بصريات المعادن
Optical mineralogy

توجد المواد الصلبة اما في حالة متبلورة او غير متبلورة . وتكون الذرات في النوع الأول مرتبة في هيئة بناء هندسي منتظم مكونه بلورات . اما في النوع الثاني فتكون الذرات مبعثرة بغير نظام . ويمثل النوع الاول حالة الاستقرار , بينما المواد الغير متبلورة تميل الي التبلور بمضي الزمن إذا اتيحت لها الظروف المناسبة . المواد المتبلورة اما تكون طبيعية مثل المعادن , او صناعية بلورات المواد العضوية والمواد الغير عضوية .

ويحد البلورات أوجه تسمي الأوجه البلورية- وهي تعبير تاريخي للبناء الذري الداخلي النتظم . ولكن كثيراً ما تفتقر البلورات الي الأوجه الخارجية – نتيجة لعدم النمو الكامل او لتأكل هذه الاوجه – وتبدو علي هيئة حبيبات عديمة الأوجه (مثل حبات الرمل) . وفي هذه الحالة يمكن التعرف علي هذه المواد المتبلورة بدراسة صفاتها الضوئية وطريقة مرور الضوء فيها. فالضوء عند نفاذه في مادة متبلورة فانه يتغير ويتكيف طبقا للبناء الذري لهذه المواد.

وعلم البصريات Optics هو العلم الذي يختص بدراسة الضوء . اما دراسة طريقة مرور الضوء في المواد المتبلورة فتعرف باسم "بصريات البلورات" Optical Crystallography . فاذا كانت هذه المواد المتبلورة مركبات غير عضوية طبيعية (أي معادن) فتعرف مثل هذه الدراسة باسم "بصريات المعادن" Optical mineralogy.

ويستخدم الميكروسكوب المتقطب في هذه الدراسات بفحص قطاعات رقيقة تحضر من هذه المواد باستخدام الضوء الأبيض white light – الضوء العادى متعدد الأمواج – و الضوء احادي اللون monochromatic light هو يتكون من موجه واحدة من موجات الطيف السبع

في حالة ما اذا كانت هذه المواد الصلبة غير منفذة للضوء – أي متعمة – ومن بينها المعادن المعتمة فيتبع في فحصها بصريا نوع اخر من الدراسة وهو دارسة انعكاس الضوء من سطوحها التي يتم صقلها صقلاً جيداً. ولما كانت هذه المعادن المعتمة هي في معظم الاحيان معادن مكونة للخدمات الاقتصادية لذلك تعرف دراستها بصريا باسم ميكروسكوبية الخامات Ore Microscopy .

الميكروسكوب المستقطب

يعرف الميكروسكوب المستقطب بالميكروسكوب البتروجرافى، ويستخدم فى دراسة الصفات البصرية للمواد المتبلورة وهو يختلف عن الميكروسكوب العادى فى احتوائه على جزئينا ضافيين يعرفان باسم المستقطبين أو منشورى نيكول (المستقطب والمحلل) . جميع الميكرسكوبات المستقطبة مصممة لدراسة العينات المعدنية بواسطة الضوء النافذ وتشترك فى نفس المكونات الاساسية لمسار الضوء, بالاضافة الى ان الغالبية العظمى من الميكرسكوبات لها نفس المكونات الهيكلية . ويتكون الميكروسكوب المستقطب من قاعدة من المعدن مثبت عليها حامل من المعدن. يتكون الميكروسكوب من أربع مكونات أساسية هى :

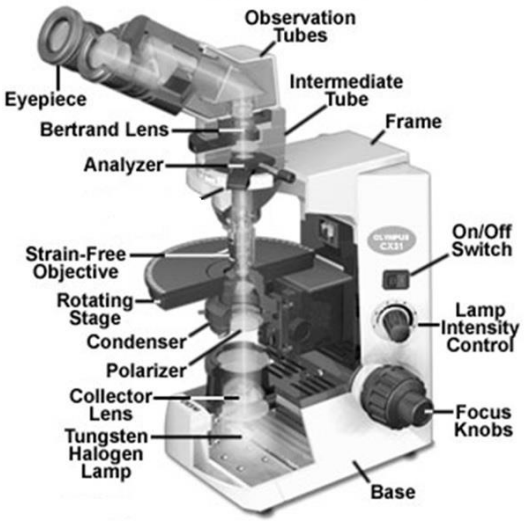
المستوى الأول : ويشتمل على مصدر للضوء والمستقطب وهما ثابتين .

المستوى الثانى : ويشمل العدسة المجمعة والمسرح الدوار . فالعدسة المجمعة تعمل على تجميع الضوء وتركيزه على العينة وقد تحتوى على حاجب للضوء ومشرحات للضوء. اما المسرح فهو مثبت اسفل العدسة الشيئة ويوجد فى منتصف المسرح فتحة يمر خلالها الضوء لكى يسقط على العينة. غالبا ما يحتوى المسرح على ماسكين لتثبيت القطاع وايضا مثبت به ورنية تسخدم فى القياسات الزاوية لحركة المسرح . ويكون المسرح غالبا قابل للحركة الى اعلى واسفل

المستوى الثالث : ويشمل العدسة الشيئية وهى موجودة اعلى المسرح وفى الغالب ما يحتوى الميكروسكوب على عدد من العدسات الشيئة (ثلاثة) مثبتة على مسرح دوار مثبت فى انبوبة الميكرسكوب وقوى تكبيرها تتراوح من 5x to 100x

المستوى الرابع : ويشمل فتحة الشرائح الاضافية والمحلل وعدسة برتراند . المحلل وعدسة برتراند ليس ثابتين فى مسار الضوء بل يمكن ادخلهما او ابعادهما من مسار الضوء وفقا للحاجة لذلك.

المستوى الخامس : ويشمل العدسة العينية وبها شعرتان متعامدتان (او اثنين من العدسات Binocular microscope) . وتكون العدسة العينية قابلة للنزع وتغيرها واستبدالها وقوة التكبير قد تكون 2x ,5x 10x



يوضح الجدول التالى الاختلاف بين الميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب العادى

المقرنة بين الميكروسكوبين	الميكروسكوب المستقطب	الميكروسكوب العادى
عدسة عينية	اساسية	اساسية
شعرتان متقطعتان فى العينية	اساسية	غير اساسية
المحلل	اساسي	لا يوجد

عدسة شيئة	اساسية	اساسية
فتحة الشرائح الاضافية	اساسية	لا توجد
مسرح دوار	اساسي	لا يوجد
عدسة مجمعة	اساسية	غيراساسي
المستقطب	اساسي	لا يوجد
حاجب الضوء	اساسي	غير اساسى
مرشح الضوء	غير اساسى	غير اساسى
المصدر الضوئى	اساسى	اساسى

كيفية عمل الميكروسكوب المستقطب :

عند مرور الضوء الأبيض من خلال المستقطب، فانه يحدث له نوع من الاستقطاب، أى يتذبذب فى مستوى واحد فقط (شرق-غرب)، وعلى الجانب الاخر فان المحلل يعمل على استقطاب الضوء المار من خلاله فى اتجاه عمودى على اتجاه الاستقطاب (أى يسمح بمرور الضوء فى اتجاه شمال- جنوب)، والمستقطب مثبت دائما فى مسار الضوء، أما المحلل فانه يتحرك فى أنبوبة الميكروسكوب بحيث يمكن ادخاله أو اخراجه من مسار الضوء حسب نوع الاختبار الميكروسكوبى المطلوب اجراؤه على المعدن، وعندما يسقط هذا الضوء على السطح السفلى لشريحة المعدن فانه ينكسر انكسارا مزدوجا ويتحول الى مركبتين تتذبذبان فى مستويان متعامدان على بعضهما البعض وعند خروجهما من المعدن فان الضوء يتحول الى موجتين غير متساويتين فى السرعة، تسمى احدهما موجة عادية والأخرى موجة غير عادية وعند مرورهما بالمحلل تتحلل كل موجة الى مركبتين وبذلك نحصل على أربعة موجات اثنتين منهما تتذبذبان فى اتجاه المستقطب (عمودى على المحلل) وتنعكسان انعكاسا كليا، والاثنتان الأخرتان تتذبذبان فى اتجاه المحلل (شمال- جنوب) ويخرجان منه حيث يحدث نوع من التداخل بين الموجتين الخارجتين من المحلل لينتج عنهما موجة محصلة لها طول موجى واتساع مختلف، وتتوقف نتيجة تداخلهما على فرق المسار بينهما فى المقطع .

طبيعة الضوء
Nature of light

الضوء هو احد الطاقة الإشعاعية وهو يكون الجزء المرئي من ذلك الطيف الذى يمتد من أشعة جاما ذات التردد العالي عند احد طرفية , إلي موجات الراديو ذات التردد المنخفض عند الطرف الأخر . إما بالنسبة للضوء المرئي فانه ينحصر بين الأشعة فوق البنفسجية (غير مرئية) ذات التردد العالي حيث ينتهي الضوء البنفسجي , وبين الأشعة دون الحمراء (غير مرئية) ذات التردد المنخفض حيث ينتهي الضوء الأحمر . ولقد وضعت عدة نظريات لتفسير طبيعة الضوء نوجزها فيما يلي :-

1- نظرية الجسيمات :Corpuscular theory

وتنص هذه النظرية التي وضعها العالم نيوتن إن شعاع الضوء يتكون من جسيمات دقيقة تسمي Corpuscles أ و الدقائق الضوئية تنطلق بسرعة عالية من الشمس أو من اى مصدر ضوئي وتسير في خطوط مستقيمة . ويمكنها إن تخترق بعض المواد أو ترتد من أسطحها . وأمكن بواسطة هذه النظرية تفسير ظواهر انعكاس الضوء وانكساره . اما ظواهر تدخل وحيود واستقطاب الضوء فلم يمكن ممكنا تفسيرها بواسطة هذه لنظرية.

2- النظرية الموجية Wave theory

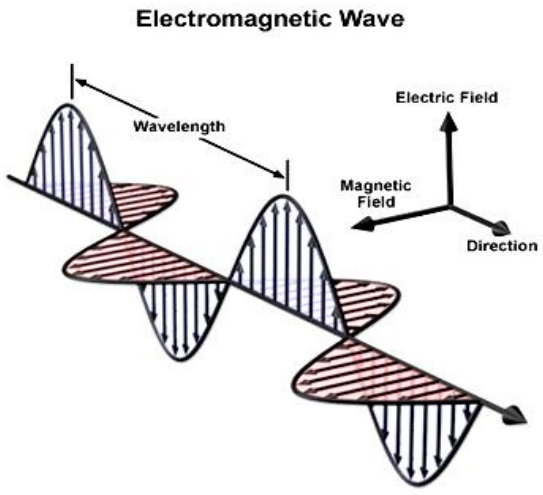
وتفترض هذه الظرية التي وضعها العالم الهوندى كريستيان هيجز إن الضوء ينتشر في هيئة موجات من الجسم المضيء . ويتخلف لون الضوء تبعا لأطوال هذه الموجات . وهذه الموجات أيضا تنفذ خلال بعض المواد أو ترد من أسطحها . ولقد أمكن بهذه النظرية تفسير معظم الظواهر الضوئية مثل الانكسار والانعكاس والحيود والتداخل.

3- النظرية الكهرومغناطيسية Electromagnetic theory

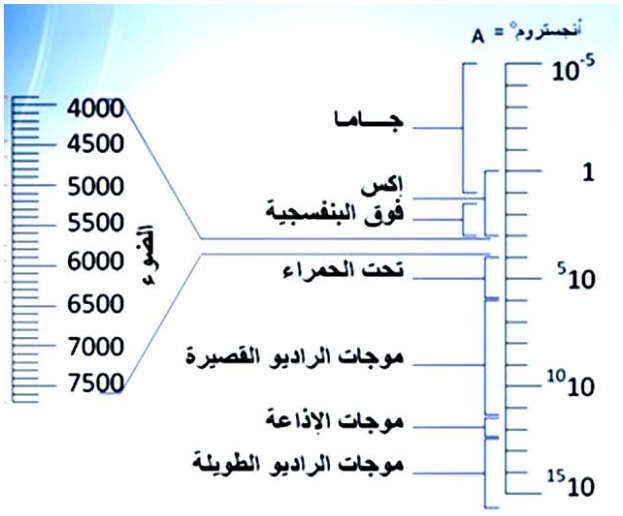
وتعتبر هذه النظرية التي قدمها جيمس ماكسويل إن الضوء يتكون من موجات كهربية مغناطيسية حيث تتألف من مجالين – كهربى ومغناطيسي– متعامدين علي بعضهما وكذلك علي اتجاه انتشار الضوء (شكل1) . وقد افترض ماكسويل إن الضوء ينتقل علي هيئة أمواج. وهذه لأمواج تكون جزاء من طيف كبير يمتد من موجات الأشعة السينية القصيرة الي موجات الراديو الطويلة (شكل 2) . ويمكن وصف المجال الكهربي باسم المجال الضوئي Light vector

4- نظرية الكم Quantum theory

وتفترض هذه لنظرية التي وضعها بلانك أن الضوء ينتشر في صورة جسميات متقطعة او في هيئة حزم من الطاقة تسمى كوانتا Quanta او فوتونات Photons.



شكل (1) رسم توضيحى لموجة كهرومغناطيسية بسيطة



شكل (2) يوضح طيف الموجات الكهرومغناطيسية

ورغم هذا التطور العلمي في تفسير طبيعة الضوء فاننا مازلنا نفضل النظرية الموجية في تفسير خاصية الانعكاس والانكسار والتدخل والحيود والاستقطاب , وهو ما يهمنا معرفته في دراستنا لبصريات البلورات. اما نظرية الجيسمات او الكم فانها تجد تطبيقا سهلا في مجال الأشعة السينية والإشعاع والتأثير الكهروضوئي .

وفي دراستنا لبصريات المعادن , سوف ننظر الي الضوء علي انه حركة كوجيه مستمرة , وسنبئ جميع مناقشاتنا علي هذا الأساس .

وتنتقل الموجات لكهرومغناطيسية بسرعة كبيرة الي في الفراغ تساوى 300000 كيلومتر في الثانية الواحدة . ويؤثر وجود الهواء تأثيرا ضئيلا علي سرعة لذلك فان نفس الرقم السابق يمكن ان يستخدم للتعبير عن سرعة الضوء في الفراغ وفي الهواء علي السواء.

الطيف المرئي The visible spectrum

يشغل الضوء الأبيض (الطيف المرئي) منطقة صغيرة في طيف الموجات (شكل 2) وينحصر مابين الضوء الاحمر والضوء البنفسجي . وتقاس اطوال موجات الضوء المرئي بوحدات الميلليميكرون (mu) وهي تساوى 10 انجستروم (A) = 10^{-3} ميكرون (u) = 10^{-6} ميلليمتر = 10^{-7} سنتيمتر .

ويتألف الضوء المرئي من سلسلة من الموجات تتدرج من 390 مللي ميكرون (اللون البنفسجي) حتي 770 ميللي ميكرون (الضوء الأحمر) . وتختلف ألوان الطيف السبعة المكونة للطيف المرئي في طول موجاتها ويعرف الضوء الذي له طول موجه معين باسم ضوء أحادى اللون Monochromatic light ويبين الجداول التالي ألوان الطيف المرئي ومتوسطات أطوال موجاها

اللون	مدى طول الموجه (ميلي ميكرون)	متوسط طول الموجة
الأحمر	750 - 650	700
البرتقالي	650 - 590	620
الأصفر	590 -570	580
الاخضر	570 - 500	535
الازرق	500 - 460	480
النيلى	460 - 430	445
البنفسجى	430 - 390	410

مصطلحات في النظرية الموجبة
Nomenclature the wave theory

الموجة الضوئية Light wave

هي عبارة عن الطاقة المنبعثة من مصدر في هيئة نقطة في لحظة معينة ومنتشرة بطول الشعاع . أو بعبارة أخرى هي تغيرات دورية في المجالين الكهربي والمغنطيسي ملازمة لانتشار الضوء

الشعاع Ray : هو الخط اوالاتجاه الذي تنتشر فيه الطاقة الموجية

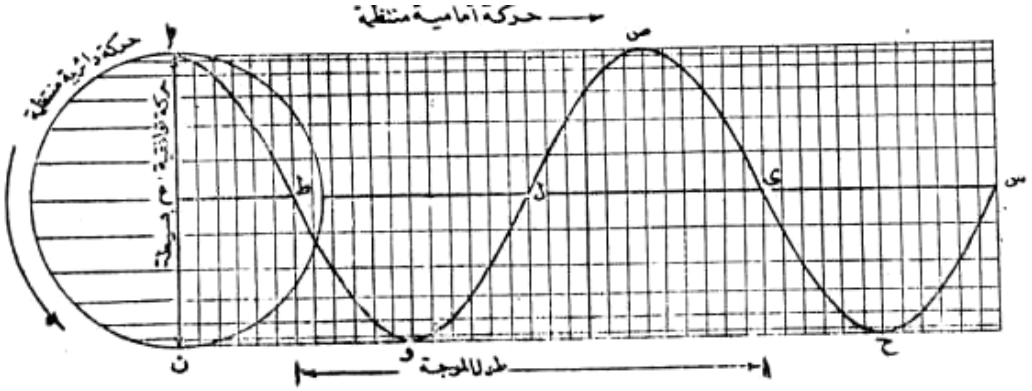
الشعاع الضوئي Light ray : هو الطريق الذى يسلكه الضوء في انتقاله من نقطة إلي أخرى في وسط ما. وفي هذا المعني نجد إن كلمة شعاع لا تعني الطاقة الضوئية التي تنتقل في المسار ولكنها تعنى الطريق او المسار الذى تسلكه الطاقة الضوئية

الحزمة الضوئية (أو البصيص) Beam : هى حزمة أو مجموعة من الموجات الضوئية المتوازية والمنتشرة في نفس الاتجاه وبنفس السرعة

اتجاه الذبذبة Vibration direction : تتذبذب الموجة في الأوساط الايزوتروبية في اتجاه متعامد علي مسار انتقال الضوء (الشعاع) . إما في الأوساط الغير ايزوتروبية فيكون اتجاه ذبذبة الموجات غير متعامد علي الشعاع إلا في بعض الحالات

الحركة الموجية Wave motion : تتألف الحركة الموجية من حركة أمامية منتظمة Forward uniform motion مع حركة توافقية Simple harmonic motion . والحركة التوافقية البسيطة عبارة عن حركة منتظمة في مسار دائري تظهر كما لو كانت مسقطة علي قطر دائرة. وفي مستوى الدائرة تظهر النقطة المتحركة كما لو كانت تتحرك ذهابا وإيابا في خط مستقيم هو قطر الدائرة. وتظهر كما لو كانت تتحرك بسرعة غير منتظمة تبلغ أقصاها عند منتصف هذا الخط وأدناها عند نهايته –اى عند نقطتي الارتداد.

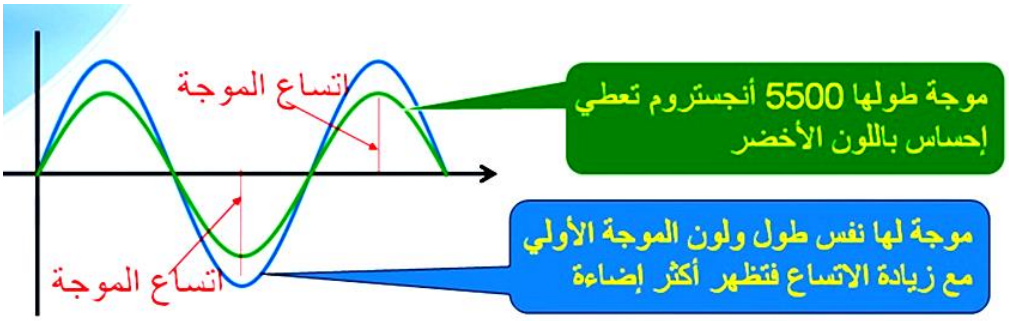
وتسمي الحركة ذات السرعة الغير منتظمة ظاهريا باسم الحركة التوافقية البسيطة أو الذبذبات الدورية .فإذا جمعنا هذه الحركة التوافقية البسطية مع حركة امامية منتظمة ينتج ما يسمي باسم المنحني التوافقي Harmonic curve (شكل4) . وهو عبارة عن محصلة الحركتين ويمثل الحركة الموجية. وفي شكل(4) تبدأ الحركة التوافقية البسيطة عند النقطة **ع** , وتهتز لتصل إلي النقطة أ , ثم ترجع الي **ن** وهكذا . هذه الاهتزازة إذا جمعت مع حركة من النقطة **ع** في اتجاه **ع ل س** تنتج حركة في الاتجاه **أ ط ول ص ى ح س** هي الموجة الناتجة .



