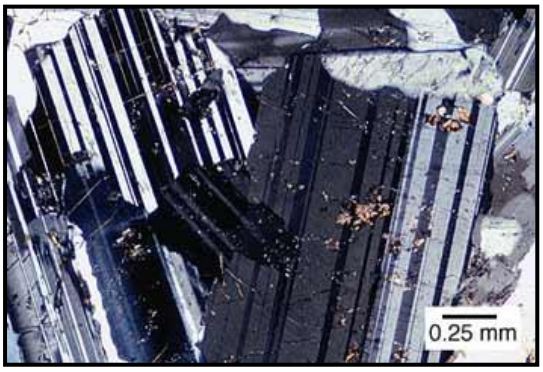
Geology Dept.
Science Coll., Basrah University

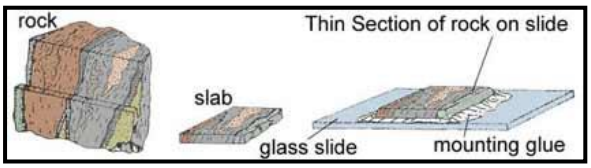
قسم علم الأرض
كلية العلوم- جامعة البصرة

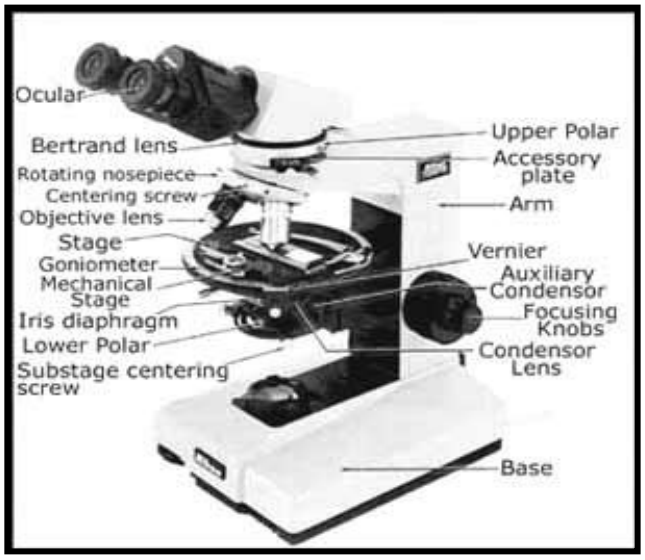
بصرية المعادن

ملاحظات في دراسة الشرائح الرقيقة للمعادن والصخور

Optical Mineralogy







إعداد

باسم حميد سلطان ألعبيدي

2016م

قسم علم الأرض-كلية العلوم-جامعة البصرة

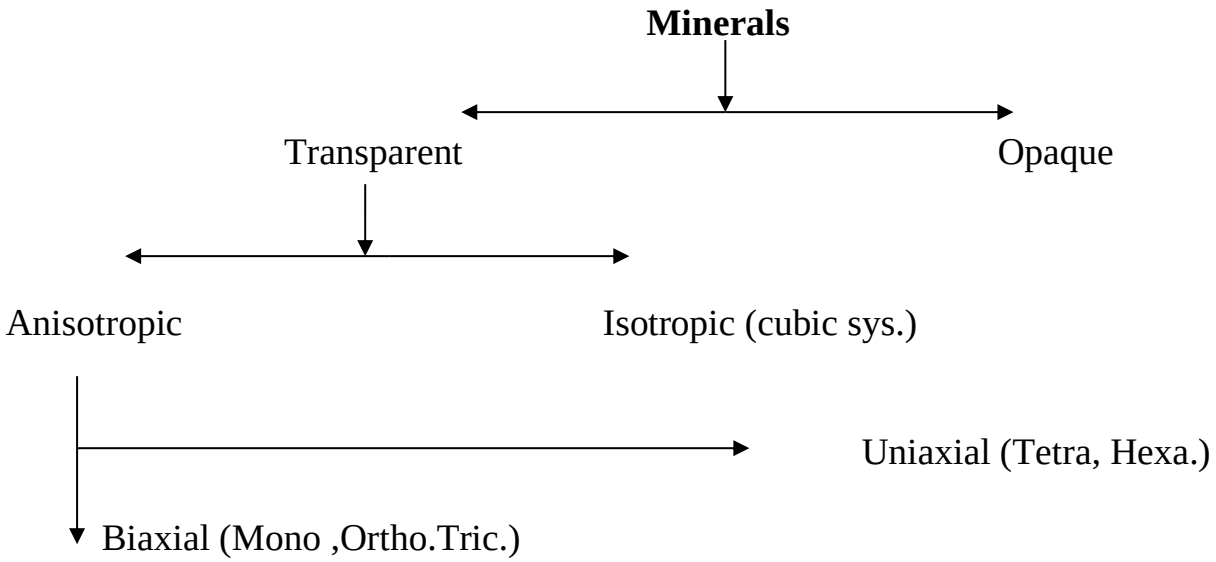
Soltanbasim@gmail.com

بصرية المعادن
Optical Mineralogy

مقدمة عن بصرية المعادن (دراسة المعادن بصريا) :-

- أسس دراسة المعادن (فيزيائية ،كيميائية ،بصرية):-
- الضوء المستقطب(Polarized light) والضوء الاعتيادي (Ordinary light):-

* أنواع المعادن بصريا:-



* المجهر :- Microscope

- مبدأ عمل المجهر:-
- أنواع المجاهر:-

أ- حسب نوع الضوء المستخدم:-

1- المجهر الاعتيادي (البايولوجي):- Ordinary Micro.
2- المجهر المستقطب :- Polarized Micro.
3- مجهر الخامات المعدنية :- Ore Micro.

ب- حسب مصدر الضوء :-

1- مجهر اختراقي الضوء:- Transmitted Micro.
2- مجهر عاكس للضوء :- Reflected Micro.

ج- حسب عدد العدسات العينية:-

1- مجهر أحادي العينية:- Uni ocular Micro.

2- مجهر ثنائي العينية :- Binocular Micro.
3- مجهر ثلاثي العينية:- Tri ocular Micro

