الاثير وأخذ سطح السائل يعاوى الشعبة الاخرى

وقد استخدم « مللوني »^(٢) في البحوث التي أجراها في الاشعاع الحرارى جهازاً يسمى « الترموبيل »^(٣)

ويتوقف عمله على الظاهرة المعروفة في علم الكهرباء باسم « الكهربية الحرارية »^(٤) وهى تتلخص فى أنه اذا أخذ سلكان مثلاً من معدنين مختلفين كالنحاس والحديد وجعل طرفاً أحدهما متصلين بطرفى الآخر بحيث تتكون منهما حلقة أو دائرة كهربائية تامة ثم سخن أحد ملتقى المعدنين وترك الآخر فى درجة الجو أو برد سار فى الدائرة تيار كهربائى يتوقف اتجاهه على متوسط درجة الحرارة بين الملتقين وتتوقف شدته على الفرق بينهما اذا كان الفرق صغيراً



(شكل ٩٩)

والترمو بيل المبني عمله على هذه الظاهرة يتركب كما بشكل (٩٩) من قضبان من البزموت والانتيمون معزول بعضها عن الآخر ولكن يتصل طرف القضيب البزموتى منها بطرف القضيب الانتيمونى وملتقيات هذه القضبان مكسوة بطبقة من السناج . فاذا وصل الطرفان الخالصان

للقضيبين الاخيرين بجلفانومتر حساس (واستخدم مللوني فى تجاربه جلفانومتراً ذا ابرة استاتيكية) وعرضت مثلاً الملتقيات المدلول عليها بالحرف ا فى الشكل للاشعاع الحرارى وحجبت الاخرى

ب عنه ارتفعت درجة حرارة الاولى فيمرعندها تيار كهربائى من البزموت الى الانتمون ويتضاعف في 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 في اطراف أذرع بحيث تكون قابلة للدوران حول محور في اناء مخلخل هواؤه كثيراً وهذه الصفائح مكسو أحد وجهى الواحدة منها بطبقة من السناج ومهيئة بحيث تكون الأوجه السوداء متجهة في اتجاه دائرى واحد . فاذا وضع الجهاز في 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 في أنه نظراً لارتفاع درجة حرارة السطح الاسود بالنسبة الى الآخر من جراء كونه أشد امتصاصاً للاشعاع فان جزيئات الغاز الموجود في الاناء عند سقوطها على السطحين ترتد عن السطح الأعلى درجة وهو الاسود بسرعة أكبر فيندفع هذا الى الخلف



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

١٣١ - تشابه الاشعاع الحرارى والاشعاع الضوئى

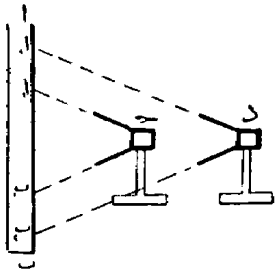
(أولاً) الانتشار في خطوط مستقيمة
ينتشر الاشعاع الحرارى كما ينتشر الضوء في خطوط مستقيمة ويمكن بيان ذلك بتجربة بسيطة . فاذا هيء مصدر اشعاع حرارى (كمصباح كهربائى مثلاً أو كرة معتمة سوداء من المعدن

مسخنة الى درجة التوهج) وبضع صفائح من القصدير بكل واحدة ثقب و ترمويل بحيث تحول الصفائح بين مصدر الاشعاع والترمويل فانها تحجب الاشعاع عن الترمويل فلا يتأثر الا اذا كانت ثقبها جميعاً منطبقة على المستقيم الواصل بين الترمويل ومصدر الاشعاع

(ثانياً) قانون التريع 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 ويملاً الاناء بالماء الحار ثم يوضع امام السطح ا ب ترمويل مجرز بدرع مخروطى كالمبين بالشكل فيشاهد أن انحراف الجلفانومتر المتصل بالترمويل لا يتوقف على بعده عن السطح ما دام امتداد الدرع يقع على السطح الاسود المشع

ففى الوضع > تكون المساحة ا ب_١ من السطح الاسود المشع هى المعرضة للترمويل واذن تكون كمية الاشعاع الواقعة عليه متناسبة وهذه المساحة وكذلك تكون كمية الاشعاع الواقعة عليه عند د متناسبة والمساحة ا ب_٢ وبما أن ثبوت انحراف الجلفانومتر يدل على أن المقدار واحد فى الحالتين وبما أن المساحات متناسب ومربع الابعاد