الحركة الموجية البسيطة

شكل(4) يوضح الحركة الموجية البسيطة

اتساع الذبذبة Amplitude : ويكون مساويا لنصف قطر الدائرة أي اقصي اتساع للموجه من خط الانتشار . هو المسافة بين خط الوسط (مسار الضوء) وقمة الموجة أو قاعها. وفي الشكل (4) يساوى المسافة **ع أ** او المسافة **ع ن** . اتساع الموجة هو الذى يحدد شدة الضوء أو مقدار الطاقة المنقولة بواسطة الموجة. العلاقة بين شدة الضوء واتساع الموجة هى علاقة طردية. قد تتساوى موجتان فى الطول وتختلفان فى الاتساع (الشكل 5) .



شكل (5)

مستوى الذبذبة : هو السطح الذى تتذبذب فيه موجة الضوء

اتجاه الذبذبة : هو الاتجاه الذى يعبر عن حركة الموجة فى مستوى الذبذبة من القمة الى القاع وبالعكس

الزمن الدوري Period : هو الزمن الذي تستغرقه الموجه لاتمام ذبذبة كاملة .

التردد Frequency : هو عدد ذبذبات او اهتزازات الموجة في الثانية الواحدة

قمة الموجة Crest : هي نقطة علي الموجة يوضح اكبر ازاحة علوية ممكنه من خط الانتشار

قاع الموجة Trough: هي نقطة علي الموجة يوضح اكبر ازاحة سفلية ممكنه من خط الانتشار

طول الموجة Wave Length : هو المسافة بين أي نقطتين متشابهين متتابعتين علي الحركة الموجية . ويرمز لطول الموجه بالحرف اليوناني λ (لامدا) . وتتناسب شدة الضوء Intensity of light (I) تناسبا طريا مع مربع اتساع الذبذبة (A) (ذبذبة لموجة) .

طور الموجة Phase of Wave : هو الموقع النسبي لنقطتين متناظرتين علي موجتين مختلفتين تتحركان في نفس المسار . وطور نقطة ما هو موقع هذه النقطة علي الموجة في لحظة ما بالنسبة للحظة

الابتداء . ويقاس طور الموجات إما بالدرجات (degrees) أو بالقياس الدائرى (radians) , كما يمكن التعبير عن طور هذه النقطة ككسر من الزمن الدوري , وتساوى الدورة الكاملة 360 ^{0} بالدرجات أو 2Π بالقياس الدائرى.

عندما تنطلق الموجة الضوئية بصفة منتظمة متكررة فانه يطلق علي النقاط التي تحتل مواضع متناظرة في المكان والزمان بأنها من نفس الطور(of the same phase) فمثلا توصف موجتين توافقيتين بسيطتين بانها من نفس الطور(أو في نفس الطور) إذا كانت قمم وقيعان هاتين الموجتين تشغل نفس الأماكن أو آماكن متناظرة بعد لحظة من الزمن . او العبارة أخرى تكون الموجتين في نفس الطور إذا كان لنقطتين علي هاتين الموجتين نفس الوضع بالنسبة لخط الانتشار وتتحركان في نفس الاتجاه . ويقال إن الموجتين في طور مضاد (opposite phase) إذا كان لهما نفس الوضع بالنسبة لخط الانتشار ولكنهما تتحركان في اتجاهين متضادين . اى عندما تكون نقطة ما علي أحداهما عند القمة تكون النقطة المناظرة لها في الموجة الأخر عند القاع في نفس اللحظة

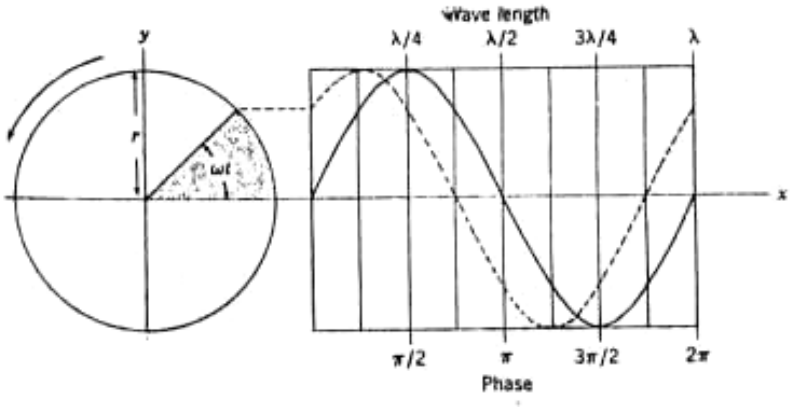
فرق الطور Phase difference : وهي كمية لا بعد لها وتحدد موقع نقطة في حركة موجية بالنسبة لنقطة أخرى. ويمكن التعبير عن فرق الطور بالدرجات (45^0 مثلا) أو ككسر من الزمن الدورى (45\360 =1\8 الزمن الدورى مثلا) أو بالمقياس الدائري (اى 45\360 × 2Π = Π \4 مثلا).

فرق المسار Path difference : فرق المسار بين موجتين متحركتين في نفس الاتجاه ويسلكان نفس الطريق هو عبارة عن المسافة في اتجاه التحرك بين النقط المتشابه علي كل من الموجتين ,كما في شكل 6 ولهذا الفرق بعد طولي dimension of length

ويمكن التعبير عن فوق المسار بالمعادلة التالية:

$$\text{فرق المسار} = \lambda \times \frac{\text{(فرق الطور بالحساب الدائري)}}{2\Pi}$$

نلاحظ في شكل (6) إن فرق الطور يساوى Π \4 وبالتعويض في المعادلة السابقة نجد إن فرق المسار بين الموجتين يساوى 1\8 λ (ثمن طول الموجة) ويعبر فرق المسار عن فرق الطور



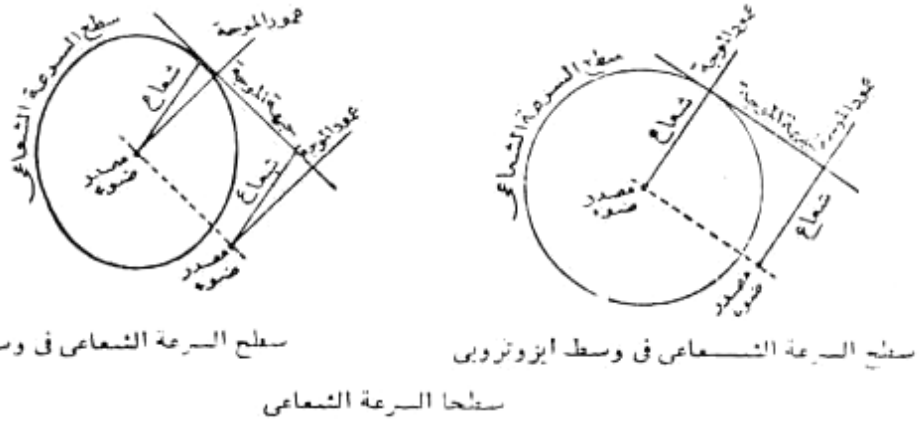
شكل (6)

ويمكن التعبير عن فرق المسار (أو فرق الطور) بوحدات الطول الموجي (ميلي ميكرون مثلا) وإذا كان فرق المسار أو فرق الطور يساوي صفر اوعددا صحيحا من طول الموجة للضوء المستخدم- فان الموجيتين تنطقان تماما. وإما إذا كان الفرق كسرا من الطول الموجي فتظهر الموجتان حيث تتأخر احدهما عن الأخرى (كما في شكل 6) لذلك يسمي فرق المسار أو فرق الطور أحيانا باسم التأخر retardation وهو مصطلح يدل علي إن إحدى الموجتين قد تقدمت أو تخلفت بالنسبة للموجة الأخرى بمقدار عدد صحيح أو كسر من الطول المجي

جبهة الموجة Wave front : هو السطح الزى يمر بنقط لها نفس الطور في مجموعة من الأمواج

عمود الموجة Wave normal :وهو اتجاه انتشار الموجة , ويمثل بخط عمودي علي جبهة الموجة

سطح الشعاع Ray surface: ويسمي أيضا سطح السرعة الشعاعي ray velocity surface وهو السطح الذى يصل إليه الضوء عن طريق الأشعة بعد فترة زمنية معينة. فى المواد الايزوتربية ينتقل الضوء بنفس السرعة فى جميع الاتجاهات لذلك نجد ان سطح السرعة الشعاعي كروى الشكل. ام فى المواد الغير ايزوتروبية حيث ينتقل فيها الضوء بسرعات مختلفة فى الاتجاهات المختلفة فان سطح السرعة الشعاعي فى هذه المواد اهليلجي (شكل 7)



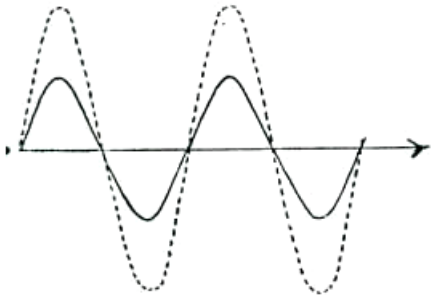
(شكل 7) سطحا السرعة الشعاعي فى وسط ايزوتروبي و وسط غير ايزوتروبي

تركيب الامواج وتحليلها
Composition and resolution of waves

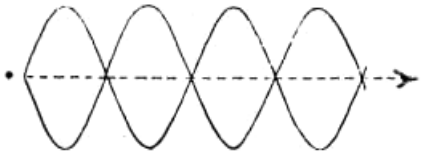
عندما تتحرك الموجات الضوئية في نفس الاتجاه والمسار واذا كانت تتذبذب في نفس المستوي فانها تتداخل Interfere مع بعضها . وتتوقف نتيجة تداخل هذه الموجات علي فرق الطور والطول الموجي واتساع ذبذبتها .

عند تداخل موجتان تتذبذبان في نفس المستوي ولهما نفس الطول الموجي والاتساع ونفس الطور ينتج عنهما موجة (مثلة بالخط المنقط - شكل 8) لها نفس الطور والطول الموجي الا ان اتساع يكون ضعف اتساع أي من الموجتين – ويوصف مثل هذا التداخل بانه تداخل بنائي constructive interference ذلك لان شدة تزداد نتجية لزيادة الموجة المحصلة شكل (8).

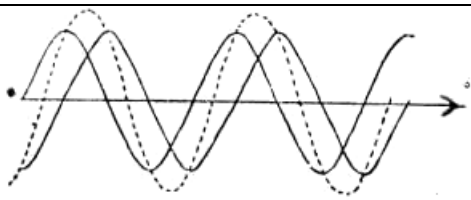
عند تداخل موجتان تتدبدبان في مستوي واحد ولهما نفس الطول الموجي والاتساع ولكل بينهما فرق الطور يساوي 180 (او Π بالقياس الدائري) . أي يعادل فرق مسا مقدراه 2/1 λ (نصف) طول موجة , بمعني ان احداهما تسبق الاخري بمقدار نصف موجة , ينتج عنهما موجة لها اتساع يساوي صفرا (أي لاينتج شيئا) لذلك يوصف مثل التداخل هدمي Destructive interference شكل (9)



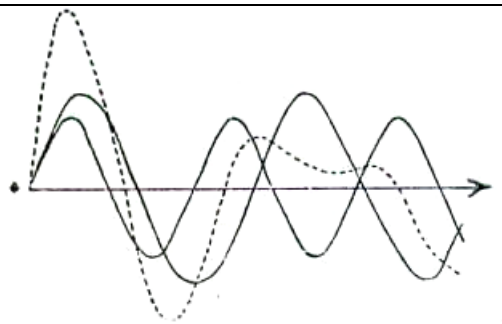
شكل 8 تداخل بنائي لموجتين من نفس الطور ولهما نفس الطول الموجي والاتساع . الموجة الناتجة مبينة بالخط المتصل



شكل 9 تداخل هدمي لموجتين لهما نفس الطول الموجي والاتساع ، ولكن بينهما فرق طور ١٨٠°



شكل 10 تداخل موجتين متشابهتين فرق الطور بينهما يساوى ٩٠° الموجة الناتجة مبينة بالخط المنقط



شكل 11 تداخل موجتين مختلفتين . الموجة الناتجة مبينة بالخط المنقط

عند تداخل موجتان تتذبذبان في مستوي واحد ولهما نفس الطول الموجي والاتساع ولكي بينهما فرق في الطول يساوي 90 درجة (او 2/1 Π بالحساب الدائري) وهو ما يقابل فرق مسار قدرة 4/1 طول موجة تنتج موجة (ممثلة بالخط المنقط) لها اتساع اكبر من اتساع أي منهما (شكل 10) .

عند تداخل موجتان تتذبذبان في نفس المستوي وتختلفان في الطول الموجي والاتساع تنتج موجة ذات اتساع وطول موجي غير منتظمين (شكل 11).

وعموما يمكن تعيين الموجة المحصلة الناتجة عن تداخل موجتين تتحركان في نفس الاتجاه وتتذبذبان في نفس المستوي بواسطة الجمع الجبري للمسافات العمودية علي الموجات من جميع النقط علي طول خط الانتشار .

بصريات المواد الايزوتروبية
Optics of isotropic substances

تنقسم المواد من حيث صفاتها الضئية الي قسمين :

1- مواد ايزوتروبية Isotropic substances

2- مواد غير ايزوتروبية Anisotropic substances

وفى المواد الايزوتروبية هي التي تنتقل فيها الموجات الضوئية بنفس السرعة وسطح السرعة الشعاعي الناتج من مصدر ضوئي في هيئة نقطة عبارة عن كرة منطبقة مع جبهة الموجة . ويتوازى الشعاع مع عمود الموجة في جميع وتشمل المواد الايزوتروبية علي المواد الغير متبلورة مثل الزجاج والسوائل وكذلك فصيلة البلورات ذات الطول لواحد Monometric (المكعب) .

اما المواد غير الايزوتروبية فهي التي تنتقل فيها الموجات الضوئية بسرعة تختلف بختلاف الاتجاه , ولذلك نجد ان سطح السرعة الشعاعي في هذه المواد عبارة عن شكل اهليلجي (أي بيضاوي) , حيث لايوازي عمود الموجة فيها لشعاع . وتشمل المواد غير الايزوتروبية عموما بلورات فصائل الطولين diametric (السداسي والرابعي والثلاثي) وبلورات فصائل الاطوال الثلاثة Trimetric (المعيني القائم والميل لواحد والميول الثلاثة)

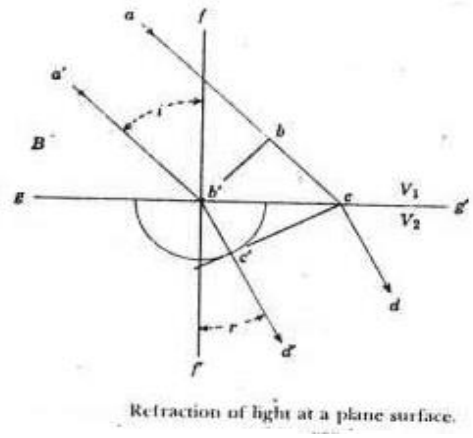
وعند سقوط الضوء مائلا علي سطح حدي المواد الايزوتروبية الشفافة فان جزاء منه ينفذ خلالها ويحدث تغيرا في اتجاه الضوء وسرعته داخل هذه المادة – وتعرف هذه الخاصة بالانكسار Reflection وقد بنيت لرسومات الهندسية التي توضح كيفية انكسار لضوء علي قاعدة هيجنز, والتي تنص علي ان أي نقطة او جسم تصطدم به الطاقة الموجية يصبح مصدرا جديدا للطاقة . لذلك فاي نقطة علي سطح الانعكاس يمكن اعتبارها مصدرا ثانويا للاشعاع ولها سطح السرعة الشعاعي الكروي الشكل الخاص بها.

الانكسار Refraction

عندما ينتقل الضوء مائلا من وسط ايزوتروبي شفاف الي وسط اخر ايزوتروبية شفاف فنه يعاني تغيرا في السرعة وفي الاتجاه . وتسمي هذه الخاصة بالانكسار Refraction , كما تسمي الخاصية التي تسسبب هذا الانكسار بقرينة الانكسار Refringence . اما اذا سقط الضوء عموديا على السطح الفاصل بين الوسطين فانه لا يعاني انكسارا . وتعرف زاوية ميل الضوء الساقط بالنسبة للعمود المقام علي السطح الفاصل بين الوسطين باسم زواية السقوط (يرمز لها i). وتعرف الزاوية المناظرة لها فى الوسط الاخر بزاوية الانكسار(يرمز لها r) (شكل – B). النسبة بين سرعة الضوء فى اى وسطين ايزوتروبين ثابتة وتساوى جيب الزاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار وتعبر عن معامل الانكسار. وتسمى هذه العلاقة بقانون سنيل smell's low

$$v_1/v_2 = \sin i / \sin r = n$$

والثابت n هو معامل انكسار الوسط الذي يسير فيه الضوء بسرعة v_2 بالنسبة إلي الوسط (الفراغ) الذي يسير فيه الضوء بسرعة v_1 .



Refraction of light at a plane surface.

(شكل – B)

يمثل انكسار الضوء عند السطح الفاصل بين وسطين ايزوتروبين

ويمكن كتابة قانون عام لمعامل الانكسار كما يلي :

$$n = C / V$$

حيث n = معامل انكسار الوسط , C ثابت (constant) وهو عبارة عن سرعة الضوء في الفراغ او الهواء تقريبا وتعطي له قيمة اختيارية تساوي الوحدة , v = سرعة الضوء لموجة معينة في الوسط المعين ..... اي ان

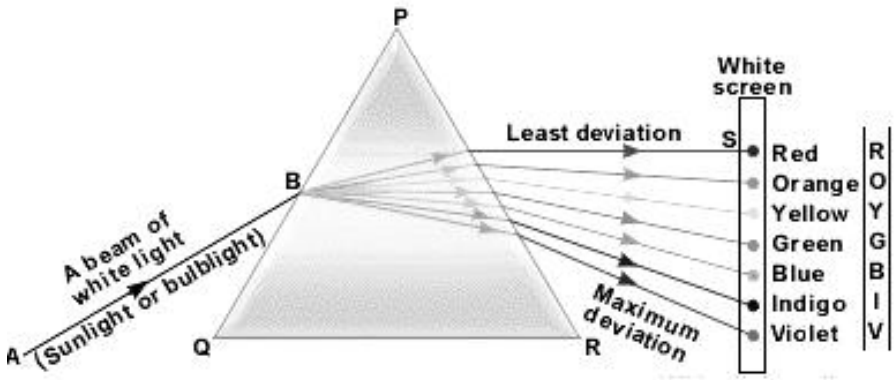
$$n = 1 / V$$

أي ان كلما كان معامل انكسار الوسط كبيرا كلما كلما قلت سرعة الضوء فيه . والعكس الصحيح .

وكما ذكرنا سابقا فان الضوء الساقط عموديا علي سطح مستو فانه لاينكسر . اما الضوء المنتقل مائلا من الهواء الي وسط صلب شفاف فانه ينكسر اتجاه العمود المقام علي السطح الفاصل . وعلي العكس فان الضوء المنتقل مائلا من وسط صلب شفاف الي الهواء فانه ينكسر بعيدا عن العمود . وتسري هذه لقاعدة علي انتقال الضوء من وسط اقل كثافة بصرية الي وسط اكثر كثافة بصرية وبالعكس . ويطلق علي الكثافة البصرية عبارة optical density

ويعتمد معامل نكسار المادة علي طول موجة الضوء الساقط – لذلك نجد ان معامل انكسار المادة الواحدة يختلف بالنسبة لكل لون من الوان الطيف المكونة للضوء الأبيض .

فعندما تسقط حزمة ضيقة من الضوء الأبيض على سطح منشور من الزجاج أو أي مادة أخرى شفافة عديمة اللون يتفرق الى ألوان الطيف المكونة له شكل (14).



شكل (14)

وعادة ما نجد أن الضوء ذو الطول ألموجي الاقل تكون سرعته اقل وينكسر بدرجة اكبر عن الضوء ذو الطول ألموجي الأكبر – لذلك يمكن القول عموما بأن معامل الانكسار في المواد الشفافة عديمة اللون يتغير تغيرا عكسيا مع طول موجة الضوء. وتعرف المواد التي توضح هذه الظاهرة بأنها ذات تفرق طبيعي لمعاملات الانكسار Normal dispersion of refraction indices أو باختصار التفرق الطبيعي Normal dispersion.

أما التفرق في المواد الشفافة التي تمتص بعض موجات الضوء (المواد الملونة) فيعرف باسم التفرق غير الطبيعي Abnormal dispersion ولا ينطبق عليها التعميم سالف الذكر.