* المجهر المستقطب:- Polarized Micro.
* أجزاء المجهر:-

1- الأجزاء الثانوية :- Secondary parts
2- الأجزاء الرئيسة:- Primary parts
3- الأجزاء الإضافية :- Accessory parts

1- الأجزاء الثانوية:- Secondary parts

أ- القاعدة :- The base
ب- الذراع:- The stand
ج- المسرح :- The stage
د- أنبوب المجهر :- The tube
ويحوي ضابط السرعة الخشن والناعم (Coarse & Fine adjustment).
ر- مصدر الإضاءة :-The light source

2- الأجزاء الرئيسة (الأجزاء البصرية):- Primary Parts

أ- نظام ما تحت المسرح:- Under stage system
1- العدسة المكثفة(condensing lens) للحصول على حزمة مخروطية من الضوء.
2- حاجب الضوء(Diaphragm) للسيطرة على كمية الضوء الداخل للمجهر.
3- المستقطب(Polarizer) عدسة مستقطبة لتحويل الضوء الاعتيادي إلى ضوء يتذبذب باتجاه واحد (مستقطب).

ب- نظام ما فوق المسرح:- Over stage system

1- العدسات الشيئية (Objective lenses).
2- فتحة الشرائح المساعدة (Accessory slots).
3- المحلل (Analyzer).
4- عدسة بيرتراند (Bertrand lens).
5- العدسات العينية (Ocular or eyepiece lenses).

3- الأجزاء الإضافية :-
1- الشرائح المساعدة(Accessory plates) (المايكا والجبس والكوارتز).
2- محولات كهربائية (Electric).
3- كاميرا تصوير (Photo camera).
4- مسامير المركزة (Centering Pins).