يتضح أن ما يقع على مساحة معينة من سطح الترمويل صادراً من مساحة معينة من السطح المشع يتناسب وعكس مربع البعد بينهما

(ثالثاً) الانعكاس والانكسار

والاشعاع الحرارى ينعكس وينكسر كما ينعكس وينكسر الضوء (شكل ١٠١)

فاذا وضع سطح مقعر عاكس أو عدسة لامة فى مسير أشعة الشمس فانه فضلاً عن تجمع الأشعة الضوئية فإن الاشعاع الحرارى أيضاً يتجمع حتى يمكن بوساطته احراق قطعة من الورق أو اشعال لفيفة من الطباقي كما هو معروف

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

العاكسان متقابلين ومحوراهما منطبقين وعند a بؤرة أحدهما مصدر اشعاع حرارى (كمصباح كهربائى احمر مثلاً) وعند b 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 c فى الجانب الآخر من الحاجز رديومتر آخر فان
هذا الوقوعه فى ظل الحاجز لا يتأثر فى حين أن الاول
الموضوع عند b 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 ترموبيل مثلاً يجعله يتأثر. وإن كان تأثير الترموبيل يقل كلما قربنا من الطرف البنفسجي فهذا يدل على أن طاقة هذه الاضواء تقل كلما قصر طولها الموجي ولا ينفى اثبات تحول الاشعة البنفسجية مثلاً الى طاقة حرارية اذا كانت هناك أجهزة بلغت من الحس درجة تكفي لبيان ذلك

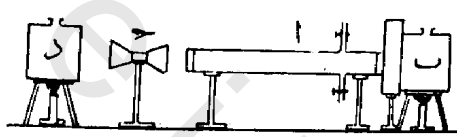
١٣٢ — انفاذ الاجسام للاشعاع الحرارى

تختلف الاجسام بعضها عن الآخر من حيث انفاذها للاشعاع الحرارى كما تختلف الاجسام بعضها عن الآخر من حيث شفيفتها للضوء والاجسام التى تنفذ الاشعاع الحرارى خلالها كما ينفذ الزجاج مثلاً الضوء خلاله تسمى أجساماً منفذة للاشعاع الحرارى^(١)

وكان « مللوني » 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 ترموبيل فاذا وضع لوح من المادة المراد اختبارها بين الفتحة والترموبيل 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 « مللوني » 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

وبحث « تندال » ^(١) في انفاذ الغازات والأبخرة واتخذ في تجاربه أنبوبة طويلة (شكل ١٠٣) طولها أربعة أقدام وقطرها بوصتان أو ثلاث مسدود طرفها بلوحين من الملح الصخري جعل بالقرب من أحد طرفيها أناء ب من القصدير على شكل مكعب وبه ماء يغلي بحيث يكون أحد جوانبه الرأسية مصدراً للإشعاع الحرارى . وأحاط المكان بين هذا المصدر وبين طرف الأنبوبة بحيث يمكن تفرغ الهواء منه فيقع الإشعاع من سطح المكعب خلال الفراغ على طرف الأنبوبة وجعل بالقرب من الطرف الآخر للأنبوبة أ ترمويل - يتجه أحد وجهيه نحو



(شكل ١٠٣)

طرف الأنبوبة ويتجه وجهه الآخر نحو سطح مكعب آخر د به ماء يغلي . وطريقته أن يفرغ

الأنبوبة أ من الهواء ويحعل البعدين - ٦ د

بحيث يصير الترمويل في حالة تعادل أى يكون الإشعاع الواقع عليه واحداً من جانبيه فإذا ملئت الأنبوبة أ بعد ذلك بالغاز المراد اختباره وكان الغاز تام الانفاذ فإن الترمويل يبقى في حالة التعادل أما إذا امتص الغاز بعض الإشعاع النافذ فيه اختل تعادله

وقد دلت تجاربه على أن الهواء والأكسجين والأزوت والاييدروجين تكاد لا تمتص شيئاً ولكن أول أكسيد الكربون والاييدروجين المكبرت والنوشار أى الغازات المركبة تمتص جانباً كبيراً ودلت تجاربه على أن الأبخرة قليلة الانفاذ وتشبه بوجه عام سوائها وموضوع انفاذ الاجسام للإشعاع الحرارى ذو خطورة فيما يتعلق بالبحوث الخاصة بإشعاع ما دون الاحمر حيث تتطلب هذه البحوث أن تكون المواد التى يحترقها الإشعاع منفذة له