ويطلق على الفرق بين قيمتي معاملي انكسار الضوء الأحمر والضوء البنفسجي (نهايتي الطيف المرئي) في وسط ما باسم التفرق الكلى Total dispersion لهذا الوسط. وقياسا على ذلك فإن التفرق الجزئي Partial dispersion هو الفرق بين معاملي انكسار أي لونين من ألوان الطيف في الوسط المعني.

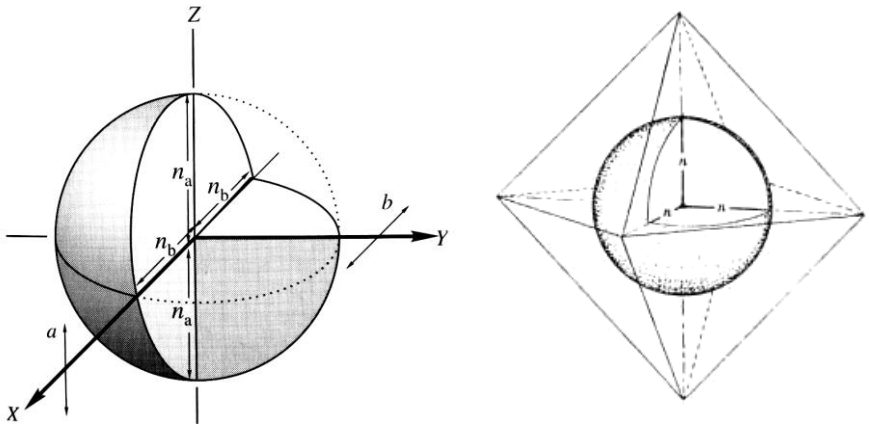
وتختلف المواد كثيرا في قدرتها على تفرق الضوء. وأقل المعادن قدرة على التفرق هو معدن الفلوريت ($Ca\ F_2$) ولذلك يستخدم في صناعة بعض عدسات الميكروسكوب. والماس هو أكبر المعادن قدرة على تفريق الضوء – لهذه الخاصية يعزى بريقه الذي يجعله أثمن الأحجار الكريمة.

ونظراً لوجود ظاهرة التفرق فإنه عند تعيين معامل انكسار وسط ما بدقة يجب استخدام ضوء أحادي اللون Monochromatic Light ذو طول موجي محدد بدلاً من استخدام الضوء الأبيض إذ أنه يتكون من موجات ذات أطوال مختلفة.

مجسم معامل الانكسار الايزوتروبى Isotropic indicatrix

كما ذكرنا سلفا فإن الضوء ينتقل في المواد الأيزوتروبية بسرعة واحدة في جميع الاتجاهات عن طريق الشعاع الذي ينطبق مع عمود الموجة (العمود المقام على جبهة الموجة). لذلك فإن سطح السرعة السرعة الشعاعي يكون كرويا في المواد الأيزوتروبية

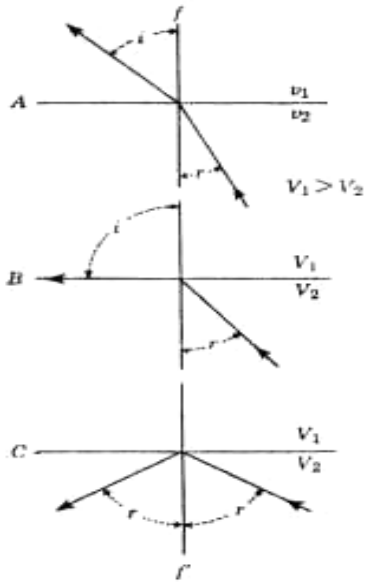
وحيث ان n = 1/V لذلك فان سطح المجسم لمعامل الانكسار لمعامل الانكسار Indicatrix يكون كرويا في المواد الأيزوتروبية ويعرف باسم مجسم معامل الانكسار الايزوتروبى Isotropic Indicatrix (شكل 15). وتدل أنصاف الأقطار على معامل الانكسار في اتجاه الذبذبة للضوء المنبعث من مصدر ضوئي على هيئة نقطة بداخله. وتنتقل الموجة المقابلة لنصف قطر معين في الكرة في اتجاه عمودي على نصف القطر بسرعة تتناسب مع 1/n.

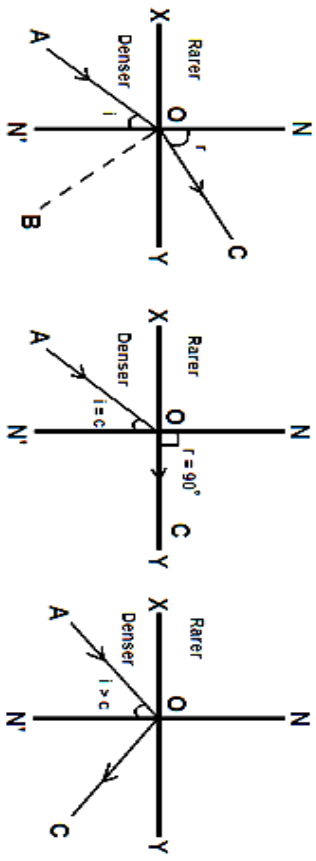


(شكل 15) : مجسم معامل الانكسار الايزوتروبى

الانعكاس الكلى Total reflection

كما ذكرنا سلفا عندما ينتقل الضوء من وسط ذو معامل انكسار أكبر إلى وسط ذو معامل انكسار أصغر فإن الضوء ينكسر بعيداً عن العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين. وبزيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار المناظرة حتى تصل الأخيرة إلى 90 درجة وعندئذ يلمس الشعاع المنكسر السطح الفاصل بين الوسطين. وتعرف زاوية السقوط هذه – التي تناظرها زاوية انكسار مقدارها 90 درجة – بالزاوية الحرجة Critical angle. وإذا زادت زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة يبطل الانكسار ويحدث بدلا منه انعكاسا كلياً للضوء داخلا في نفس الوسط. ويعرف هذا النوع من الانعكاس باسم الانغماس الكلى الداخلي Total internal reflection أو باختصار الانعكاس الكلى Total reflection (شكل 16).





شكل (16) : انكسار وانعكاس الضوء عند السطح الفاصل بين وسطين ايزوتروبين

V_1= هواء

V_2= زجاج

ويمكن تعيين قيمة الزاوية الحرجة لأي وسط أيزوتروبى شفاف بالنسبة للهواء أو الفراغ . كذلك يمكن تعيين معامل انكسار الوسط إذا عرفنا قيمة زاويته الحرجة مع الهواء. وهناك عديد من الأجهزة التي تستخدم في تعيين معاملات الانكسار وتسمى مقايس معاملات الانكسار أو الرافراكتومتر Refractometer.

اللون Color

يمتص الضوء بمقادير مختلفة إثناء انتقاله خلال وسط ما، فالمواد عديمة اللون عديمة الامتصاص في نفس الوقت، أما المواد الداكنة فتمتص الضوء بدرجة كبيرة. ويتوقف مقدار الامتصاص على سمك الوسط (أي طول مسار الضوء فيه). وتمتص المواد الشفافة الملونة أمواجا معينة من طيف الضوء الأبيض وتسمح بمرور الموجات الأخرى منه ولذلك تظهر هذه المواد ملونة باللون المناظر للموجة المارة خلالها. وعموما لا يتغير الامتصاص في المواد الأيزوتروبية الملونة مع تغير الاتجاه لذلك نجد أن لونها واحد في جميع الأوضاع.

أما في المواد غير الأيزوتروبية الملونة يختلف امتصاص الضوء تبعا لاتجاه انتقاله فيها. لذلك فقد يظهر للبلورة الواحدة أكثر من لون إذا تغير وضعها. وتعرف ظاهرة تغير لون البلورة مع تغير ذبذبة الضوء خلالها باسم التغير اللوني Pleochrosim.

قياس معامل الانكسار

يفيد قياس معامل الانكسار كثيراً في التعرف على المعادن والمواد الكيميائية المتبلورة وغير المتبلورة. ويستخدم كثيراً في علم المعادن ويعتبر كذلك من القياسات الهامة اللازمة لمراقبة الجودة في كثير من الصناعات مثل الزجاج بأنواعه المختلفة. ويمكن تعيين معامل الانكسار باستخدام الميكروسكوب أو أجهزة أخرى خاصة لهذه الغرض تسمى الرافراكتومتر Refractometer.

وهناك عدة طرق لقياس معامل الانكسار تناسب كل منها الغرض الذي تستعمل من أجله وتعطى نتائج في حدود معينة من الدقة. وتعتبر طريقة الغمس (Immersion method) أكثر الطرق المستعملة انتشارا، وفيها يتم مقارنة معامل انكسار المادة الصلبة (الغير معروفة) بمعامل انكسار سائل معروف.

وفى هذا الجزء سوف تكون مناقشاتنا على المواد الايزوتروبى – أي التي لها معامل انكسار واحد لطول الموجة الضوئية الواحد (لون واحد).

1-طريقة الغمس Immersion method

وتعتبر أكثر الطرق المستخدمة انتشارا لتعيين معامل الانكسار بواسطة الميكروسكوب. وتتطلب استخدام سوائل معينة لها معاملات انكسار معلومة لغمس فيها كسرات أو بلورات شفافة من المعدن أو الجسم – المراد تعيين معامل انكساره – بالتتابع حتى نصل إلى السائل الذي يتفق Matches معامل انكساره مع انكسار المعدن. وقد يقع معامل انكسار المعدن بين معاملي انكسار سائلين فعندئذ يمكن خلط السائلين حتى نحصل على اتفاق (تساوى) بين معاملي الانكسار للخليط والمعدن. وتعتمد دقة النتائج على عدة عوامل أهمها:

- الفتحة العددية لعدسات الميكروسكوب
- نوع عدسات الميكروسكوب المستخدمة
- نوع الضوء المستخدم ومدى التحكم في درجة حرارة السائل (حيث يتغير معامل انكسار السائل بصغر درجة حرارته)
- كذلك تعتمد دقة القياس على قوة الملاحظة

وتزداد دقة وحساسية القياس باستخدام عدسات شيئية ذات فتحه عددية صغيرة وفى حالة استخدام ضوء أبيض وسائل ذو قوة تفرق منخفضة فإن دقة القياس تتراوح بين ± 0.003 وتزداد هذه الدقة إلى ± 0.001 باستخدام ضوء أحادي اللون والتحكم الجيد في درجة حرارة السائل.

ويمكن بطريقة الغمس قياس معاملات الانكسار التي تتراوح من 1.333 حتى 3.17 في ضوء الليثيوم. وتستخدم السوائل عادة كوسط لغمس في المدى من 1.333 حتى 2.1 بينما تستخدم بعض المواد الصلبة ذات درجات انصهار منخفضة لقياس معاملات الانكسار التي تزيد عن 2.1. ويلزم للحصول على قياسات دقيقة معرفة مدى تغير معامل انكسار وسط الغمس مع درجة الحرارة وطول موجة الضوء المستخدم.

ويجب أن تكون سوائل الغمس ثابتة ومأمونة ولا تتفاعل مع المواد التي تغمس فيها. لكن عملياً لا تفي بعض هذه السوائل بشرطي الثبات والأمان أثناء الاستخدام لذلك يجب اتخاذ الحذر الكافي عند التعامل مع هذه السوائل.

2-التضاريس Relief

تتميز مقاطع البلورات وكسرات المعادن وحبيباتها – عند فحصها بالميكروسكوب – بأسطح خشنة غير منتظمة وأحيانا منقرة مما ينتج عنه ما يسمى بتضاريس السطح Relief ويمكن التعبير عن التضاريس بأنها عبارة عن مدى وضوح حدود الأجسام عند فحصها بواسطة الميكروسكوب.

وتتوقف شدة تضاريس المعدن على الفرق بين معامل انكساره ومعامل انكسار الوسط المحيط به. وتظهر التضاريس نتيجة لانكسار الضوء أو انغماسه الكلى عند مروره في وسطين مختلفان في معامل انكسارهما. وتختفي تضاريس المعدن (حدود المعدن) عندما يتساوى معاملا انكسار المعدن والوسط المحيط به حيث أن الضوء لا ينكسر ولا ينعكس عند الحدود التي تفصل بين المعدن والوسط المحيط به (في حالة التساوي). وتوصف التضاريس بأنها موجبة إذا كان معامل انكسار المعدن أكبر من الوسط وتوصف بأنها سالبة في الحالة العكسية (شكل 17).

أحياناً تظهر تضاريس كاذبة أو ظاهرة Apparent relief للمعدن نتيجة لوجود شوائب أو نواتج التحلل بداخله وكذلك لوجود خطوط الانفصام Cleavage أو شقوق داخلية به أو نتيجة لامتصاص الضوء المار خلاله. ويبين شكل 18 درجات مختلفة من التضاريس.

وهناك عدة طرق يمكن بواسطتها المقارنة بين معاملي انكسار المعدن والوسط المغموس فيه وبها يمكن إتمام القياسات عند استخدام طريقة الغمس السابق الإشارة إليها. ونوجزها فيما يلي:

شكل (14) تفرق الضوء الأبيض بواسطة منشور شفاف إلى ألوان الطيف.

شكل (15) مجسم معامل الانكسار الايزوتروبى

شكل (16) انكسار وانعكاس الضوء عند السطح الفاصل بين وسطين ايزوتروبين.

شكل (17) يوضح تضاريس السطح. أ – جارنت (تضاريس عالية موجبة).

ب- هاليت (تضاريس منخفضة جداً). جـ - (فلوريت عالية سالبة).

شكل (18) يوضح تضاريس بعض حبيبات المعادن في الكندا بلسم. 1- ميكروكلين، 2- ترديميت، 3- فلوريت، 4- مسكوفيت، 5- بلاجوكليز كلسى، 6- كوارتز، 7- جارنت، 8- اوليفين، 9- بيروكسين، 10- كاستيريت، 11- روتيل، 12- زركون.

1. طريقة خط بيكا Becke line method

يمكن وصف خط بيكا بأنه خط مضى يوازى حدود حبيبة المعدن يمكن مشاهدته كما لو كان داخل أو خارج حدود الحبيبة إذا رفعنا أنبوبة الميكروسكوب أو خفضناها قليلاً عن حدود الرؤية الواضحة تماماً.

يدل خط بيكا على ظاهرة بصرية تحدث على السطح الرأسي الفاصل بين وسطين يختلفان في معاملي انكسارهما عند مشاهدة مسقط هذا السطح بالميكروسكوب – وذلك نتيجة لانكسار الضوء وانعكاسه الكلى

حيث يتركز الضوء فوق السطح الفاصل بين الوسطين في جانب الوسط ذو معامل الانكسار الأكبر. ويوضح شكل 19 أصل تكوين خط بيكا حيث أن معدنا له معامل انكسار كبير (N) يلامس معدنا آخر (أو سائل غمس) له معامل انكسار صغير (n) والحد الفاصل بينهما رأسي. ويلاحظ أنه من بين الأشعة الأربعة (1 إلى 4) التي يسلكها الضوء في سقوطه على سطح الانفصال ينكسر الضوء المنتقل عن طريق الشعاعين 1 & 2 في الوسط الذي له معامل انكسار أكبر (N)، بينما ينعكس الضوء المنتقل عن طريق الشعاعين 3 & 4 انعكاسا كلياً في هذا الوسط أيضاً وذلك لسقوطهما بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة للوسطين وتكون النتيجة أن يتركز الضوء فوق السطح الفاصل بين الوسطين في جنب الوسط الأكبر في معامل الانكسار.

وقد لا يرى خط بيكا تحت الميكروسكوب عندما تكون الرؤية واضحة تماماً (الحبيبة على مسافة البعد البؤري للشيئية). ولكن إذا رفعنا أنبوبة الميكروسكوب أو خفضنا المسرح قليلا، فسوف يظهر خط بيكا داخل أو خارج حدود حبيبة المعدن. فإذا تحرك خط بيكا إلى داخل حبيبة المعدن – عند رفع أنبوبة الميكروسكوب أو خفض المسرح – فإن معامل انكسار الحبيبة يكون أكبر من معامل انكسار الوسط المحيط به أما إذا تحرك خط بيكا إلى الخارج أي إلى الوسط المحيط بالحبيبة فيكون معامل انكسار الحبيبة أقل من معامل انكسار الوسط المحيط بها.

ويمكن تلخيص ذلك بأن خط بيكا يتحرك اتجاه الوسط الأكبر في معامل الانكسار عند رفع أنبوبة الميكروسكوب أو خفض المسرح.

وجدير بالذكر أن خفض أنبوبة الميكروسكوب أو رفع المسرح يؤدى إلى عكس هذه النتائج. وكلما زاد الفرق بين معاملي انكسار حبيبة المعدن والوسط المحيط بها كلما زادت إزاحة خط بيكا إلى داخل أو خارج حدود الحبيبة عند رفع أنبوبة الميكروسكوب أو خفضها.

2. طريقة الإنارة المركزية Central illumination method

عادة تتخذ حبيبات المعادن والمواد الصلبة أشكالاً عدسي Lenticular غير منتظمة – وعند وضعها في سوائل الغمس فإنها تعمل عمل عدسة محدبة الوجهين فإذا كان معامل انكسار الحبيبة أكبر من معامل انكسار السائل (الوسط) المحيط بها فغن الضوء المار خلالها ينكسر ويتجمع (يتركز) فوقها. وفى الحالة العكسية فإن الضوء يتشتت فوق الحبيبة (شكل 20).

لذلك عند رفع أنبوبة الميكروسكوب (أو خفض المسرح) قليلاً عن مستوى الرؤية الواضحة نجد أن الجزء المركزي من الحبيبة ينير إذا كان معامل انكسارها أكبر من معامل انكسار الوسط المحيط بها. أما إذا كان معامل انكسار الحبيبة أصغر فإن الجزء المركزي منها يظلم عند رفع أنبوبة الميكروسكوب (أو خفض المسرح). ويؤدى خفض أنبوبة الميكروسكوب أو رفع المسرح إلى عكس هذه النتائج. ويمكن مشاهدة هذه الإنارة المركزية بوضوح عند تقليل إضاءة مجال الرؤية وذلك بغلق حاجب الضوء أسفل مسرح الميكروسكوب غلقاً جزئياً.

وعملياً تظهر الحبيبات المغموسة في السوائل كلا من ظاهرتي الإنارة المركزية وخط بيكا مجتمعين ويكمل كل منهما الأخر ويقويه. ويبين شكل 21 التأثير المشترك للإنارة المركزية وخط بيكا. فعند رفع أنبوبة الميكروسكوب قليلاً، وإذا كان معامل انكسار الحبيبة أكبر من معامل انكسار الوسط نجد أن مركز الحبيبة منير وخط بيكا متحرك من الحافة إلى داخل الحبيبة كما تشير الأسهم في الرسم. أما إذا كان معامل انكسار الحبيبة أصغر من معامل انكسار الوسط نجد أن مركز الحبيبة مظلم وخط بيكا يتحرك إلى الخارج نحو سائل الغمس. وفى حالة خفض أنبوبة الميكروسكوب نحصل على عكس النتائج السابقة.

3. طريقة الإنارة المائلة Oblique illumination method

وهى إحدى الطرق التي يمكن بواسطتها المقارنة بين معاملي انكسار المعدن والوسط المغموس فيه. وفى هذه الطريقة نقوم بإظلام نصف مجال الرؤية في الميكروسكوب وذلك بإدخال جسم معتم في طريق مسار الضوء القادم من العدسة المجمعة أسفل المسرح. أو بإدخال الجسم المعتم في فتحة الإضافات بالميكروسكوب مع استعمال عدسة شيئية منخفضة أو متوسطة القوة. يبين شكل 22 طريقة مرور الضوء المائل على الحدود الرأسية بين المعدن والوسط المحيط به. وإذا كانت حبيبات المعدن عدسي الشكل محدبة الوجهين فإنها تعطى نفس النتائج شكل 23. ففي شكل 22 نجد أن الحد الفاصل بين شريحة المعدن والوسط حدا رأسياً، فإذا كان معامل انكسار المعدن أصغر من معامل انكسار السائل المحيط به، شكل 22 – أ، فإن الضوء الساقط مائلاً عن طريق الأشعة 1، 2، 3 والمنتقل من الوسط الأصغر معامل الانكسار (n) إلى الوسط الأكبر معامل انكسار (N) ينكسر إلى جانب العمود ويتفرق. ولكن الضوء في الأشعة 4، 5، 6 والمنتقل من الوسط الأكبر معامل انكسار (N) إلى الوسط الأصغر معامل انكسار (n) ينكسر بعيدا عن العمود ويتجمع مع بعضه. فإذا شوهدت شريحة المعدن من أعلى فإن جانبا منها يظهر مظلما منها بينما يظهر الجانب الأخر منيراً.