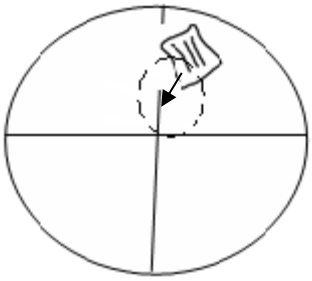
* ضبط المجهر:- Adjusting the microscope

*مركزة مجال الرؤيا في المجهر المستقطب :-

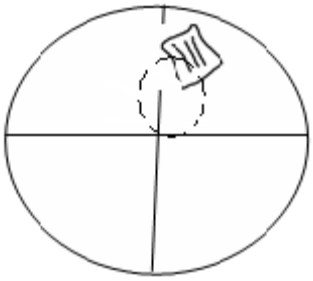
يكون مجال الرؤيا ممركزا عندما ينطبق محور الدوران للمسرح مع محور أنبوب المجهر وإذا لم يكن ممركزا فيجب أجراء عملية المركزة لأجل دقة العمل ، وهنالك ثلاث خطوات متسلسلة لمركزة مجال الرؤيا:-

أ – مركزة العدسات الشيئية :- Centering of the objectives

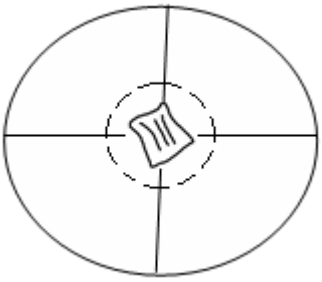
1- نختار حبيبة صغيرة وواضحة ونضعها في مجال الرؤيا وندور المسرح بحيث تصبح الحبيبة في أبعد نقطة عن المركز.
2- بواسطة مسماري المركزة للعدسة الشيئية نحرك الحبيبة ونجلبها إلى منتصف المسافة بين موقعها بعد التدوير وبين المركز.
3- بواسطة اليد نحرك الشريحة لجلبها (الحبيبة) إلى المركز وندور المسرح الدوار فإذا لم تتم المركزة بصورة صحيحة ، نعيد الخطوات (1-3) إلى أن تتم مركزة المجهر.



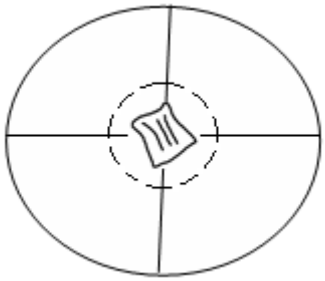
يحرك المعدن الى نقطة المنتصف بمسماري المركزة



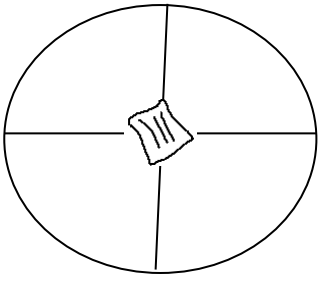
المجهر غير ممركز



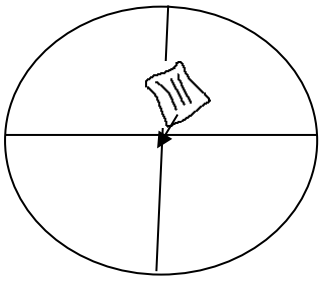
المجهر ممركز



المجهر ممركز



المعدن في نقطة تقاطع للشعيرتين



يحرك المعدن الى نقطة التقاطع بتحريك الشريحة

خطوات اجراء عملية المركزة للمجاهر المستقطبة

ب- مركزة تعامد المستقطب والمحلل :-

Perpendicularity of the Polarizer and Analyses

- بدون استخدام شريحة معدنية يكون المستقطبان متعامدان بصورة دقيقة عندما يصبح مجال الرؤيا مظلما بعد إدخال المحلل مجال الرؤيا ، ويكون مضاء عندما يكونان غير متعامدين ، وفي الحالة الثانية يحرك المستقطب إلى حين الوصول إلى العتمة التامة.

ج- ضبط تطابق الشعيرتين المتعامدين مع المستقطب والمحلل:-

- يجب أن يتفق اتجاه الذبذبة المفضل للمستقطب والمحلل مع الشعيرتين المتعامدين في العدسة العينية ، كما يجب أن تكون الشعيرتين المتعامدين في العدسة العينية باتجاه W-E , S-N وتستخدم هنا بلورة من معدن البايوتايت معروفة الاتجاه المفضل للذبذبة.

* الشرائح الدقيقة :- Thin sections

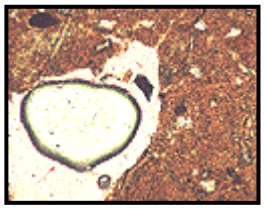
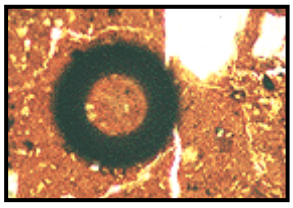
- العينات التي تصنع لها شرائح تكون على عدة أنواع :-

1- Bulk samples (consolidated).
2- Un consolidated samples.
3- Brittle samples.
4- Ore samples (polished sections).
5- Paleontological samples.

* طرائق تحضير الشرائح الرقيقة:- Preparing of thin sections

*** العينات المتماسكة :- Bulk Samples**

- سمك الشريحة الزجاجية (1.5) ملم.
- اللاصق المستعمل (Canada Palsam) معامل انكساره (1.577) .
- السمك المطلوب لرقيقة المعدن المصقول (0.03) ملم.

- يجب تجنب تكون فقاعات الهواء في الشريحة (الصورة) التي تؤثر على وضوح صورة المعدن.

* الصفات البصرية للمعادن تحت المجهر المستقطب :-

Optical properties of minerals under microscope:-

- هنالك صفات تدرس باستخدام المستقطب الأسفل فقط أي في الضوء المستقطب السوي (Plane polarized light) أو(P.P.L) ، وأخرى تدرس بعد إدخال المستقطب الأعلى أيضا في مسار الضوء أي عندما يكون المستقطبان متعامدين (المستقطب والمحلل) أو في حالة التعامد (Crossed polarized light) أو(X.P.L.).

* الصفات البصرية :- Optical properties

أ- P.P.L. properties :-

1- اللون والتغير اللوني:- Co lour & pleocroism
2- الشكل والهيئة :- Form & shape
3- الانفصام والتكسر:-Cleavage & Fracture
4- النتوء ومعامل الانكسار :- Relief & Refractive Index

ب- X.P.L. properties :-

1- الانطفاء وزاوية الانطفاء Extinction & Ex. angle
2- التنطق والتوأمة Zonation & Twining
3- التألق أو الوميض Twinkling
4- الشوائب والتحلل Inclusions & Alteration
5- علامة الاستطالة Elongation sing
6- قرنية الانكسار المزدوج وألوان التداخل Birefringence &Interference Colours
7- أشكال التداخل Interference figures

أولاً:- الصفات البصرية في الضوء المستقطب السوي:-

Plane polarized light properties (P.P.L.):-

1- اللون Colour والتغير اللوني Pleocroism :-

- اللون :- هو لون المعدن الذي يظهر فيه في الضوء الاعتيادي فقط أي بدون استخدام المحلل.
- التغير اللوني :- التغير في لون المعدن عند دوران المسرح ، ويعتمد على الاتجاهات الذبذبية للمعدن .

- وعلى هذا الاسلس يمكن وصف المعدن من ناحية صفة اللون بأنه أما أن يكون :-

1- عديم اللون Colourless وبدون تغير لوني كما هو في معدن Qz., Olivine, Gypsum.