أما إذا كان معامل انكسار المعدن أكبر من معامل انكسار السائل المحيط به، شكل 22 – فتكون النتيجة أيضا إظلام جانب من شريحة وإنارة الجانب الأخر، ولكن المنطقة المنيرة في هذه الحالة تشغل الجانب المظلم في الحال السابقة، أي عكس الحالة السابقة.

تعطى الحبيبات أو الكسرات المعدنية عدسي الشكل نتائج مشابهة، شكل 23. يمثل شكل 23 – أ انكسار الضوء بواسطة حبيبة عدسي الشكل معامل انكسارها أصغر من معامل انكسار الوسط المحيط بها. ويمثل شكل 23 – ب انكسار الضوء في عكس الظروف السابقة. أي أن معامل انكسار الحبيبة أكبر من معامل انكسار الوسط المحيط بها.

وتحت الميكروسكوب تكون النتيجة النهائية واحدة سواء أكان للحبيبة حدود رأسية أو شكل عدسي. فعند إظلام نصف مجال الرؤية فإن الحبيبات تنير في أحد جوانبها وتظلم في الجانب الأخر. وتتوقف النتيجة على موضع إدخال الجسم المعتم في مسار الضوء (فوق العدسة الشيئية أم أسفلها) وكذلك على مجموعة العدسات المستخدمة في الميكروسكوب.

وعند إدخال الجسم المعتم في فتحة الإضافات (أعلى العدسة الشيئية بالميكروسكوب) – وفى حالة الرؤية الواضحة – نلاحظ أن الجانب المظلم من الحبيبة يكون ناحية النصف المظلم من مجال الرؤية (وبالتالي الجانب المنير في الناحية البعيدة عن النصف المظلم) في حالة ما إذا كان معامل انكسار الحبيبة أعلى من معامل انكسار الوسط المحيط بها (السائل) شكل 24.

شكل (19) نشأة خط بيكا

شكل (20) انكسار الضوء بواسطة الحبيبات عدسي الشكل.

أ. حبيبة لها معامل انكسار أكبر من الوسط المحيط بها.

ب. حبيبة لها معامل انكسار أصغر من الوسط المحيط بها.

شكل (21) خط بيكا والإنارة المركزية في وقت واحد

أ. الميكروسكوب في وضع الرؤية الواضحة بالنسبة للحبيبة على المسرح.

ب. أنبوبة الميكروسكوب رفعت قليلا، معامل انكسار الحبيبة أكبر من معامل انكسار الوسط.

ت. أنبوبة الميكروسكوب رفعت قليلا، معامل انكسار الحبيبة أصغر من معامل انكسار الوسط.

شكل (22) إنارة مائلة على الحدود الرأسية بين المعدن والوسط.

أ. معامل انكسار المعدن أصغر من معامل انكسار الوسط المحيط بها.

ب. معامل انكسار المعدن أكبر من معامل انكسار الوسط المحيط بها.

وفى حالة ما إذا كان معامل انكسار الحبيبة أصغر من الوسط (السائل المحيط بها) نلاحظ عكس المشاهدات السابقة.

وعند استخدام ضوء أحادي اللون يختفي المعدن الشفاف – عديم اللون – تماما عندما يتساوى معامل انكساره مع معامل انكسار الوسط المغموس فيه.

ومن المستحث عند استخدام طريقة الإنارة المائلة إن نبدأ أولا بمشاهدة حبيبة ذات معامل انكسار معلوم مغموسة في سائل ذو معامل انكسار معلوم إيضاح ثم نجرى جميع قياسات معامل الانكسار المطلوبة بعد ذلك تحت نفس الظروف وبنفس نظام العدسات وإظلام مجال الرؤية.

ظواهر اللون في طريق الغمس Color phenomena in immersion methods

تجدر الإشارة إلى أنه في جميع الطرق السابق ذكرها – لمقارنة معاملات الانكسار – تعطى تضاريس المعدن فكرة واضحة عن مدى قرب معامل انكساره من معامل انكسار الوسط المحيط به – فكلما قل الفرق بين معاملين كلما قلت (ضعفت) التضاريس حتى تختفي في حالة تساوى المعاملين.

وعندما يحدث اتفاق (تساوى Match) بين معاملي انكسار حبيبة المعدن والوسط المغموس فيه – في حالة استخدام ضوء أحادي اللون فإن الضوء يمر خلال الحبيبة والوسط دون أي انحراف في مساره.

ولكن عند استخدام الضوء الأبيض نلاحظ ظهور بعض ألوان الطيف عند حدود حبيبة المعدن وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة اللون في طرق الغمس. والسبب في حدوثها هو أن قوة تفرق Dispersion power السائل للضوء تكون عادة أكبر بكثير من قوة تفرق الجسم الصلب. لذلك يكون للسائل معامل انكسار أكبر من معامل انكسار الجسم لألوان الطيف الأقصر في طول الموجة عن لون الاتفاق (لون التساوي matching Color) ومعامل انكسار أصغر من معامل انكسار الجسم الصلب بالنسبة لألوان الطيف الأطول في طول الموجة. ويبين شكل 25 توضيح مبسط لهذه الظاهرة. فمثلا إذا حدث اتفاق (تساوى) بيم معاملي انكسار المعدن والوسط المحيط به (السائل) عند اللون الأصفر – قرب منتصف الطيف – (السائل ب في الشكل) فإن السائل يكون له معامل انكسار أكبر من المعدن بالنسبة للون البنفسجي ومعامل أصغر بالنسبة للون الأحمر. وذلك بالمقارنة بمعامل انكسار المعدن لهذين اللونين. ويحدث أن ألوان الطيف القريبة من نقطة تقاطع منحنيين التفرق للجسم والسائل تختفي من خط بيكا ويتكون نتيجة لذلك خطا بيكا منفصلين أحدهما أحمر والأخر بنفسجي (أو أزرق) في جانبين متقابلين من حدود المعدن مع السائل. ويتحرك هذان الخطان الملونان في اتجاهين متضادين عند رفع أو خفض أنبوبة الميكروسكوب.

شكل (23) إنارة كعائلة بالنسبة لحبيبات عدسي الشكل.

أ. معامل انكسار الحبيبة أصغر من معامل انكسار الوسط المحيط بها.

ب. معامل انكسار الحبيبة أكبر من معامل انكسار الوسط المحيط بها.

شكل (24) الإنارة المائلة في مجال رؤية الميكروسكوب.

أ. مجال الرؤية منير كله.

ب. نصف مجال الرؤية مظلم، معامل انكسار الحبيبة أكبر من معامل انكسار الوسط المحيط بها.

ت. نصف مجال الرؤية مظلم، معامل انكسار الحبيبة أصغر من معامل انكسار الوسط المحيط بها.

شكل (25) منحنيات التفرق لسوائل وجسم صلب.

أما إذا حدث أتفاق بين معملي انكسار المعدن والسائل في النقطة الحمراء من الطيف (السائل أ في الشكل) فإن هذه المنقطة تختفي من خط بيكا وتظهر بقية الألوان الأخرى (المتوسطة والقصيرة في الطول ألموجي). وبالمثل عند التساوي في النقطة الزرقاء (طول موجي أقصر) فإن هذه الموجات تختفي من خط بيكا وتظهر فقط الموجات المتوسطة والطويلة(السائل جـ في الشكل 25).

ويمكن استخدام هذه الظاهرة لزيادة دقة وسرعة قياس معامل انكسار المعدن في الضوء الأبيض وذلك باستعمال سائل له قوة تفوق متوسطة أو كبيرة. ويشترط المعرفة الكاملة لمنحنى التفرق Dispersion Curve وللسائل المستخدم.

الضوء المستقطب Polarized Light

تبعا للنظرية الكهرومغناطيسية فإن موجات الضوء العادي تتذبذب في الأوساط الأيزوتروبية في جميع الاتجاهات شكل 26. ففي هذه الأوساط تتوقف سرعة الضوء على معامل الانكسار لها فقط ولا تتوقف على الاتجاه. بمعنى أن سرعة الضوء في كل منها واحدة وكذلك معامل الانكسار واحد. ويرجع هذا الانتظام في السرعة إما إلى التوزيع غير المنتظم للذرات في المواد غير المتبلورة مثل الغازات والسوائل والزجاج، أو إلى التوزيع المنتظم تماماً في بلورات فصيلة المكعب.

أما في حالة المواد الغير أيزوتروبية فإن الترتيب الذرى الداخلي يؤثر تأثيراً كبيرا على ذبذبة الضوء المار خلالها، ولابد من أن يتذبذب الضوء بحرية في جميع الاتجاهات كما في شكل 26، فإن الترتيب الذرى يرغم الضوء على الذبذبة في مستويين متعامدين فقط أو بعبارة أخرى – تستقطب هذه المواد الضوء المار خلالها في مستويين متعامدين. ويعرف الضوء المجبر على الذبذبة في مستوى واحد باسم ضوء مستقطب استوائيا Plane polarized light شكل 27.

وقد تكون حركة الموجة المستقطبة في هيئة دائرة إذا نظرنا إليها عموديا على اتجاه الانتقال (عمود الموجة) ويعرف الضوء في هذه الحالة بضوء مستقطب دائرياً Circulary polarized light. وأخيراً إذا كانت الحركة نصف قطعاً ناقصاً فإن الضوء المستقطب يعرف باسم ضوء مستقطب إهليلجياً Ehiptically polarized light.

طرق استقطاب الضوء: هناك طرق متعددة للحصول على ضوء مستقطب في مستوى واحد يهمنا منها ما يأتي:

أولا : الاستقطاب بواسطة المواد الأيزوتروبية:

طريقة الانعكاس والانكسار: Reflection and Refraction method

يستقطب الضوء جزئياً بواسطة انعكاسه على سطح شفاف مصقول لوسط أيزوتروبى، مثل الزجاج. وتعتمد كمية الضوء المستقطب ونوع الاستقطاب على زاوية سقوط الضوء على السطح المعنى ومعامل انكسار الوسط الايزوتروبى ونوعية (جودة) السطح العاكس. فعندما تسقط حزمة من الضوء – الغير مستقطب – مائلة على سطح مصقول لوسط أيزوتروبى شفاف فإن الذبذبات الموازية لسطح الانفصال تنعكس، أما الذبذبات العمودية عليه فتخترق الوسط وتنكسر فيه وينتج عن ذلك استقطابا جزئياً في مستوى واحد لكل من الأشعة المنعكسة والأشعة المنكسرة شكل 28.

وقد وجد بالتجربة إن مقدار الاستقطاب السوي Plane polarization يبلغ أقصاه عندما تساوى الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكسة والشعاع المنكسر 90 درجة ويسمى هذا بقانون بروستر Brewster's law وعندئذ يكون ظل زاوية السقوط مساوياً لمعامل انكسار المادة الأيزوتروبية. أي أنه عندما يكون الاستقطاب أكبر ما يمكن يكون معامل الانكسار مساوياً ظل زاوية السقوط.

$$n = \frac{\text{Sin I}}{\text{Sin r}} = \frac{\text{Sin I}}{\text{Sin (90 – I)}} = \frac{\text{Sin I}}{\text{Cos I}} = \tan I$$

حيث أن n = معامل انكسار المادة الأيزوتروبية

I = زاوية السقوط

r = زاوية الانكسار

وفى الشكل 28 نلاحظ أن الموجات الضوئية المستقطبة في الشعاع المنعكس ب ج تتذبذب في مستوى يوازى السطح العاكس. أما الموجات الضوئية المستقطبة في الشعاع المنكسر ب د فإنها تتذبذب في مستوى تحتى لشعاع الساقط والعمود على السطح الفاصل عند نقطة السقوط. ويلاحظ أيضا أن الضوء المنعكس والضوء المنكسر ليسا مستقطبين كلية بل الاستقطاب جزئي. ولكن يمكن الحصول على ضوء ذو درجة عالية من الاستقطاب بتكرار عملية الانعكاس من مرايا متتابعة أو بتكرار عملية الانكسار خلال سلسلة من شرائح الزجاج الرقيقة.

ثانيا : الاستقطاب بواسطة المواد الغير أيزوتروبية:

1. طريقة الامتصاص التفاضلي: Differential absorption method

يختلف مقدار امتصاص الضوء في بعض المعادن الغير أيزوتروبية – مثل معدن التروماليين – باختلاف الاتجاه البلوري حيث يكون الامتصاص كبيرا بالنسبة لموجات الضوء المتذبذبة في اتجاه معين بينما يكون الامتصاص قليلاً بالنسبة للموجات التي تتذبذب في اتجاه آخر. وتسمى هذه الظاهرة - كما سبق أن أشرنا – ظاهرة التغير اللوني Pleochrosim. فإذا كانت هذه الموجات تتذبذب في مستويين متعامدين فإن امتصاص البلورة لذبذبة أحد المستويين تجعل الضوء يخرج من البلورة متذبذباً في المستوى الثاني فقط أي مستقطباً استوائيا. ففي بلورة معدن التروماليين (أحادي المحور سالب) وهى عادة طويلة في اتجاه المحور البلوري ج، فعندما يسقط ضوء غير مستقطب عمودياً على اتجاه محورها البلوري (ج) فإنه يتحلل Resolves إلى مركبتين إحداهما تتذبذب في مستوى يحتوى على هذا المحور البلوري (وتسمى المركبة العادية). وتمتص معظم ألوان المركبة العادية بقوة وتغادر هذه الألوان البلورة وقد صغر اتساع موجاتها Amplitude بدرجة كبيرة بالمقارنة باتساع الموجات الساقطة. أما موجات المركبة الغير عادية فإنها تمتص ولكن بدرجة أقل كثيراً من المركبة العادية. وينتج عن ذلك أن معظم الضوء النافذ من البلورة يتكون من موجات ضوئية مستقطبة في مستوى واحد وتتذبذب في المستوى الذي يحتوى على

المحور البلوري ج في معدن التروماليين. لذلك فإن بلورة التروماليين تستعمل أحيانا في الحصول على ضوء مستقطب في مستوى واحد.

ولهذا السبب إذا أديرت بلورة التروماليين الطويلة فوق مسرح الميكروسكوب في وجود المستقطب Polarized فإننا نلاحظ أن لونها يكون شفافاً تقريباً عندما يوازى محورها البلوري ج اتجاه ذبذبة المستقطب، ويكون داكنا إذا أديرت 90 درجة فوق المسرح شكل 29.

وهناك مركبات كيميائية صناعية مثل الهيراباثيت Herapathite لها نفس خاصية الامتصاص التفاضلي للضوء مثل التروماليين وتستخدم على نطاق واسع في إنتاج المستقطبات والنظارات الشمسية وتعرف تجارياً باسم مولارويد Polaroid.

2. طريقة الانكسار المزدوج: Double refraction method

تتميز المواد الشفافة غير الأيزوتروبية بخاصية الانكسار المزدوج، بمعنى أن كل شعاع ينتقل خلال البلورة في أي اتجاه ما عدا اتجاه المحور البصري يتحلل إلى مركبتين تتذبذبان في مستويين متعامدين على بعضهما ول منهما مستقطبة في مستوى واحد.

وقد أمكن الاستفادة من الافتراق الواسع للشعاعين الناتجين من الانكسار المزدوج في معدن الكاسيت $CaCO_2$ في عمل منشورات الاستقطاب المعروفة باسم منشور نيكول Nicol Prism والتي تستخدم في صناعة الميكروسكوبيات المستقطبة.

ويتكون منشور نيكول من قطعة من المعدن الكاسيت من النوع الشفاف المسمى ايسلاند سبار Iceland spar ومنفصمه على هيئة معين Rhomb طوله ثلاثة أمثال عرضه. تشطف الزاويا الحادة في نهايتي معين الكاسيت لتصبح قيمتها 68º بدلا من 52¯ - 70º ثم يقطعه المعين إلى نصفين متساويين في اتجاه عمودي على اتجاه السطح المشطوف – وبعد صقل السطحين جيداً يعاد لحامهما بواسطة طبقة رقيقة من الكندا بلسم. ويبين الشكل (30) طريقة مرور الضوء في منشور نيكول ومنه يتضح أن إحدى المركبتين (المركبة العادية) تنعكس انعكاسا كلياً عند سطح تماس الكاسيت مع طبقة الكندا بلسم نتيجة للفارق الكبير بين معاملي الانكسار (حيث أن معامل انكسار المركبة العادية لمعدن الكاسيت هو 1.658 ومعامل انكسار الكندا بلسم 1.537 تقريباً) وتخرج من مجال الرؤية حيث تمتص على جوانب المنشور المطلية بمادة سوداء معتمة. أما المركبة الأخرى (الغير عادية – الشعاع الغير عادى) فإنها تنحرف قليلاً في طبقة الكندا بلسم ثم لا تلبث أن تستعيد مسارها نتيجة للفارق الضئيل بين معاملي الانكسار معامل انكسار المركبة الغير عادية للكاسيت يساوى 1.516 وهو قريب جدا من معامل انكسار الكندا بلسم) وتخرج من السطح العلوي للمنشور تتذبذب في مستوى واحد يسمى بمستوى استقطاب المنشور.

شكل (26) ضوء غير مستقطب

شكل (27) شيء مستقطب استوائيا

شكل (28) استقطاب الضوء بالانعكاس والانكسار . قانون بروستر.

شكل (29) معدن التروماليين في الضوء المستقطب الاستوائي.

أ. المحور جـ عمودي على مستوى ذبذبة المستقطب ، الامتصاص قوى.

ب. المحور جـ موازى لمستوى ذبذبة المستقطب، الامتصاص ضعيف.

بصريات البلورات الغير أيزوتروبية

Optics of Anisotropic Crystals

سبق أن أشرنا أن المواد الأيزوتروبية هي التي تنتقل فيها الموجات الضوئية بنفس السرعة في جميع الاتجاهات (أي أن لها معامل انكسار واحد في جميع الاتجاهات).

أما المواد الغير أيزوتروبية فتختلف سرعة انتقال الموجات الضوئية فيها باختلاف الاتجاه (أي أن معامل الانكسار يتغير بتغيير الاتجاه). وتشكل المواد الغير أيزوتروبية بلورات فصائل الكولين (السداسي والرباعي والثلاثي) وبلورات فصائل الأطوال الثلاثة (المعين القائم والميل الواحد والميول الثلاثة). وتتميز المواد ا(البلورات) الغير أيزوتروبية بخاصية الانكسار المزدوج.

الانكسار المزدوج وتجربة الكالسيت Double refraction & the calcite experiment

إذا مر شعاع ضوء أحادى اللون في بلورة شفافة غير أيزوتروبية فإنه عادة لا ينكسر فقط وإنما ينشق إلى شعاعين ينتقلان في وسط الانكسار بسرعتين مختلفتين (أي أن لهما معاملا انكسار مختلفين)، شكل (31)، وتعرف هذه الظاهرة باسم الانكسار المزدوج Double refraction.

وأكثر المعادن الغير أيزوتروبية إظهاراً لهذه الخاصية هو معدم الكالسيت حيث يمكن رؤية صورتين لجسم واحد (بدلاً من صورة واحدة في حالة المواد الأيزوتروبية) إذا نظرنا إليه خلال بلورة شفافة من هذا المعدن. مما يدل على أن الشعاع الساقط قد أنشق إلى شعاعين منفصلين.

فإذا نظرنا إلى نقطة سوداء مثلا خلال بلورة منفصمة معينة الأوجه Cleavage rhomb من معدن الكالسيت فإننا نشاهد نقطتين بدلا من واحدة وتظهر إحداهما أعلى من الأخرى داخل بلورة الكالسيت، شكل 32. وعند دوران معين الكالسيت نجد أن إحدى الصورتين تبقى ثابتة في مكانها أما الأخرى فتدور حولها في مسار دائري مركزه الصورة الأولى. أي أن الموجات المتحركة عن طريق الشعاع المكون للصورة الأولى تسلك سلوكاً عادياً (كما لو كانت البلورة قطعة من زجاج العادي) ولذلك يعرف هذا الشعاع باسم الشعاع العادي Ordinary ray (ويرمز له أ أو o). أما الموجات المتحركة عن طريق الشعاع المكون للصورة المتحركة فيعتبر سلوكها غير عادياً ولذلك يعرف هذا الشعاع باسم الشعاع الغير عادى Extraordinary ray (ويرمز له بالرمز ى أو E).

الموجة الغير عادية والعادية في معدن الكالسيت.

شكل (30) منشور نيكول (أيمن) مكون من معدن كالسيت مشطور وملحوم بالكندا بلسم، قطاع مستعرض في منشور نيكول (أيسر) مبينا مسار الضوء خلاله.

شكل (31) الانكسار المزدوج في معدن الكالسيت.

وإذا نحن نظرنا بميل إلى سطح معين الكالسيت فيمكننا أن نرى الصورة العادية (المتكونة عن طريق الأشعة العادية) داخل المعين في مكان أعلى من مكان ظهور الصورة غير العادية. وهذا الفرق في العمق الظاهري بين صورتي النقطة يعزى إلى اختلاف سرعة الضوء المنتقل عن طريق الشعاعين. ويتضح لنا أيضا أن سرعة الضوء في الشعاع غير العادي أكبر من سرعة الضوء في الشعاع العادي لمعين الكالسيت (أي أن معاملي انكسار الشعاعين العادي والغير عادى مختلفين). ويجب ألا ننسى أن معامل الانكسار يقاس في اتجاه الذبذبة وليس في اتجاه الانتقال.

ويمكن إثبات أن موجات الضوء المتحركة عن طريق الشعاعين تتذبذب في مستويين متعامدين على بعضهما البعض بوضع قرص مستقطب أو منشور نيكول أو شريحة تورمالين فوق المعين ونظرنا خلالها إلى الكالسيت. وتسمح هذه الوسائل للموجات الضوئية التي تتذبذب في مستوى واحد بالمرور خلالها أي تستقطب الضوء المار خلالها. ففي حالة وضع الشريحة المستقطبة فوق معين الكالسيت بحيث كان مستوى استقطابها موازياً للقطر الكبير لمعين الكالسيت تارة وموازياً للقطر الصغير تارة أخرى فنجد أن الصورة المتحركة (الغير عادية) تختفي في المرة الأولى وتختفي الصورة الثابتة (العادية) في المرة الثانية. وبذلك يمكن أن نستنتج أن موجات الشعاع العادي تتذبذب في اتجاه موازى للقطر الكبير لمعين الكالسيت في حين أن موجات الشعاع الغير عادى تتذبذب موازية للقطر الصغير. كما نستنتج أيضاً أن الشعاعين مستقطبين ويتذبذبان في مستويين متعامدين.

يسمى المستوى المار بالمحور البلوري جـ لبلورة الكالسيت والذي يشمل القطر الصغير لسطح الانفصام المعين العلوي بالمقطع الرئيسي Principal section، أي أن الموجات غير العادية تتذبذب في المقطع الرئيسي للبلورة بينما تتذبذب الموجات العادية في مستوى متعامد عليه.

وإذا نحن نظرنا إلى النقطة السوداء خلال سطحين متوازيين يوازيان المسطح القاعدي (1000) Basal pinacoid في بلورة الكالسيت، أي عند الركنين المار بهما المحور البلوري جـ، فإننا نشاهد صورة واحدة فقط. أي أن الضوء المار في بلورة الكالسيت في اتجاه المحور البلوري جـ لا يعانى انكسارا مزدوجاً ويسلك الضوء في هذا الاتجاه مسلكه في المواد الأيزوتروبية، أي له سرعة واحدة ومعامل انكسار واحد، ويسمى هذا الاتجاه باسم المحور البصري Optic axis (سوف يأتي شرحه بالتفصيل).

ونستنتج من هذه التجربة أن المواد الغير أيزوتروبية تتميز بخاصية الانكسار المزدوج حيث أن كل شعاع يمر خلال البلورة في أي اتجاه – ما عدا اتجاه المحور البصري – يتحلل إلى شعاعين كل منهما مستقطب في مستوى واحد. ويتعامد مستويا الذبذبتين لموجات هذين الشعاعين مع بعضهما. وقد أمكن الاستفادة من الافتراق الواسع نسبياً للشعاعين الناتجين من الانكسار المزدوج في معدن الكالسيت باستخدام هذا المعدن للحصول على ضوء مستقطب سوى Plane polarized light.

تنقسم البلورات الغير أيزوتروبية بصريا قسمين:-

1. بلورات تتبع فصائل الطولين (السداسي والرباعي والثلاثي) وتحتوى بلورات هذه الفصائل على اتجاه أيزوتروبى واحد (أي محور بصري واحد) وتعرف بصرياً باسم بلورات أحادية المحور Uniaxial Crystals.
2. بلورات تتبع فصائل الأطوال الثلاثة (المعين القائم والميل الواحد والميول الثلاثة) وتحتوى على اتجاهين أيزوتروبيين (محورين بصريين) ولذلك تعرف بصرياً باسم بلورات ثنائية المحور biaxial Crystals .... وفى السطور التالية سنوضح كل قيم على حده بالتفصيل.

بصريات البلورات أحادية المحور

Optics of Uniaxial Crystals

لقد سبق أن ذكرنا أن هناك اتجاه في بلورة الكالسيت – اتجاه المحور البلوري جـ - لا يعانى فيه الضوء انكسارا مزدوجاً ويسلك مسلك المادة الأيزوتروبية (اتجاه أيزوتروبى) ويطلق على هذا الاتجاه أسم المحور البصري Optic axis. أي أنه الاتجاه الذي تنتقل فيه الموجات الضوئية ذات التردد الواحد (أو طول الموجة الواحد) بنفس السرعة.

وللبلورات أحادية المحور معاملي انكسار لكل لون من ألوان الطيف، ويتبين من ذلك أن ضوء لون معين من ألوان الطيف يتكون من مجموعتين من القطارات الموحية لهما سرعتين مختلفتين وتردد واحد عند انتقاله في أي اتجاه خلال البلورات أحادية المحور فيما عدا اتجاه المحور البصري. ويمكن تصور تغير معامل انكسار الضوء بتغير اتجاه انتقال الضوء أو ذبذبته بدراسة مجسم معاملات الانكسار الأحادي المحور Uniaxial indicatrix كما يلي:-

مجسم معاملات الانكسار الأحادي المحور The Uniaxial Indicatrix

وهو عبارة عن شكل هندسي ذو أبعاد ثلاثة يوضح تغير معاملات انكسار الموجات الضوئية (في اتجاه ذبذبتها) في البلورة بتغيير الاتجاه... ففي المواد الأيزوتروبية يكون مجسم معامل الانكسار عبارة عن كرة Sphere، لأن معامل الانكسار في هذه المواد لا يتغير الاتجاه، بمعنى أنه متساوي القيمة في الأبعاد الثلاثة.

في حالة البلورات أحادية المحور يكون مجسم معاملات الانكسار عبارة عن قطع ناقص دوراني Ellipsoid of rotation ذو محور رأسي دوراني – ينطبق دائما على المحور البلوري جـ - وذو مقطع مستعرض دائري الشكل حيث أن بعديه الأفقين متساويين دائماً شكل 33.

يلاحظ أن القطع الرأسي المحتوى على المحور البصري للجسم (ينطبق مع المحور البلوري جـ) يكون دائماً على قطع ناقص بيضاوي Ellipse ويساوى نصف طول محوريه الرأسي والأفقي على معاملي الانكسار للموجة الغير عادية والموجة العادية على التوالي، أي معاملي الانكسار العمودي على المحور البصري والمار بمركز المجسم عبارة عن دائرة نصف قطرها دائماً يساوى معامل انكسار الموجة العادية، ويسمى هذا المقطع باسم المقطع الاستوائي Equatorial section.

شكل (32) تجربة الكاسيت.

أ. نموذج توضع فوقه بلورة كالسيت منفصمة معينة الأوجه. ب. معيني الأوجه فوق النموذج مع الدوران. جـ. مقطع رئيسي يبين العمق الظاهري للصورة العدية وغير العادية. د. تماثل بلورة منفصمة معينة الأوجه من الكالسيت. هـ. وضع قرص مستقطب فوق معيني الأوجه المنفصمة مستوى ذبذبة الاستقطاب موازى للسهم المزدوج. و. مثل هـ ولمن مستوى الاستقطاب يدار 90 درجة.

شكل (33) مجسم معاملات انكسار أحادى المحور.

أ. بلورة موجبة.

ب. بلورة سالبة.

وبذلك نجد أن أنصاف أطوال محاور القطع الناقص الدوران تتناسب مع معاملات الانكسار الرئيسية في البلورات. ونجد أيضا أن نصف قطر المقطع الاستوائي يمثل دائما معامل انكسار الموجة العادية ويرمز له بالرمز No, no, O, w, Nw, nw في حين يمثل نصف طول المحور الرأسي معامل انكسار المموجة الغير عادية ويرمز له بالرمز NE, nE, ε, E, Nε, nε.

أما المقاطع الأخرى المارة بمركز المجسم فتكون على هيئة قطع ناقص له محوران مختلفات في الطول ويساوى نصف طول أحدهما – دائماً – نصف قطر الدائرة الاستوائية (قطع الاستوائي) ويمثل معامل انكسار الموجة العدية (no) أما نصف طول المحور الأخر(العمودي عليه) فيمثل معامل انكسار

الموجة الغير عادية وتتراوح قيمته بين nE, no ، ولذلك يرمز له بالرمز nE. لاحظ أن معامل انكسار الموجة العادية لا يتغير بتغير الاتجاه في المادة الواحدة وللطول الموحى الواحد، لذلك ظل رمزه ثابتا في جميع المقاطع (no). أما معامل انكسار الموجة غير العادية فيتغير قيمته بتغير الاتجاه في البلورة الواحدة، وتتراوح بين القيمتين النهائيتين no, nE.

وفى حالة ما إذا كان معامل انكسار الموجة غير العادية أكبر من معامل انكسار الموجة العادية (nE>nO) نجد أن مجسم معاملات الانكسار يكون عبارة عن قطع ناقص دوراني ممطوط Prolate وفى هذه الحالة يقال أن البلورة ذات علامة بصرية موجبة positive. وفى الحالة العكسية عندما يكون nO>nE يكون مجسم معاملات الانكسار عبارة عن قطع ناقص دوراني منبعج Oblate ويقال أن البلورة ذات علامة بصرية سالبة negative. وفى كلتا الحالتين نجد أن المقطع الرأسي (يحتوى على المحور البصري) أهليجى الشكل. (شكل 33).

ويوجد في المادة الواحدة مجسم معاملات انكسار مميز لكل لون من ألوان الطيف وعموما نجد أن القيمة nO, nE تزداد كلما نقص طول موجة اللون المستخدم ولكن هذه الزيادة ليست بنفس المعدل بالنسبة لمعاملي الانكسار هذين ويشذ عن هذا التعميم المواد التي تمتص الضوء المار خلالها امتصاصا تفاضلياً قوياً Strong differential absorption.

ومن دراسة مجسم معاملات الانكسار في البلورات أحادية المحور يتبين أنه إذا سقط ضوء غير مستقطب عمودي على شريحة بدون انكسار ويتذبذب في جميع الاتجاهات الموازية لأنصاف أقطار المقطع الاستوائي الدائري للجسم. وتكون للضوء نفس السرعة ونفس معامل الانكسار (أي أن الضوء في هذا الاتجاه – اتجاه المحور البصري – كما لو كان المعدن أيزوتروبى) وتكون هذه الموجات التي تتذبذب موازية لأنصاف أقطار المقطع الاستوائي (عمودية على المحور البصري) موجات عادية لها معامل انكسار واحد nO. أما الموجات التي تتذبذب في مستوى المقطع الرئيسي (الذي يحتوى على لمحور البصري) – وتعرف بالموجات غير العادية – فتختلف سرعتها في الاتجاهات المختلفة (وبالتالي يكون لها معاملات انكسار مختلفة تتوقف على اتجاه ذبذبة الموجات). فإذا كانت الذبذبة موازية للمحور البصري في المقطع الرئيسي فيكون معامل انكسار المعدن في هذا الاتجاه يساوى nE (نهاية كبرى أو صغرى تبعا للعلامة البصرية للمعدن). أما إذا كانت الذبذبة (في المقطع الرئيسي) غير موازية للمحور البصري وليست عمودية عليه فيكون للمعدن في أي من هذه الاتجاهات غير المحدودة Random orientation معامل انكسار تتراوح قيمته بين no, nE ويرمز له بالرمز nE وتتوقف قيمته على اتجاه الذبذبة.

من هذه الدراسة يتبين أن الضوء المنتقل – في البلورات أحادية المحور – في اتجاه المحور البصري يتذبذب في اتجاه عمودي على هذا المحور وله معامل انكسار ثابت يساو nO وتتناسب سرعته مع 1/nO. في حين أن الضوء المنتقل في اتجاه عمودي على المحور البصري يتكون من مركبتين تتذبذبان في مستويين متعامدين على بعضهما. ويكون معامل انكسار المركبة التي تتذبذب في المقطع الرئيسي (المركبة غير العادية) مساوياً لـ nE بينما يكون معامل انكسار المركبة التي تتذبذب عمودياً على المقطع الرئيسي (المركبة العادية) مساوياً لـ nO.

سطحا السرعة الإشعاعية في البلورات أحادية المحور

Ray velocity surfaces in uniaxial crystals

يرتبط سطحا السرعة الإشعاعية هندسياً ورياضياً بمجسم معاملات الانكسار. ودراسة لسطح السرعة الإشعاعية تجعل من السهولة تصور تغير سرعة انتشار الطاقة الضوئية في الموجات عن طريق الأشعة

في جميع الاتجاهات المختلفة في البلورة. وتسمى الأشعة التي تنتقل عن طريقها الموجات العادية Ordinary rays وبالمثل فالأشعة غير العادية Extraordinary rays هي مسار الموجات غير العادية.

يوضح شكل 34 العلاقة بين سطحا السرعة الإشعاعية ومجسم معاملات الانكسار في بلورة سالبة. وفيه نجد أن الطاقة الضوئية المنتقلة عن طريق أي من الأشعة op تتكون من مجموعتين من الأمواج، تتذبذب إحداهما في المقطع الرئيسي (مستوى الرسم)وهى الموجات الغير عادية والأخرى موجات عادية تتذبذب عمودياً على المستوى الرئيسي. وفى البلورات السالبة تكون المركبة غير العادية أسرع من المركبة العادية (حيث أن السرعة تتناسب عكسياً مع معامل الانكسار). لاحظ أن المسافات بين الأسهم – شكل 34 – التي تمثل المركبات غير العادية أكبر من المسافات بين النقط التي تمثل المركبات العادية.

وكما هو واضح من الرسم فإن المركبة العدية (الموجة العادية) المنتقلة في أي من الأشعة opتقطع مسافة معينة – بعد فترة زمنية معينة تتناسب مع سرعتها 1/no وفى مل الاتجاهات تقطع المركبة العادية نفس المسافة بعد نفس الفترة الزمنية. لذلك نجد أنه في المستوى الواحد تكون سرعة الموجات العادية واحدة في جميع الاتجاهات وتمثل بدائرة مركزها O. وفى الشكل المجسم في أبعاد ثلاثة تمثل سرعة الموجات العادية بكرة مركزها O أيضاً.

أما سرعة المركبة غير العادية المنتقلة في اتجاه الشعاع فتتناسب عكسيا مع معامل انكسار الشعاع. وتتذبذب المركبة غير العادية في المستوى الرئيسي وفى حالة البلورات السالبة فإن هذه المركبة تتحرك بأكبر سرعة لها في الاتجاه العمودي على النحور البصري، أي بسرعة تتناسب مع 1/nE، كما تتحرك بأصغر سرعة لها، أي بسرعة تساوى المركبة العادية 1/nO، في اتجاه المحور البصري (وتنعكس هذه العلاقة في البلورات الموجبة). لذلك نجد أن سرعة الموجات غير العادية تتغير بتغير الاتجاه وتمثل – في المستوى الواحد – بقطع ناقص Ellipse وتمثل في الأبعاد الثلاثة بقطع ناقص دوراني Ellipsoid of revolution.

ويبين شكل 35 مقطعاً رئيسياً في سطحي السرعة الإشعاعية لبلورة أحادية المحور موجبة ويتكون من دائرة بداخلها قطع ناقص، ومقطعاً رئيسياً آخر في سطحي السرعة الإشعاعية لبلورة أحادية المحور سالبة ويتكون من قطع ناقص بداخله دائرة.

فإذا تصورنا مصدراً ضوئياً وحيد اللون عند مركز بلورة أحادية المحور فإن الضوء ينتشر منه في جميع الاتجاهات، ونتيجة لخاصية الانكسار المزدوج في البلورة يتحلل الشعاع الواحد فيها إلى مركبتين، إحداهما عادية معامل انكسارها nO ثابت في جميع الاتجاهات وبالتالي سرعته 1/nO ثابتة أيضاً. بعد فترة زمنية معينة يكون سطح سرعة هذه المربكة العادية كروي الشكل Sphere وأي مقطع فيه عبارة عن دائرة. والمركبة الأخرى غير عادية معامل انكسارها nE وتختلف قيمته باختلاف الاتجاه، وبالتالي سرعتها 1/nE مختلفة، ويكون سطح سرعتها بعد نفس الفترة الزمنية في هيئة قطع ناقص دوراني وأي قطع فيه عبارة عن قطع ناقص ماعدا المقطع الاستوائي فيكون دائري الشكل Circle.

وفى البلورات الموجبة تكون سرعة الموجات العادية أكبر من سرعة الموجات غير العادية، لذلك نجد أن سطحي السرعة الإشعاعية فيها عبارة عن كرة بداخلها القطع الناقص الدوران. أما في البلورات السالبة فتكون سرعة الموجات العادية فيها أقل من سرعة الموجات غير العادية، ولذلك نجد أن سطحي السرعة الإشعاعية فيها عبارة عن القطع الناقص الدوران وبداخله الكرة، شكل 35.

ونلاحظ أنه في كلتا الحالتين تكون سرعة الموجات العدية وغير العادية واحدة في اتجاه المحور البصري (الذي ينطبق على المحور البلوري جـ) حيث يتماس سطحهما وينعدم الانكسار المزدوج في هذا الاتجاه.

التوجيه البصري للبلورات أحادية المحور Optical orientation of uniaxial crystals

وهو العلاقة بين الاتجاهات البلورية والاتجاهات البصرية في المادة. ومعرفة التوجيه البصري ذات أهمية كبرى في دراسة بصريات المعادن.

ويستلزم التماثل Symmetry في البلورات أحادية المحور والتي تنتمي إلى فصائل الطولين (الرباعي والسداسي والثلاثي) أن يكون المحور البصري موازياً للمحور البلوري جـ. فإذا أخذ المحور البصري اتجاها غير هذا فإن ذلك يؤدى إلى عدم التوافق بين عناصر التماثل في كل من مجسم معاملات الانكسار والبلورة (شكل 36). وترجع أهمية دراسة التوجيه البصري للبلورات أحادية المحور حيث يمكن التعرف على اتجاه المحور البلوري جـ في بلورة المعدن أو حبيبة منه تحت الميكروسكوب إذا عينا اتجاه الذبذبة المناظرة لمعامل الانكسار nE.

التفرق في البلورات أحادية المحور Dispersion in uniaxial crystals

شكل (34) مقطع رئيسي في مجسم معاملات الانكسار لبلورة أحادية المحور سالبة يوضح العلاقة بين سطحي السرعة الإشعاعية والمجسم.

شكل (35) مقطعان رئيسيان في سطحي السرعة الإشعاعية لبلور، موجبة وسالبة.

شكل (36) بلورة أحادية المحور سالبة (كالسيت)

يختلف معاملي انكسار الموجة العادية والموجة غير العادية بالنسبة لكل لون من ألوان الطيف المكونة للضوء الأبيض (يتوقف معامل الانكسار على طول موجة الضوء المستخدم). وهذا ما يسمى بالتفرق. ففي المادة الواحدة يكون للضوء الأحمر في إحدى نهايتي الطيف انكسار مختلفين، وكذلك الضوء البنفسجي في الطرف الأخر من الطيف له معاملي انكسار مختلفين. وقد يتساوى وقد يختلف مقدار تفرق معاملي انكسار الموجات العادية وغير العادية.

ويبين شكل 37 منحنى التفرق لمعدن الكوارتز (أحادى المحور موجب) وكيف أن معاملي الانكسار nO، nE يتغيران بتغير طول الموجة في البلورة الأحادية المحور. ويلاحظ أن منحنى التفرق عموماً غير متوازيين، ويختلف مقدار عدم توازيهما باختلاف المعادن. ويعرف الفرق بين معاملي الانكسار nO، nE للموجة الواحدة (لون معين) باسم فرمية الانكسار المزدوج Birefringence بالنسبة لهذا اللون. ويعبر عن قرينة الانكسار المزدوج عموماً على أنها تمثل الفرق العددي بين معاملي الانكسار للبلورة لخط D (589.3 ميلليميكرون) الممثل لضوء الصوديوم، ما لم ينص على غير ذلك.