2- المعدن يكون ملون ولكن بدون تغير لوني(Colour without pleocroism) وهذه المعادن هي :-

أ- المعادن التي تتبلور بنظام المكعب (Cubic system) مثل Fluorite , Garnet.

ب- المعادن التي تتبلور بنظامي الرباعي(Tetragonal) والسداسي (Hexagonal) عندما يكون عمودي القطع على المحور C مثل .Qz , Tourmaline.

3- المعدن يكون ملون ويمتلك تغيراً لونياً(Coloured with pleocroism) كما في معدن Tourmaline حيث يتغير لونه من الأخضرالى الازرق إلى البني الفاتح عند تدوير المسرح وعند قطعه بصوره غير عمودية على المحور C ، معدن Staurolite يكون اصفر متغير الشدة مع دوران المسرح.

2- الشكل Form والهيئة Shape:-

تقسم المعادن حسب الشكل إلى ثلاثة حالات رئيسية وهي :-

أ- معدن كامل الأوجه Euhedral (كل الأوجه واضحة وموجودة) مثل Garnet.

ب- معدن ناقص الأوجه Subhedral (أوجه واضحة وأخرى مخفيه أو عديمة) مثل Hornblende.

ج- معدن عديمة الأوجه Anhedral (لا تمتلك أوجه محددة) مثل .Qz.

- أما الهيئة المعدنية فهي بنوعين رئيسين :-

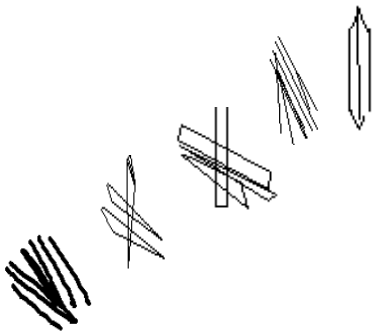
أ- متساوية الأبعاد equant، كما في الحالات التالية :-

1- في حالة بلورات المكعب مثل Garnet , Fluorite.

2- المقاطع العمودية على المحور C في بلورات السداسي والرباعي مثل Zircon.

3- المقاطع الناتجة من الانفصام المتعامد لبعض البلورات ذات الانفصام الجيد (انفصام باتجاهين أو ثلاثة) مثل Calcite .

ب- مختلفة الأبعاد Un equant :-



- معظم أشكال البلورات هي مختلفة الأبعاد وتعطي هيئات متعددة أهمها :

1- هيئة موشورية Prismatic مثل Tourmaline .

2- هيئة أبرية Needlelike مثل Sillimanite .

3- هيئة الواحية Tabular مثل Biotite .

4- هيئة نصلية Bladed مثل Kyanite.

5- هيئة ليفية Fibrous مثل Gypsum .

- إضافة إلى هيئات أخرى مختلفة .

ج_ غير منتظمة الشكل Irregular :- كما في العديد من المعادن.

3- الانفصام أو التشقق والمكسر:- Cleavage & Fracture

- الانفصام أو التشقق :- عبارة عن شقوق مستقيمة توازي حدود البلورة عادة، وهذه التشققات عادة تكون سميكة وعريضة وليس لها علاقة بالأوجه البلورية، وتقسم هذه الصفة في المعادن إلى الأنواع التالية:-

أ- المعادن الخالية من الانفصام (Un cleavaged minerals) مثل .Qz.

ب- المعادن التي تحوي انفصام (Cleavaged minerals) ، وتكون على ثلاثة حالات:

ت- معادن تحوي مجموعة واحدة من الانفصام (Set cleavage -1) .

1- معادن تحوي مجموعتين من الانفصام (Set cleavage -2) .

كل المعادن العمودية في مقاطعها على المحور C ، كما في Amphibole والبيروكسين Pyroxene، وإذا كانت غير عمودية تعطي مجموعة واحدة من الانفصام .