الخواص البصرية للبلورات أحادية المحور في الضوء المستقطب

Optical properties of uniaxial crystals in plane polarized light

هناك بعض الخواص يمكن مشاهدتها في الضوء العادي أو في الضوء المستقطب وهى التضاريس Relief – الشمل البلوري Crystal form الهيئة البلورية Crystal habit – خطوط الانفصام

Cleavage والتحلل Alteration والمكتنفات Inclusions، وهناك خاصيتي التغير اللوني وتغير الحدود البصرية التي يلزم لمشاهدتها وجود المستقطب.

1. التغير اللوني Pleochrosim

وينتج عن اختلاف مقدار امتصاص الضوء في البلورات الملونة تبعاً لاتجاه الذبذبة فيها (امتصاص تفاضلي للضوء). ويمكن التعبير عن الامتصاص بقانون التغير اللوني Pleochroic formula فقد يكون مثلا E>O أي E قوى، O ضعيف أو العكس O>E أي E ضعيف ، O قوى (أو E أصفر، O بني كما في معدن التروماليين). حيث تتميز المعادن أحادية المحور وثنائية المحور الشفافة الملونة تغير لونها بدرجات متفاوتة من القوة والضعف عند دوران مسرح الميكروسكوب، تسمى هذه الخاصية التغير اللوني Pleochrosim، بعكس المعادن الأيزوتروبية الشفافة الملونة التي لا يتغير لونها عند إدارة المسرح Non pleochroic. والفرق بين التغير اللوني في المعادن أحادية المحور والمعادن ثنائية المحور هو أن أحادية المحور ثنائية التلون Dichroic، أي تعرض لونين مختلفين فقط، بينما معادن ثنائية المحور فهي ثلاثية التلون Trichroic، أي تعرض ثلاثة ألوان مختلفة.

يلاحظ أن التغير اللوني لا يظهر في المقاطع العمودية على المحور البصري (المحور البلوري جـ) في البلورات أحادية المحور وذلك لأن الموجات الضوئية المنتقلة في هذا الاتجاه (اتجاه المحور البصري) كلها من نوع واحد وسرعة واحدة (المركبة العادية) وتتحرك في موازاته حيث تبدو المادة وكأنها أيزوتروبية.

2. تغير الحدود البصرية Twinkling

تتوقف شدة تضاريس المعدن أحادى المحور على الفرق بين معاملي انكساره – بالنسبة للمركبتين اللتين تتذبذبان في مقطع المعدن – ومعامل انكسار الوسط المحيط به. وقد يكون أحد معاملي انكسار المعدن قريب من معامل انكسار الوسط المحيط والمعامل الأخر أكبر أو أصغر من معامل انكسار الوسط المحيط بدرجة ملحوظة – عندئذ نجد أن شدة وضوح حدود حبيبة المعدن تتغير عندما تدار هذه الحبيبة في الضوء المستقطب السوي، بمعنى أن حواف المعدن وخطوط انفصاله في البلورة الواحدة تظهر ثم تنطمس ثم تظهر مرة أخرى وهكذا مع دوران مسرح الميكروسكوب. وتسمى هذه الظاهرة وميض Twinkling. وتبدو هذه الظاهرة بوضوح في معدن الكالسيت. وتفسير هذه الظاهرة يرجع إلى أم معدن الكالسيت ، مثلاً، له معاملي انكسار، أحدهما غير عاجي قريب من معامل انكسار الكندابلسم (الوسط المحيط) والأخر عادى أكبر من معامل انكسار الكندابلسم. عندما يوازى الثاني مستوى المستقطب (دوران 90 درجة) تتضح حدود البلورة ومعالمها جيداً.

الخواص البصرية لبلورات أحادية المحور بين المستقطبين المتعامدين

Properties of uniaxial crystals between crossed nicols

في الميكروسكوب المستقطب يغادر الضوء المستقطب Polarizer وهو يتذبذب في مستوى واحد فقط ثم يسقط على مقطع البلورة ويغادرها ليسقط على المحلل Analyzer (عند إدخاله في مسار الضوء) ثم يغادر المحلل وهو يتذبذب في مستوى واحد أيضاً. ويكون مستويا الاستقطاب للمحلل والمستقطب متعامدين. ومن المعروف في البلورات غير الأيزوتروبية يتحلل الضوء إلى مركبتين تتذبذبان في اتجاهين عموديين على بعضهما.

وعند فحص مقاطع البلورات غير الأيزوتروبية بين المستقطبين المتعامدين يظهر لها ألوان زاهية (عند استخدام الضوء الأبيض) تسمى ألوان التداخل Interference colors ألوان الاستقطاب Polarization colors.

ألوان التداخل Interference color

وهى الألوان الزاهية التي يظهرها مقطع المعدن غير الايزوتروبى بين المستقطبين المتعامدين. ويجب لا يخلط الطالب بين هذه الألوان ولون المعدن الطبيعي. ويجب أن يكون راسخا في الذهن أن لون المعدن الطبيعي هو لونه المميز له في الضوء الطبيعي أو المستقطب. أما ألوان التداخل فهي تشاهد بين المستقطبين المتعامدين ويمكن الاستفادة منها في تمييز المعادن بعضها عن بعض.

تتوقف طبيعة وشدة ألوان التداخل التي تتكون بواسطة شريحة المعدن أو الحبيبة على فرق المسار path difference بين مجموعتي الموجات التي تغادر الشريحة وهى تتذبذب في مستويين متعامدين. ويتوقف مقدار فرق المسار هذا على العوامل التالية:

1. سمك شريحة المعدن أو الحبيبة Thickness.
2. التوجيه البصري للحبيبة Optical orientation.
3. الفرق بين أكبر وأصغر معامل انكسار للمعدن (قرينة الانكسار المزدوج) Birefringence.
4. كمية ونوع الامتصاص التفاضلي لموجات الألوان المختلفة بواسطة المعدن

وليس لهذا العامل أي تأثير بالنسبة للمعادن غير الملونة، ولكن تأثيره فقط في المعادن الملونة.

وعند إدارة مقطع غير أيزوتروبى لمعدن عديم اللون ذو سمك ثابت على مسرح الميكروسكوب بين المستقطبين المتعامدين فإن لون (أو ألوان) التداخل التي يظهرها هذا المقطع تتغير في شدتها من نهاية عظمى إلى نهاية صغرى كل 90 درجة (أربعة مرات خلال الدورة الكاملة 360درجة). وتعرف المواضع التي تكون شدة الإضاءة عندها في نهايتها الصغرى (أي إظلام تام) باسم مواضع الانطفاء أو التعتم Extinction positions.

ومن الملاحظ أنه في المقاطع العمودية على المحور البصري (المحور البلوري جـ) في المعادن أحادية المحور تظهر مظلمة بين المستقطبين المتعامدين في جميع الاتجاهات أثناء دوران المسرح – مثلها مثل المواد الأيزوتروبية – والسبب في ذلك أن الموجات الضوئية الساقطة على مقطع المعدن الايزوتروبى وكذلك المقاطع العمودية على المحور البصري في البلورات أحادية المحور وتمر خلالها دون انكسار مزدوج ، ويكون لها سرعة واحدة، وتغادر هذه الموجات المعدن وليس بينها أي فرق مسار. وتتذبذب هذه الموجات النافذة من المعدن في مستوى يوازى مستوى ذبذبة المستقطب ويتعامد على مستوى ذبذبة المحلل، مما يؤدى إلى عدم مرورها من المحلل وظهور المقطع مظلماً تماماً (أيزوتروبياً).

ويوضح شكل 38 كيفية مرور الضوء في معدن غير أيزوتروبيين المستقطبين المتعامدين. تصور ضوء أحادى اللون وغير مستقطب يسقط على المستقطب ويخرج منه ليتذبذب في مستوى واحد. عندما يسقط هذا الضوء على السطح السفلى لشريحة المعدن فإنه ينكسر انكسارا مزدوجا ويتحلل إلى مركبتين تتذبذبان في مستويين متعامدين على بعضهما البعض. وعند خروجهما من المعدن تنكسر المركبة غير العادية مرة أخرى ويصبح مسارها موازيا لمسار المركبة العادية. وفى المحلل ينكسر كل منهما انكسارا مزدوجا، ولكن لا يغادر المحلل إلا الموجات المتذبذبة في اتجاه موازى لاتجاه ذبذبة المحلل. وتتداخل هذه

الموجات وتتوقف نتيجة تداخلها (هدمي أو بنائي) على فرق المسار بين المركبة العدية والمركبة غير العادية في المعدن وكذلك على اتجاه ذبذبة هاتين المركبتين بالنسبة لاتجاه ذبذبة المستقطب والمحلل.

ويمكن تلخيص عملية تكون ألوان التداخل في المعدن بين المستقطبين المتعامدين وكيفية انتقال الضوء وتداخله في هيئة موجات في الخطوات التالية:-

1. يدخل الضوء المتذبذب في جميع الاتجاهات إلى المستقطب ويتحلل إلى مركبتين تنعكس إحداهما جانبياً انعكاسا كلياً وتخرج الأخرى منه متذبذبة في اتجاه واحد فقط (أي ضوء مستقطب) هو اتجاه الذبذبة في المستقطب (ب ب¯) وتسقط على شريحة المعدن شكل 39.

2. يتحلل الضوء عند مروره خلال المعدن الموجود في الوضع المائل بزاوية 45 درجة، مثلا شكل 39-أ (أي أن ذبذبتيه الرئيسيتين تميلان بزاوية 45º على مستوى كل من المستقطب والمحلل) إلى مركبتين مستقطبتين متعامدتين تتذبذبان في اتجاه ذبذبتي شريحة المعدن. ثم تتركان الشريحة وبينهما فرق معين في المسار، حيث أن كل من المركبتين تسير في شريحة المعدن بسرعة تختلف عن الأخرى [في شكل 39 فرق المسار يساوى $\lambda\ (n+{}^1/_2)$].

3. بعد ترك المقطع وفى الهواء تنتقل الموجتان المستقطبتان في مستويين متعامدين بنفس سرعتيهما المختلفتين ويكون بينهما نفس فرق المسار.

4. في المحلل تتحلل كل موجة إلى مركبتين وبذلك نحصل على أربعة موجات، اثنتان منهما تتذبذبان في اتجاه المستقطب (عمودي على المحلل) وتنعكسا كليا، والاثنتان الأخريان تتذبذبان في اتجاه المحلل (ل ل¯) ويخرجان منه.

5. تتذبذب الموجتان الخارجتان من المحلل في مستوى واحد ولهما طول موجي واحد واتساع واحد وبذلك تتدخلان Interfere وينتج عنهما الموجة المحصلة Resultant wave التي لها أتساع مختلف. ويتوقف أتساع على فرق المسار بين المركبتين الخارجتين من المحلل ويتوقف هذا الأخير على فرق مسار المركبتين الخارجتين من شريحة المعدن. فإذا كان فرق المسار بين المركبتين (الموجبتين) الخارجتين من شريحة المعدن يساوى $n\lambda$ (حيث n عدد صحيح) – أي مساوياً للطول الموحى أو مضاعفاته – فإن فرق المسار بين الموجتين الخارجتين من المحلل مساوياً $\lambda\ (n \div {}^1/_2)$ فإن فرق المسار بين الموجتين الخارجتين من المحلل يساوى $n\lambda$ وينتج عن ذلك تداخل بنائي لهذه الموجات ويسرى المقطع مضيئاً.

شكل (37) منحنيا التفرق لمعدن الكوارتز.

شكل (38) مرور الضوء خلال شريحة معدن غير أيزوتروبى في الميكروسكوب المستقطب.

مما سبق يتضح أن إظلام المقطع أو إضاءته ينتج من تداخل موجات الضوء ذات الطول الموحى الواحد، فمثلا إذا استخدم الضوء الأصفر في فحص المقطع فإنه يظهر مظلما تماماً حتى مع دوران المسرح طالما كان فرق المسار في المقطع $n\lambda$، أو مضيئا باللون الأصفر طالما كان فرق المسار فيه $\lambda\ (n + {}^1/_2)$. إلا أنه في حالة الإضاءة تتغير شدة هذا اللون مع تغير اتجاه ذبذبتي المركبتين الرئيسيتين في المعدن بالنسبة لإتجاهى ذبذبتي المستقطب والمحلل. يوضح شكل 39 ب شريحة المعدن في الوضع 15º، بدلا من 45º، نلاحظ أن أتساع الموجة المحصلة الناتجة من تداخل الموجتين الخارجيتين من المحلل أقل من أتساعها في حالة الوضع 45º، وبالتالي تكون شدتها أقل من شدتها في الوضع 45º (يتناسب أتساع الموجة تناسباً طرديا مع مربع شدتها).

ومعنى ذلك أن اتساع الموجات الضوئية يصل ذروته في الوضع 45º، ويقل عند دوران المقطع حتى يبلغ الصفر في الوضع الموازى لذبذبة المستقطب والمحلل. وفى هذا الوضع يظلم المعدن تماما، ويحدث هذا الإظلام أربعة مرات في الدورة الكاملة (360º)، وتعرف هذه المواضع كما سبق باسم مواضع الانطفاء أو التعتم الأربعة Extinction positions.

يمكن توضيح تداخل الموجات الضوئية واعتماده على فوق المسار في مقطع المعدن وكذلك على اتجاهي ذبذبتي المعدن الرئيسيتين بالنسبة لإتجاهى كل من ذبذبة المستقطب والمحلل بدراسة المساقط التخطيطية المبينة للاتجاهات Vector diagrams في شكلي 40، 41.

في شكل 40 نفترض وجود فرق في المسار ناتج عن المعدن يساوى nλ ، ونستعمل ضوء أحادى اللون في فحص المقطع. يمثل الشكل 40 – أ ، ب الوضع 45 º، 15º، أي أن ذبذبتي الموجات الضوئية في مقطع المعدن س س¯، ص ص¯ تميلان بزاوية 45º، 15º على لإتجاهى الذبذبة في المستقطب ب ب¯ والمحلل ل ل¯. في كل من الحالتين يظهر المقطع مظلما ويفسر ذلك على النحو التالي:-

يمثل وجـ أتساع الموجة المستقطبة الخارجة من المستقطب لتسقط على المعدن ثم تتحلل في المعدن إلى موجبتين متعامدتين تتذبذبان في الاتجاهين س س¯، ص ص¯ (لإتجاهى ذبذبتي المقطع) وبذلك نحصل على الموجتين وع، وع¯. حيث أن فرق المسار بينهما (فرضا) يساوى صفرا أو عددا صحيحا من الطول الموحى (nλ). تغادر هاتان الموجتان المقطع في طريقهما إلى المحلل وفيه تتحللان من جيد ولا يخرج منه إلا المركبتان اللتان تتذبذبان في مستوى موازى للمحلل. ويمكن تحديد أتساع المركبتين الخارجيتين من المحلل إذن موجتان وم، وم¯ لهما اتساعان مساويان ولكن متضادان وينتج عن تداخلهما موجة محصلة أتساعها يساوى صفراً.

كذلك في الوضع 15 درجة، شكل 40 – ب، على الرغم من أن الموجتين المتذبذبتين في مستويين متعامدين في مقطع المعدن لهما اتساعان مختلفان إلا أن المركبتين الخارجيتين من المحلل لها اتساعان متضادان أيضا والنتيجة موجة أتساعها يساوى صفراً. لاحظ أن أتساع الموجتين المتضادتين أصغر من أتساع الموجتين الخارجيتين من المحلل في حالة الوضع 45º. وبذلك يظهر المقطع مظلماً في الحالتين.

شكل (39) مرور الضوء أحادى اللون في شريحة معدن غير أيزوتروبى بين المستقطبين المتعامدين. فرق المسار يساوى λ $(n + {}^1/_2)$.

أ. الوضع 45º ، ب. الوضع 15º

شكل (40) عمل الميكروسكوب المستقطب لمقطع المعدن موضحا في مسقطين موجهين. فلاق المسار يساوى nλ.

أ. الوضع 45º ، ب. الوضع 15º

في حالة وجود فرق مسار ناتج عن مقطع المعدن يساوى λ $(n+{}^1/_2)$ ، واستعمال أيضا ضوء أحادى اللون، ففي كل من الوضع 45° والوضع 15° يظهر المقطع مضيئاً، إلا أن شدة إضاءته في الوضع الأول أكبر من شدته في الوضع الثاني (شكل 41)، ويفسر ذلك على النحو التالي:-

يمثل وجـ أو وجـ¯ أتساع الموجة الخارجة من المستقطب. تتحلل هذه الموجة في المقطع إلى موجتين وع ، وع¯ لهما اتساعين متساويين يمكن تحديدهما بإسقاط عمودين من النقطتين جـ ، جـ¯ على الاتجاهين س س¯ ، ص ص¯. لاحظ أن وضع النقطة ع قد تغير عما كان عليه في حالة الإظلام (شكل 40)، وذلك

نتيجة زيادة فرق المسار هنا بما يساوى $\lambda/_2^1$. وفى المحلل تتكون موجتان بنفس الطريقة إلا أنهما يتذبذبان في نفس الاتجاه واهما اتساعان متساويان، وتكون محصلتهما موجة لها أتساع يساوى الضعف وعليه تشتد إضاءة المقطع.

في الوضع 15° شكل (41 – ب) تحدث نفس العمليات إلا أن أتساع الموجة المحصلة يكون أقل في القيمة عن أتساعها في الوضع 45° وبذلك تقل شدة إضاءة المقطع.

وكلما اقتربنا من الوضع الموازى (أو الوضع صفر) صغر أتساع الموجة وقلت شدة إضاءة المقطع. وفى الوضع الموازى تماما يكون أتساع الموجة المحصلة صفراً ويظلم المقطع إظلاماً تاماً، ويكون المقطع ى هذه الحالة في وضع انطفاء Extinction position. وحيث أنه يمكن تحقيق وضع التواز هذا أربعة مرات في الدورة الكاملة للمقطع (360°) فإنه يظلم أو ينطفئ بين المستقطبين المتعامدين أربعة مرات في دورته الكاملة.

ومما سبق يمكن تلخيص الآتي:-

في حالة مقطع معدن غير أيزوتروبى في الضوء ذي اللون الواحد بين المستقطبين المتعامدين، إذا كان فرق المسار بين الموجات في المقطع يساوى $n\lambda$ فإنه يظهر مظلما في أي وضع أثناء دوران المسرح. وإذا كان فرق المسار بين الموجات ف المقطع يساوى $\lambda\ (n+^1/_2)$ فإنه يظهر مضيئاً وتقل شدة إضاءته مع دوران المسرح حتى يظلم تماماً في الوضع الموازى.

وفى حالة استعمال الضوء الأبيض المكون من عدة ألوان أو عدة أطوال وجيه متدرجة وكان فرق المسار مساوياً $n\lambda$ بالنسبة لطول موجي معين ينطمس هذا اللون أو هذه الموجة بالذات من الضوء الأبيض في الميكروسكوب، وتظهر مركبات الضوء الأخرى (لون مكمل Complementary color) إذ يكون فرق مسارها عندئذ $\lambda\ (n+^1/_2)$.

العوامل التي تتوقف عليها ألوان التدخل.

تتوقف ألوان التداخل التي يظهرها المعدن الغير أيزوتروبى بين المستقطبين المتعامدين على العوامل الهامة الآتية:-

1. سمك المقطع المعدني.
2. التوجيه البصري للمعدن.
3. قرينة الانكسار المزدوج (أي الفرق بين معاملي الانكسار).
4. الضوء المستعمل في فحص المعدن (أي ضوء أبيض أم ضوء أحادى اللون).

وبذلك يتضح لنا أن ألوان التداخل ليست ثابتة بالنسبة للمعدن الواحد ولا تصلح لتمييز المعادن عن بعضها (لأن شدة أو ضعف هذه الألوان تتوقف على العوامل المذكورة أعلاه وتطبيقاً للعوامل السابقة إذا أظهر المقطع الواحد للمعدن الغير أيزوتروبى عددا من ألوان التداخل أثناء فحصه في الضوء الأبيض بين المستقطبين المتعامدين فإن يرجع فقط إلى سمك المقطع الغير منتظم (يلاحظ أن المقطع السميك يظهر ألوان تداخل أعلى من المقطع الرقيق)، وذلك لأن كلا من اتجاه المقطع وطبيعة المعدن والضوء المستعمل لم يتغير. ويوضح ذلك وتد الكوارتز Quartz wedge عندما يوضع بين المستقطبين المتعامدين في الضوء الأبيض نجده يظهر كثيراً من الألوان

وتد الكوارتز Quartz wedge: هو أحد الشرائح الإضافية ويتكون أساساً م مقطع طولي في بلورة الكوارتز (أو أي معدن أخر غير أيزوتروبى) سمكه عند أحد طرفيه يساوى صفراً وعند الطرف الأخر يساوى 0.2من الملليمتر تقريباً، ومحفوظ في إطار معدني محفور عليه اتجاه إحدى ذبذبتيه، السريعة أو البطيئة.