- مجموعة معادن الفلدسبار Feldspar وتكون الزاوية بين المجموعتين ْ90 .
- مجموعة معادن البيروكسين في المقاطع العمودية تكون الزاوية بين مجموعتي الانفصام ْ193 ، ْ87 أي قريب من التعامد.

- مجموعة معادن الفلدسبار في المقاطع العمودية تكون الزاوية ْ56 ، ْ124.

3 – ثلاث مجاميع من الانفصام (Set cleavage -3) .

- يكون للمعدن ثلاث اتجاهات متقاطعة من الانفصام .
- تحت المجهر نلاحظ بعدين فقط أو نلاحظ الثالث العمودي فقط ، أي انه يصعب مشاهدة مجاميع الانفصام الثلاثة في آن واحد ، ويكون الانفصام عادة بهيئتين:-

- متوازي مستطيلات .
- معينـــي .

- <u>التكـــســـر</u>:- عبارة عن خطوط متعرجة غير منتظمة وعميقة ولا توازي الأوجه البلورية، وتنتج أحيانا من التبريد السريع لبلورات المعدن أو خلال عملية تحلل المعدن كما فى معدن Olivine (تكسر شجري) أو Sanidine (تكسر مستقيم).

2- النتوء Relief ومعامل الانكسار Refractive index :-

<u>النتوء</u>:- يمثل درجة وضوح المعدن نسبة إلى المادة اللاصقة (كندا بلسم) ، أو نسبة إلى المعادن المحيطة .

- يعتمد النتوء على الفرق بين معامل انكسار المعدن ومعامل انكسار الكندا بلسم أو معامل انكسار المعادن المحيطة .
- ليس من الضروري أن يكون معامل انكسار المعدن عالٍ لكي يكون نتوءه عال .
- هنالك عده طرق لقياس النتوء :-

1- طريقة خـط بيك Becke's line method .
2- طريقة الإنـارة المـائلة Oblique illumination method.
3- طريقة الـغمس Immersion method.
4- الأجهزة المتطورة والحاسبات لقياس النتوء Computerized instrument.

* مـــقـــيـــاس الـــنـــتـــوء الـــدقـــيق للـــمـــعـــادن:-

No.	Relief	Refractive index	Example
1	High negative	< 1.5	Fluorite
2	Low	1.5 – 1.59	Gypsum
3	moderate	1.59 – 1.7	Apatite
4	High	1.7 – 1.75	Olivine
5	V.high	1.75 – 2.0	Zircon
6	Extreme	> 2.0	Rutile

- **تكون الصفة اعتماداً على درجة الوضوح ، وتستخدم عبارات نسبية أخرى أقل دقـة وهي :-**

- نتوء عالٍ High
- نتوء متوسط Moderate
- نتوء واطئ Low

المـعـــادن المـــعتمة : Opaque minerals

وهي المعادن التي لا تسمح بمرور الضوء خلالها لذلك تظهر معتمة سوداء في الضوء المستقطب الاعتيادي أو تحت المستقطبين المتعامدين ، ومن أهم أمثلتها :- معادن اكاسيد الحديد(Magnetite, Hematite, pyrite), chalcopyrite, Graphite, Sphalerite.

* المـعـــادن المتجـــانسة بصـرياً :- Isotropic Minerals

وهي معادن تصبح معتمة عند إدخال المحلل إلى مسار الضوء ، ومن أهم أنواعها:-
Garnet (Almendite, Melanite or Andradite), Fluorite, Spinel, Sodolite, Neosean, Opal,Volcanic glass.

-: Garnet -1

a-Almendite:-

- معدن شائع في الصخور المتحولة ، واهم صفاته:-
عديم اللون ،منتظم الشـكل كامل الأوجه متســاوي الأبعاد،نتوءه عال ،يسّـود تماماً تحت المستقطبين المتعامدين لأنه من المعادن المتجانسة بصرياً.
يحوي أحيانا شـــوائب من المغنتايت والكوارتز في داخله وتكون براقة واكاســـيد الحديد بصورة داكنة وهذه الشوائب تكون أحيانا كثيرة وكالمنخل في شكلها معطية ما يسمى بالنسيج المنخلي (Sieve Texture)، وأحيانا يحوي بعض الشقوق في داخله.