عند وضع وتد الكوارتز في الوضع 45° بين المستقطبين المتعامدين وفحصناه ابتداء من طرفه الرفيع إلى طرفه السميك في ضوء أحادى ألون وليكن الضوء الأصفر مثلا (متوسط طوله الموحى 580ميلليميكرون)، نلاحظ تكون شرائط bands مظلمة نتيجة تداخل موجات بينها فرق مسار في الوتد يساوى nλ ، أي 2.580 × 3.580 × 580 ميلليميكرون ... الخ، وأخرى صفراء مضيئة متبادلة معها نتيجة تداخل موجات فرق مسارها يساوى λ $(n+^1/_2)$ ، أي 2/580 ، 3 × 2/580 ، 5 × 2/580 ميلليميكرون ... الخ.

في شكل 42 يمثل أ شعاع أصفر ساقط على الطرف الرفيع للوتد. لا نرى أي ضوء بين المستقطبين المتعامدين في الميكروسكوب لأنه لا يوجد فرق مسار لموجات الصور في هذا الاتجاه. أم الضوء في الشعاع ب فإنه ينكسر انكسارا مزدوجاً ويحدث موجات المتداخلة فرق مسار مقداره 200 ميلليميكرون. وهذا الفرق في المسار يقابل نصف طول موجة الضوء الأصفر، ويمر هذا الضوء في الميكروسكوب. وفى الشعاع جـ ينتقل الضوء مسافة تؤدى إلى فرق مسار يساوى 580 ميلليميكرون، أي طول موجة صفراءٍواحدة. ويعطى مثل هذا الضوء عند خروجه من المحلل موجة محصلة أتساعها يساوى صفراً. وتحدث نفس الحالة بالنسبة لانتقال الضوء في كل من الشعاعين هـ ، طـ. والنتيجة النهائية هي تكون أشرطة سوداء وصفراء متبادلة نتجت عن اختلاف سمك مقطع وتد الكوارتز. وتحدث نفس الظاهرة إذا استعملنا أي ضوء آخر إلا أن المسافات بين الأشرطة المظلمة والمضيئة تتغير من لون إلى آخر حسب الطول الموحى للضوء المستعمل.

أما بالنسبة للضوء الأبيض فيقوم وتد الكوارتز بتحليله إلى طيفه لأن الضوء الأبيض يتكون من خليط من الموجات الضوئية التي يتراوح متوسط أطوالها بين 410 ميلليميكرون (الضوء البنفسجي) و 710 ميلليميكرون (الضوء الأحمر). ويوضح شكل (43) توزيع الشرائط اللونية في وتد الكوارتز لكل لون من ألوان الطيف المرئي. وبذلك في حالة استعمال الضوء الأبيض مع وتد الكوارتز تكون النتيجة هي مجموع النتائج الخاصة بكل لون على حدة، أي تتراكب Superpose الأشرطة المظلمة والأشرطة المضيئة للألوان كلها.

يطلق على ألوان التداخل الناتجة عن فرق مسار قيمته من صفر إلى ميلليميكرون ألوان تداخل الرتبة الأولى First order colors، وعلى ألوان التداخل الناتجة عن فرق مسار قيمته من 560 إلى 1120 ميلليميكرون ألوان تداخل الرتبة الثانية Second order colors، وألوان التداخل الناتجة عم فرق مسار قيمته من 1120 إلى 1680 ميلليميكرون ألوان تداخل الرتبة الثالثة Third order colors وهكذا. وكلما زادت رتبة لون التداخل كلما قل وضوح الألوان وبهتت لدرجة تصبح ألوان الرتب الخامسة والسادسة بيضاء تقريباً.

شكل (41) عمل الميكروسكوب لمقطع المعدن موضحاً في مسقط اتجاهي فرق المسار يساوى λ$(n+^1/_2)$.

أ. الوضع 45º ، ب. الوضع 15º

شكل (42) وتد الكوارتز في ضوء أحادى اللون بين المستقطبين المتعامدين. أ. مسقط للوتد ، ب. مقطع مستعرض له.

شكل (43) توزيع الألوان في وتد الكوارتز بين المستقطبين المتعامدين.

وتبدأ ألوان تداخل الرتبة الأولى، شكل 43، بلون أسود ويليه رمادي ثم أبيض وأصفر وبرتقالي وأحمر (أعلى لون هذه الرتبة). أما ألوان الرتبة الثانية فتبدأ بلون بنفسجي يليه أزرق ثم أخضر وأصفر وبرتقالي وأحمر. وتبدأ الثالثة بلون نيلي يليه أزرق مخضر ثم أخضر وأصفر مخضر وأحمر. وعادة تنتهي كل رتبة باللون الأحمر. ويطلق على أبيض الرتب الرابعة والخامسة والسادسة الناتج من اختلاط الألوان المركبة للضوء الأبيض أسم أبيض الرتب العليا White high order.

شريحة الجبس Gypsum plate: عبارة عن رقيقة رفيعة من المعدن الجبس يكون سمكها صغير بحيث يعطى في الضوء الأبيض لون تداخل أحمر بنفسجي من الرتبة الأولى، ويسمى أحيانا اللون الحساس Sensitive tint لأن لون تداخلها هذا يتغير بسهولة إلى الأصفر (أقل في الرتبة) أو الأزرق (أعلى في الرتبة) مع نقص أو زيادة السمك.

شريحة الميكا Mica plate: فهي رقيقة من رقاق انفصام الميكا سمكها صغير بحيث يعطى في الضوء الأبيض لوت تداخل رمادي فاتح من الرتبة الأولى. وقد يطلق عليها أيضا شريحة $\lambda\ ^1/_4$، ربع الموجة، لأن سمكها يؤدى إلى فرق في المسار مساويا $\lambda\ ^1/_4$ في ضوء الصوديوم الأصفر.

قرينة الانكسار المزدوج Birefringence.

وهى عبارة عن الفرق العددي بين أكبر وأصغر معاملي انكسار في المعدن. وتتوقف ألوان التداخل لشريحة المعدن على قرينة الانكسار المزدوج. حيث أن المعدن الذي له قرينة انكسار كبيره يعطى ألوان تداخل عالية والعكس لا، سرعتي المركبتين العادية وغير العادية تتناسب مع مقلوب معامل الانكسار. ينتج عن ذلك أنه كلما ازدادت قرينة الانكسار المزدوج (الفرق بين nO ، nE) لشريحة معدن ذو سمك وتوجيه بصري ثابتين، زاد معها فرق المسار الناتج في هذه الشريحة تبعاً للمعادلة الآتية.

ت (التأخير أو فرق المسار) = م (ن2 – ن1)

حيث م = السمك ، (ن2 – ن1) = الفرق بين معاملي الانكسار = قرينة الانكسار المزدوج.

ويوضح شكل (44) العلاقة بين لون التداخل وسمك مقطع المعدن وقرينة الانكسار المزدوج عند استعمال الضوء الأبيض. تعرف هذه اللوحة البيانية باسم لوحة ميكل ليفى لقرينة الانكسار المزدوج. وفى هذه اللوحة ثلاثة أنواع من الخطوط: الخطوط الرأسية تمثل سمك المقطع والخطوط الأفقية تمثل فرق المسار والخطوط المائلة تمثل قرينة الانكسار المزدوج. بواسطة هذه اللوحة يمكن أن نستنتج إحدى القيم الثلاثة إذا عرفنا اثنين منها.

تعيين رتبة لون التداخل

تعيين رتبة لون التداخل يكون سهلا إذا كانت حبيبة المعدن لها حرف وتدي أو عدسي الشكل، فعندئذ تظهر الحبيبة ألوان التداخل متتابعة من الحرف حتى مركز الحبيبة، ويحد ألوان كل رتبة خط أو حزام أحمر Red band واضح. فمثلا إذا كان في مركز الحبيبة لون أزرق ويحيط به حزامان أحمران، فيدل الحزام الأحمر الخارجي على نهاية ألوان الربتة الأولى، بينما يدل الحزام الأحمر الثاني (الذي يليه إلى الداخل) على نهاية الرتبة الثانية، وتبعا لذلك يكون لون التداخل الأزرق من الرتبة الثالثة.

أما إذا كان مقطع المعدن منتظم السمك كما هو الحال في مقاطع المعادن، فإننا نستعمل وتد الكوارتز لتعيين رتبة لون التداخل. ندير مقطع المعدن إلى وضع الانطفاء Extinction position لكي يوازى

مستويا الذبذبة في المعدن مستويي الذبذبة للمحلل والمستقطب (ممثلين بالشعرتين المتعامدتين في محال الرؤية). ثم ندير المعدن بعد ذلك إلى الوضع 45º حتى يوازى اتجاه إحدى الذبذبتين في المعدن (الذبذبة السريعة أو البطيئة) الاتجاه الطويل لوتد الكوارتز بعد إدخاله في فتحة الإضافات في الميكروسكوب. لو فرض أن الاتجاه الطويل لوتد الكوارتز يوازى المركبة السريعة له (المركبة العادية حيث أن الكوارتز موجب). فإذا كانت المركبة السريعة في مقطع المعدن توازى المركبة السريعة في وتد الكوارتز فإن لون التداخل في المعدن يعلو في الرتبة كلما تحرك وتد الكوارتز إلى الداخل ابتداء من طرفه الرفيع. ويعمل الوتد في هذه الحالة كأنه يضيف سمكه إلى سمك المعدن أي يزيد من فرق المسار.

أما إذا كان اتجاه المركبة البطيئة للمعدن توازى المركبة السريعة للوتد، فإن لون التداخل في المقطع ينخفض في الرتبة كلما تحرك وتد الكوارتز إلى الداخل ابتداء من طرفه الرفيع. وعندما توازى المركبة البطيئة المركبة السريعة قد يحدث إظلام تام للمقطع وذلك عندما يتساوى فرق المسار الناتج من المعدن مع فرق المسار الناتج من وتد الكوارتز، ويقال للون وتد الكوارتز في هذه الحالة أنه يعادل Compensate لون التداخل في المعدن. فإن التعادل يحدث عندما ينعدم فرق المسار في المعدن بواسطة سمك معين من وتد الكوارتز.

مثال: معدن له لون تداخل أصفر. ندير مقطع المعدن زاوية 45º من وضع الانطفاء، ثم ندخل وتد الكوارتز مبتدئين بطرفه الرفيع. فإذا تغير لون التداخل إلى الأحمر ثم البنفسجي (أي يعلو في الرتبة)، فمعنى ذلك أن الاتجاهين السريعين للمركبتين المتذبذبتين في المعدن والوتد متوازيان، ويلزم الأمر أن ندير مقطع المعدن 90 من هذا الوضع. وعندئذ ندخل وتد الكوارتز فنشاهد الألوان الآتية: أصفر – أخضر – أزرق – بنفسجي – أحمر – برتقالي – أصفر – أبيض – رمادي – ثم أسود. ومعنى ذلك أن لون التداخل الأصفر يكون من الرتبة الثانية. فإذا أزحنا مقطع المعدن من على المسرح وشاهدنا الألوان في الوتد فقط وهو يسحب إلى الخارج، نلاحظ أنها تتغير في مجال الرؤية بنفس التتابع المذكور أعلاه.

ألوان التداخل الشاذة Abnormal interference colors

تنتج ألوان التداخل الشاذة في البلورات أحادية المحور بطريقتين:

1. إذا كان المعدن متلوناً بطبيعته نتيجة للامتصاص التفاضلي لألوان الضوء الأبيض فإن ألوان التداخل لا تتوقف فقط على فرق المسار الناتج من شريحة المعدن ولكن تتوقف أيضا على الألوان المعينة التي أمتصها المعدن.
2. إذا كانت البلورة أيزوتروبية بالنسبة للون معين وغير أيزوتروبية بالنسبة لألوان الطيف الأخرى، فإن هذا اللون المعين يستبعد من الضوء الأبيض المنتقل في البلورة.

الانطفاء وزاوية الانطفاء Extinction and Extinction angle

من المعروف أن البلورات غير الأيزوتروبية تظهر بين المستقطبين المتعامدين في الضوء الأبيض أربعة أوضاع للإنطفاء.

ويحدث الانطفاء عندما ينطبق إتجاها ذبذبتي مقطع المعدن مع لإتجاهى ذبذبتي المستقطب والمحلل. وتعرف زاوية الانطفاء بأنها الزاوية المحصورة بين أي اتجاه بصري في وضع الانطفاء، أي الذبذبة السريعة أو الذبذبة البطيئة، وأخر بلورى، أي حد بلورى أو أثر لمستوى الانفصام أو أثر لمستوى الترطيب في حالة البلورات التوأمية.

تتراوح قيمة زاوية الانطفاء بين صفر وتسعين درجة. فإذا كانت تساوى صفراً يوصف الانطفاء بأنه انطفاء موازى Parallel extinction أما إذا كانت غير ذلك فإنه يوصف بأنه انطفاء مائل Inclined extinction، وفى هذه الحالة يمكن قياس زاوية الانطفاء مستعينين بتدريج المسرح. وهناك نوع ثالث من أنواع الانطفاء وهو الانطفاء المتماثل Symmetrical extinction ويشاهد عندما يكون مقطع المعدن معيني الشكل أو مربع. وسنوضح أنواع الانطفاء بالتفصيل في شرحنا للبلورات ثنائية المحور.

وللمعادن أحادية المحور انطفاء موازى أو متماثل وذلك نتيجة لطبيعة توجيهها البصري وانطباق محورها البصري على المحور البلوري جـ ووجود المحاور البلورية الأفقية المتساوية في المقطع الاستوائي الدائري.

علامة الاستطالة Sign of elongation

قد تستطيل بلورات المعادن غير الأيزوتروبية أثناء نموها في اتجاه ما، وغالباً في اتجاه أحد المحاور البلورية، وتأخذ في المقطع الرقيق شكل مستطيل. وفى بعض الأحيان تنمو في اتجاه عمودي على اتجاه الحور البلوري جـ وتظهر في هيئة مسطحة Flattened. وتسمى هذه الظاهرة استطالة Elongation وهى صفة مميزة للمعدن إذا وجدت فيه.

غالباً تستطيل البلورات أحادية المحور في اتجاه محورها البلوري جـ. فإذا كان اتجاه ذبذبة المركبة السريعة موازيا لاتجاه الاستطالة توصف بأنها سريعة الطول length fast ويقال أن لها علامة استطالة سالبة Negative. أما إذا كان اتجاه الذبذبة البطيئة موازيا لاتجاه الاستطالة، فتوصف البلورة بأنها بطيئة الطول length slow ويقال أن لها علامة استطالة موجبة Positive.

التعرف على نوع الذبذبة: سريعة أم بطيئة

يفيدنا التعرف على نوع الذبذبة (سريعة أم بطيئة) في دراسة كثير من الخواص البصرية للمقاطع غير الأيزوتروبية مثل قياس زاوية الانطفاء أو تعيين علامة الاستطالة وأحياناً في معرفة رتبة لون التداخل في حالة المقاطع التي لها ألوان تداخل من الرتبة الأولى نستعين شريحة الجبس أو الميكا في التعرف على نوع الذبذبة، أما في حالة المقاطع ذات الألوان العالية في الرتبة فإننا نستخدم وتد الكوارتز في معرفة نوع الذبذبة... ويمكن تلخيص الخطوات التي تتبع في معرفة نوع الذبذبة فيما يلي:-

1. عين لإتجاهى الذبذبتين في مقطع المعدن بواسطة وضع الانطفاء، حيث أن في هذا الوضع تشير الشعرتان المتعامدتان إلى لإتجاهى الذبذبتين الرئيسيتين في المقطع.
2. نضع الذبذبة المطلوب معرفتها في الوضع 45 من وضع الانطفاء: أي موازيا اتجاه فتحة الإضافات في الميكروسكوب، حيث يكون لون تداخل المقطع في هذه الحالة أوضح ما يمكن.
3. أدخل شريحة الجبس في فتحة الإضافات، في هذه الحالة ينطبق إتجاها ذبذبتي شريحة الجبس مع لإتجاهى ذبذبتي المقطع. لاحظ التغير في لون تداخل شريحة الجبس (أحمر بنفسجي رتبة أولى).
4. قد يعلو لون تداخل شريحة الجبس ويصبح ازرق رتبة ثانية. يوصف هذا التغير بأنه إضافة Addition، أي أضيف سمك مقطع المعدن إلى سمك شريحة الجبس، وبذلك تزيد رتبة لون التداخل الناتج. في هذه الحالة تكون الذبذبة السريعة لشريحة الجبس موازية الذبذبة السريعة للمقطع، وكذلك الذبذبة البطيئة للجبس موازية الذبذبة البطيئة للمقطع. أي سريع مع سريع وبطئ مع بطئ.

5. قد يهبط لون تداخل شريحة الجبس ويصبح أصفراً من الرتبة الأولى ويوصف هذا التغير بأنه طرح Subtraction، أي طرح سمك المقطع من سمك شريحة الجبس، وعليه تقل رتبة لون التداخل الناتج. في هذه الحالة تكون الذبذبة السريعة لشريحة الجبس موازية الذبذبة البطيئة للمقطع، وكذلك تكون الذبذبة البطيئة للجبس موازية الذبذبة السريعة للمقطع، أي سريع مع بطئ وبطئ مع سريع.

وإذا فرض وكان لون تداخل المقطع أحمراً بنفسجي من الرتبة الأولى، أي مثل لون شريحة الجبس، يلاحظ انه في حالة الطرح يتلاشى لون التداخل نهائياً ويصبح أسودا نتيجة عملية التعادل Compensation، حيث يتعادل فرق المسار الناتج عن المقطع مع فرق المسار الناتج عن شريحة الجبس، أو يتعادل الدور الذي يقون به المقطع مع الدور الذي تقوم به شريحة الجبس.

وحيث أن لإتجاهى ذبذبتي شريحة الجبس معروف ومحفور عليها، إذن يمكن معرفة نوع ذبذبة المقطع الموازية لها. كذلك يمكن استخدام شريحة الميكا ووتد الكوارتز لمعرفة نوع الذبذبة بنفس الخطوات السابقة مع المقاطع التي تناسبها في ألوان التداخل.

تعيين معاملي الانكسار في البلورات أحادية المحور

بواسطة طريقة الغمس، التي سبق شرحها، يمكن تعيين معاملي الانكسار nO ، nE في البلورات أحادية المحور والوصول إلى اتفاق Matching بين معاملي انكسار البلورة ومعاملي انكسار سائلين للغمس. ولقياس معاملي الانكسار في البلورات أحادية المحور نتبع الخطوات الآتية:-

لقياس معامل الانكسار العادي، نبحث عن الحبيبات التي تكون مظلمة (أيزوتروبية) بين المستقطبين المتعامدين، حيث هذه الحبيبات مقطوعة عمودية على المحور البصري وبذلك يوازى المحور البصري فيها محور الميكروسكوب. أيضاً تظهر هذه المقاطع المستوى الاستوائي في البلورات أحادية المحور التي تحتوى فقط على المركبة العادية. في هذا الوضع يمكن قياس معامل الانكسار العادي في أي موضع من مواضع دوران المسرح. وذلك باستخدام طريقة الغمس حتى نحصل اتفاق بين معامل انكسار السائل المعلوم ومعامل الانكسار العادي للمعدن باستخدام طريقة خط بيكا أو الإنارة المركزية أو الإنارة المائلة، كما سبق شرحه في تعيين معامل الانكسار.

ولقياس معامل الانكسار غير العادي، ندخل المحلل في مجال الرؤية ونبحث عن الحبيبات التي تعطى أعلى لون تداخل، ففي هذه الحالة ترقد الشريحة ومحورها البصري يوازى مسرح الميكروسكوب ويكون مقطع الشريحة موازياً للمحور البصري وهذا المقطع يمثل المستوى الرئيسي الذي يحتوى على المركبة العادية وغير العادية. وإذا أديرت الحبيبة فإنها تنطفئ عندما يوازى إتجاها الذبذبة العادية (nO) وغير العادية (nE) فيها لإتجاهى ذبذبة المستقطب والمحلل. ندير الحبيبة إلى وضع الانطفاء ثم نخرج المحلل من مجال الرؤية، ونلاحظ خط بيكا عند حافتي الحبيبة الموازيتين للمستقطب. فإذا كان معامل الانكسار لهذه الذبذبة لا يزال متفقا مع سائل الغمس لمعامل الانكسار العادي، فمعنى ذلك أن اتجاه الذبذبة العادية في هذا الوضع يوازى اتجاه ذبذبة المستقطب، وعندئذ يجب دوران المسرح 90 لتكون الذبذبة غير العادية في الحبيبة موازية للمستقطب ونجرى اختبار بيكا، وبتتابع الغمس واختبار خط بيكا في سوائل مختلفة يقاس معامل الانكسار غير العادي (nE) للحبيبات التي تظهر أعلى معامل انكسار. ومن الملاحظ أن معامل الانكسار الذي يتغير من حبيبة إلى أخرى هو في الواقع المعامل $\bar{nE}$ المعامل غير العادي المتغير نتيجة المقاطع المختلفة في المعدن) الذي يكون أكبر أو أصغر من المعامل العادي (nO). وللحصول على قيمة معامل الانكسار غير العادي الرئيسي (nE) يجب تحريك الحبيبات في السائل واختبارها في سوائل غمس مختلفة حتى نتأكد من الحصول على القيمة الكبرى أو الصغرى لمعامل الانكسار المتغير ($\bar{nE}$).

فإذا كانت قيمة nE أكبر من nO فإن البلورة تكون موجبة، أما إذا كانت قيمة nE أصغر من nO فإن البلورة تكون سالبة.

البلورات أحادية المحور في الضوء المستقطب المتجمع

Uniaxial crystals in convergent polarized light

يمكن تحويل الميكروسكوب المستقطب إلى كونوسكوب Conoscope في وجود المستقطبين المتعامدين (المحلل والمستقطب) وذلك بإدخال عدسة مجمعة ذات بعد بؤري صغير في مسار الضوء أسفل مسرح الميكروسكوب مباشرة وكذلك بإدخال عدسة أخرى تسمى عدسة برتراند Bertrand lenses في مسار الضوء بين المحلل والعدسة العينية (أو أبعاد العدسة العينية عن مسار الضوء). ويمكن بهذا الترتيب البصري، مع استعمال عدسة شيئية عالية التكبير وذات فتحة عددية كبيرة، مشاهدة صور التداخل interference figures في البلورات غير الأيزوتروبية. تسمى العدسة المجمعة أسفل المسرح بمكثف الضوء وينتج منها ضوءاً، على هيئة مخروط، يتجمع في مستوى المقطع الموجود على مسرح الميكروسكوب. وتحدث صورة التداخل نتيجة لتداخل الموجات الضوئية الخارجة عن المحلل (كما في حالة ألوان التداخل).

كيفية الحصول على صور التداخل

يمكن الحصول على صور التداخل بإتباع الخطوات التالية:-

1. مركزة الميكروسكوب وضبط الإنارة.
2. التأكد من تعامد لإتجاهى استقطاب المستقطب والمحلل وتطابقهما على الشعرتين المتعامدتين بالعدسة العينية.
3. وضع مقطع البلورة عند تقاطع الشعرتين المتعامدتين.
4. إدخال مكثف الضوء (العدسة المجمعة) في مسار الضوء أسفل المسرح.
5. ضبط صورة المقطع في مدى الرؤية الواضحة باستخدام عدسة شيئية عالية التكبير وذات فتحة عددية كبيرة.
6. إدخال عدسة برتراند في مسار الضوء أو أبعاد العدسة العينية. لاحظ صورة التداخل الناتجة تكون هذه الصورة صغيرة وعلى درجة كبيرة من الوضوح في غير وجود العينية وعدسة برتراند، إلا أن وجود العينية وبها الشعرتين المتعامدتين ضرورة لازمة في دراسة صور التداخل ، لاسيما إذا كانت مائلة ومركزها خارج مجال الرؤية.

أهمية دراسة صور التداخل

لصور التداخل أهمية كبرى في دراسة بصريات المعادن ويمكن بواسطتها:-

1. تمييز المقاطع الأيزوتروبية والغير أيزتروبية ، ومعرفة هل هي مقاطع في بلورات مكعبية (ليس لها صور تداخل)، أو مقاطع في بلورات أحادية المحور أو ثنائية المحور عمودية على المحور البصري.

2. التمييز بين البلورات أحادية المحور وثنائية المحور.
3. تعيين العلامة البصرية للمقاطع غير الأيزوتروبية ومعرفة ما إذا كانت موجبة أو سالبة.
4. معرفة التوجيه البصري للمواد غير أيزوتروبية، أي معرفة اتجاه الذبذبات الرئيسية لمعاملات الانكسار.
5. قياس الزاوية بين المحورين البصريين (الزاوية البصرية) في البلورات ثنائية المحور البصري.
6. معرفة قرينة الانكسار المزدوج للمعادن غير أيزوتروبية.

صور تداخل البلورات أحادية المحور Uniaxial interference figures

تتكون صور التداخل في البلورات أحادية المحور من أذرع سوداء أو رمادية تسمى ايزوجيرات Isogyres قد تتعامد على هيئة صليب أذرعه موازية لمستويين ذبذبة المستقطب والمحلل وقد تكون نقطة تقاطع الأذرع (تقاطع الصليب) في مجال الرؤية في الميكروسكوب أو خارجه. كما تتكون صور التداخل من منحنيات لونية تسمى Isochromatic تكون عبارة عن أقواس دوائر أو دوائر كاملة أو مساحات ملونة موزعة بانتظام بالنسبة للايزوجيرات.

لا يختلف تفسير حدوث المنحنيات اللونية في صور التداخل كثيراً عن تفسير حدوث ألوان التداخل حيث يتوقف كلاهما على فرق مسار مركبتي الضوء الخارجتان من مقطع البلورة تحت الدراسة. وتتوقف هذه الألوان الداخلية على سمك وتوجيه وقرينة انكسار المعدن. فإذا تغير السمك وبقيت العوامل الأخرى ثابتة، كما في وتد الكوارتز، تتكون أشرطة لونية بدلا من لون تداخل واحد منتظم في المقطع. والسبب في ذلك هو اختلاف فرق المسار من شعاع غلى الأخر وذلك لاختلاف طول المسار الذي يسلكه كل شعاع.

وفى الكونوسكوب يختلف فرق المسار الذي يسلكه كل شعاع، ولا يرجع ذلك إلى اختلاف السمك لأن مقطع المعدن ثابت السمك، بل يرجع إلى تغيير زاوية السقوط لكل شعاع. يتم تغير زاوية سقوط الأشعة بواسطة العدسة المجمعة أسفل المسرح (مكثف الضوء) التي تخرج منها الأشعة متجمعة في هيئة مخروط (شكل 45). أي أن أشعة الضوء التي تغادر المقطع يكون بينها فرق مسار يختلف باختلاف زاوية سقوط الضوء في المخروط الضوئي، الخارج من العدية المجمعة، ويزداد فرق المسار هذا من الداخل إلى الخارج أي بازدياد زاوية ميل الأشعة الساقطة على مقطع البلورة (كلما زاد ميل الأشعة الساقطة كلما زاد طول مسارها أثناء عبورها مقطع المعدن وبالتالي يزداد معه فرق المسار). لذلك فإن الضوء المنتقل عن طريق الأشعة الموجودة في الأجزاء الخارجية لمخروط الضوء المتجمع فوق العدسة المجمعة ينتج تداخلاً لونياً أعلى في الرتبة من الضوء المنتقل عن طريق الأشعة في الأجزاء الداخلية من المخروط الضوئي.

في الشكل (46 – أيمن) يوضح مخروطات الضوء الخارج من مقطع المعدن وله فرق مسار يختلف باختلاف ميل الأشعة. لاحظ أن فرق المسار يزداد بازدياد زاوية ميل الأشعة بالنسبة للمحور البصري ولكنه متساوي في المخروط الواحد.

الشكل (46 – أيسر يوضح مسقطا، على السطح العلوي لمقطع المعدن، لمخروطي الأشعة العادية وغير العادية الناتجين من الانكسار المزدوج للضوء الساقط على السطح السفلى للمعدن. تدل الأسهم على اتجاه ذبذبة المركبتين، حيث أن الأشعة غير العادية تتذبذب في اتجاه نصف قطر الدائرة (المقطع الرئيسي الذي يشمل المحور البصري ويمر بمركز الدائرة في الشكل)، بينما الأشعة العادية تتذبذب في اتجاه

المماس لنصف القطر (مستوى عمودي على المقطع الرئيسي). من الملاحظ أن الانطفاء يحدث في اتجاه ذبذبة المستقطب (ب ب¯) واتجاه ذبذبة المحلل (ل ل¯).

صورة التداخل المميزة للبلورات أحادية المحور ونشأتها

تتوقف صورة التداخل الناتجة مقاطع لبلورات أحادية المحور على اتجاه المقطع في البلورة. أي عما إذا كان المقطع عمودياً في المحور البصري أو مائلاً عليه أ موازياً له.

ويمكن توضيح نشأة صور التداخل في البلورات أحادية المحور بدراسة مقطع عمودي على المحور البصري والذي يظهر على هيئة صليب أسود أو رمادي ينطبق مركزه مع تقاطع الشعرتين المتعامدتين في العدسة العينية وتحيط بمركزه مساحات أو دوائر لونية (عند استخدام الضوء الأبيض) ... ويمكن تلخيص صور التداخل في البلورات أحادية المحور فيما يلي:-

1. صورة تداخل المحور البصري الممركزة Centered optic axis figure

وتنتج هذه الصور من المقاطع العمودية تماماً على المحور البصري (أي المحور البلوري جـ) وهذه المقاطع توازى في نفس الوقت المسطح القاعدي (Basal pinacoid) في البلورة أحادية المحور (بلورات فصائل الطولين – السداسي والرباعي والثلاثي) وتظهر صورة التداخل على هيئة صليب أسود أو رمادي ينطبق مركزه مع تقاطع الشعرتين المتعامدتين في العدسة العينية (شكل 47) وتظهر دوائر أو مساحات لونية حول مركز الصليب (وينطبق مركز الصليب أيضا مع نقطة خروج المحور البصري من مقطع البلورة) ويظل هذا الصليب ثابتاً في مكانه لا يتحرك عند دوران مسرح الميكروسكوب.

شكل (45) ضوء متجمع في هيئة مخروط بواسطة العدسة المجمعة

شكل (46) مخروطات الضوء في البلورات أحادية المحور.

أ. مخروطات ضوء ، كل منها متساوي في فرق المسار، مرتبة حول المحور البصري في بلورة معدن أحادى المحور. ب. مسقط على السطح العلوي للمعدن لمخروطي الأشعة العادية (O) وغير العادية (E) الناتجة من الانكسار المزدوج لمخروط ضوء ساقط على السطح السفلى لمقطع المعدن.

شكل (47) صورة تداخل المحور البصري الممركزة.

أ. الايزوجير غير واضح الحدود ولا تظهر حلقات أيزوكروماتية

ب. الايزوجير واضح الحدود وتظهر معه الحلقات الأيزوكروماتية.

ويوضح شكل (48) كيفية نشأة صورة تداخل المحور البصري (نشأة الصليب الأسود). ويمثل هذا الشكل جزءاً من صورة تداخل المحور البصري في الضوء أحادى اللون الخارج من مقطع البلورة وله فرق مسار مساو λ ، $\lambda\ ^1/_2$.

ويجب التذكير مرة أخرى هنا أنه في حالة صور التداخل المتماثلة حول المحور البصري تقع جميع نقط المركبات الضوئية التي لها نفس فرق المسار على محيط دائرة واحدة (حيث يكون الضوء على هيئة مخروط في حالة تحويل الميكروسكوب إلى كونوسكوب أنظر شكل 46.

وكما هو الحال في ألوان التجاهل فإن مركبات الضوء الخارجة من مقطع البلورة ولها فرق مسار قدره nλ – حيث n عدد صحيح – تظهر مظلمة نتيجة لتداخلها الدمى. وبهذه الطريقة تتكون الحلقة المظلمة حول نقطة تقاطع الصليب. وعندما يساوى فرق المسار λ 1/2 (أو المضاعفات الفردية لنصف طول الموجة) فإن هذه الأجزاء من صور التداخل تظهر مضيئة نتيجة للتداخل البنائي. وبهذه الطريقة تتكون الحلقات المضيئة حول مركز الصليب عندما يكون فرق المسار مساوياً λ 1/2، λ (1+1/2) ، λ (2+1/2) ... (وهكذا) متبادلة مع الحلقات المظلمة التي يكون فرق مسارها مساوياً صفراً ، λ، 2λ، 3λ... (وهكذا). وكما هو ملاحظ من الشكل 48 فإن أتساع المركبات المتداخلة – والخارجة من المحلل تبلغ أقصاها في الوضع 45º ويقل تدريجياً – كلما أقترب لإتجاهى ذبذبة المركبات الضوئية في مقطع البلورة مع لإتجاهى المستقطب والمحلل – حتى تبلغ قيمتها صفراً في الوضع الموازى (أي انطباق اتجاه الذبذبتين في مقطع البلورة مع اتجاهي المستقطب والمحلل).

ومن ذلك نستنتج أنه عند تلاقى الحلقات (سواء كانت مظلمة أو مضيئة) مع لإتجاهى ذبذبة المستقطبين المتعامدين (المحلل والمستقطب) يكون أتساع الموجة المحصلة – الناتجة من تداخل الضوء الخارج من المحلل – يساوى صفرا ولذلك يظهر الصليب الأسود في لإتجاهى ذبذبة المستقطبين المتعامدين.

وكما هو الحال في تكوين ألوان التداخل فإنه عند استخدام الضوء الأبيض تظهر الحلقات اللونية (حلقات أيزوكروماتية) حول مركز الصليب بدلا من الحلقات المضيئة والسوداء المتبادلة التي تظهر عند استخدام الضوء أحادى اللون. ويعلو لون هذه الجلفات في الرتبة كلما ابتعدنا عن نقطة خروج المحور البصري (مركز الصليب). وتتدرج الألوان حول المحور البصري إلى الخارج من اللون الرمادي إلى اللون الأبيض ثم الأصفر فالأحمر (نهاية الرتبة الأولى) ثم البنفسجي فالأزرق فالأحمر (من ألوان الرتبة الثانية) ... الخ.

شكل (48) مساقط اتجاهية توضح نشأة الصليب الأسود والحلقات المظلمة والمضيئة.

أ. مسقط لإتجاهى يبين الكونوسكوب على مقطع بلورة معدن أحادى المحور, صورة تداخل المحور البصري، فرق المسار يساوى λ1.

ب. مسقط لإتجاهى يبين تأثير الكونوسكوب على مقطع بلورة معدن أحادى المحور. صورة تداخل المحور البصري، فرق المسار يساوى 213 λ.

جـ. مسقط لإتجاهى يبين نشأة الصليب والحلقات المظلمة والمضيئة معا لصورة تداخل المحور البصري. أي الحالتين أ ، ب معا.

وجدير بالذكر أن عدد الحلقات الملونة في صورة التداخل أو المسافة بين نقطة خروج المحور البصري ونهاية الرتبة الأولى (أحمر الرتبة الأولى) يتوقف على عدة عوامل أهمها:

1. سمك مقطع البلورة (المعدن).
2. قوة (قرينة) الانكسار المزدوج للمعدن.
3. التوجيه البصري لمقطع البلورة.
4. الفتحة العددية للعدسة الشيئية ومكثف الضوء (العدسة المجمعة أسفل المسرح).

فكلما زاد سمك مقطع بلورة المعدن أو زادت قرينة الانكسار المزدوج للمعدن أو كلاهما زاد عدد الحلقات الملونة وتزاحمت حول الصليب الأسود (للايزوجيرات المكونة له) وأصبح أكثر وضوحاً. وكذلك يزداد عدد الحلقات بازدياد الفتحة العددية للعدسة الشيئية والعدسة المجمعة. وبديهي أنه في حالة استخدام ضوء أحادى اللون فإن عدد لحلقات السوداء والمضيئة المتبادلة يزداد بنقص طول موجة الضوء المستخدم.

وكما سبق أن ذكرنا فإن الضوء يمر في اتجاه المحور البصري دون أن يعانى أي انكسار مزدوج لذلك نجد أن شرائح البلورات (المعادن) المقطوعة عموديا على المحور البصري تظل مظلمة بين المستقطبين المتعامدين مع دوران المسرح في حالة الارثوسكوب (بدون استخدام العدسة المجمعة). لذلك عند البحث مقطع أو حبيبة أو كسرة من المعدن للحصول بواسطتها (منها) على صورة تداخل ممركزة للمحور البصري يجب اختيار تلك الحبيبة التي تظل سوداء (أو رمادية) أثناء دورة كاملة لمسرح الميكروسكوب.

ويجب ألا يغيب عن الذهن أن شرائح البلورات (المعادن) ذات قوة الانكسار المزدوج العالية والمقطوعة عمودياً على المحور البصري تنفذ كمية (ليست قليلة) من الضوء خاصة عند مشاهدتها تحت الميكروسكوب باستخدام عدسة شيئية متوسطة أو عالية القوة. لذلك في هذه الحالة يجب اختيار الحبيبة المناسبة بعد تضييق فتحة الإضاءة في العدسة المجمعة (مكثف الضوء) أسفل المسرح.

2. صورة تداخل المحور البصري غير الممركزة off centered optic axis figures

تنتج هذه الصور مع المقاطع المائلة على المحور البصري (أو المحور البلوري جـ) وفى هذه الصور لا ينطبق مركز الصليب الأسود مع مركز مجال الرؤية في الميكروسكوب. وقد يكون مركز صورة التداخل داخل أو خارج مجال الرؤية في الميكروسكوب (حسب درجة ميل المقطع على المحور البصري). عند دوران المقطع، في مثل هذه الحالات، يتحرك المحور البصري حركة في هيئة مخروط كما تتحرك نقطة خروجه من المقطع في مسار دائري وتتحرك صورة التداخل تبعا لذلك بأكملها في مسار دائري حول مركز مجال الرؤية في الميكروسكوب. ويوضح شكل (49) تأثير دوران مقطع بلورة مائلاً قليلا على اتجاه المحور البصري حيث تقع نقطة خروج المحور البصري (تقاطع الصليب الأسود) في مجال الرؤية. ويلاحظ أن أذرع الصليب تتحرك في مجال الرؤية كقضبان Bars أو خطوط مستقيمة موازية لمستوى ذبذبة المستقطب أو المحلل. أو بعبارة أخرى تتحرك صورة التداخل بأكملها في مسار دائري حور مركز مجال الرؤية.

يمثل شكل (50) حالة أخرى يكون فيها المقطع أكثر ميلا على اتجاه المحور البصري حيث يقع مركز صورة تداخل المحور البصري خارج مجال الرؤية. عند دوران المقطع تتحرك نقطة خروج المحور البصري (مركز صورة التداخل) في هيئة دائرة تقع حدودها خارج مجال الرؤية، وفى هذه الحالة نشاهد في مجال الرؤية ذراعاً واحداً فقط من أذرع الصليب، ومع الدوران يعبر الذراع – وهو مستقيم تقريباً – مجال الرؤية ليخرج منه، ويدخل فيه ذراع آخر متعامد على الذراع السابق. وتتم هذه العملية الأخيرة دائماً من جوانب مجال الرؤية (في موازاة المستقطب والمحلل) إلا من الأركان. وفى هذه الحالة يمكن تحديد موضع خروج المحور البصري بالتقريب بدراسة هيئة وحركة أذرع الصليب الأسود عند دوران المسرح، حيث تشير الأطراف الرفيعة للصليب الأسود إلى موقع المحور البصري كذلك تحيط المنحنيات اللونية (إن وجدت) بنقطة خروج المحور البصري أيضاً.

3. صور التداخل الخاطفة Flash Figure

تنتج هذه الصور من المقاطع الموازية للمحور البصري (أو المحور البلوري جـ). حيث أن المقاطع الموازية على المحور البصري تعطى أعلى ألوان تداخل لهذا المعدن في الارثوسكوب حيث تبلغ قوة الانكسار المزدوج أقصاها في المقاطع الموازية تماما للمحور البصري. وتتكون هذه الصور في وضع التوازي (أي عندما يوازى المحور البصري اتجاه الذبذبة في المستقطب أو

شكل (49) صورة تداخل المحور البصري غير الممركزة.

أ. مجسم صورة تداخل المحور البصري غير الممركزة ، لا تنطبق نقطة خروج المحور البصري على مركز مجال الرؤية

ب. تأثير دوران المقطع في اتجاه عقرب الساعة على صور تداخل المحور البصري غير ممركزة. نقطة خروج المحور البصري تقع في مجال رؤية الميكروسكوب

شكل (50) صورة تداخل المحور البصري غير الممركزة.

أ. مجسم معاملات الانكسار بالنسبة لمقطع البلورة وصورة تداخل المحور البصري غير الممركزة ، نقطة خروج المحور البصري تقع خارج مجال الرؤية.

ب. تأثير دوران المقطع في اتجاه عقرب الساعة على صورة تداخل المحور البصري غير الممركزة، نقطة خروج المحور البصري تقع خارج مجال رؤية الميكروسكوب.