- Melanite or Andradite:-

- معدن شائع في الصخور النارية واهم صفاته:-
نفس مواصفات المعدن أعلاه Almendite (لونه بني وبدون تغير لوني)، نتوءه عال ،متساوي الأبعاد كامل الأوجه ،ويحوي ظاهرة التنطق التي تميزه عن Almendite فضلاً عن اللون.

(CaF2) -: Fluorite -2

- الانفصام مكعب أو ثماني الأوجه (نادر) ،أهم صفه فيه ينتشر في حافاته على شكل بلورات صغيره ذات أشكال مثلثة حادة والنتوء سالب عال ، أحيانا وردي اللون أو اصفر أو شفاف ويكون معتم تحت المستقطبين المتعامدين.

-:Spinal -3

- يكون عديم اللون أو اخضر أو زيتوني ، غير كامل الأوجه نتوءه عال ،معتم واسود تحت المستقطبين ، تكون عادة بشكل حبيبات عديمة أو كاملة الأوجه.

-: Sodolite -4

- يتواجد بشكل حبيبات صغيرة موجودة ضمن كتل تشبه العناقيد .
- عديم اللون أو رصاصي أو وردي .
- متساوي الأبعاد كامل الأوجه ، نتوءه عال – متوسط.

-: Neosean or Nosean -5

- بلورات ناقصة الأوجه تحوي حافات متآكلة عديم اللون غالباً.
الحافات داكنة عميقة (بني داكن).
وجود ما يشبه القنوات الداخلية (الصفة المميزة).

($SiO_2.nH_2O$) -: Opal -6

-هو سليكا عديمة التبلور .
يتواجد بهيئة عروق أو فواصل ما بين حبيبات معدن الكوارتز أو بأشكال عنقودية أو كلوية ، عديم اللون معتم واللمعان لحبيبات الكوارتز .

-: Volcanic glass -7

- يتواجد أحيانا كشوائب داخل معدن اللوسايت (Leucite) أو كمادة بينية في صخرة أل(Obsidian) النارية التي كلها عبارة عن زجاج بركاني ، النتوء واطئ، عديم اللون إلى رصاصي فاتح .

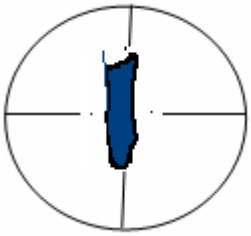
* الصفات البصرية للمعادن تحت المستقطبين المتعامدين (X.P.L):-

1- الانطفاء (العتمة) وزاوية الانطفاء :- Extinction & Extinction angle

الانطفاء :-وهو موقع اكبر عتمة للمعادن غير المتجانسة بصرياً تحت المستقطبين المتعامدين ، وعادة ما يصبح المعدن في موقع انطفاء (4) مرات خلال دوران المسرح دورة كاملة .
- كلما تحرك المعدن 45° تتغير حالة الانطفاء وتعود مرة أخرى .
- المعادن المتجانسة بصرياً تصبح معتمة تحت المستقطبين المتعامدين وتبقى في حالة عتمة كاملة أثناء تدوير المسرح .

* أنواع الانطفاء :-

A- الانطفاء المتوازي: - Parallel Extinction
- يصبح المعدن في حالة انطفاء كامل عندما يكون طول المعدن أو حافة المعدن أو الانفصام موازية لإحدى الشعيرتين المتعامدين (زاوية الانطفاء = صفر) كما في معادن Zircon, Biotite.



B- الانطفاء المائل: - Oblique Extinction
- يحصل هذا النوع من الانطفاء عندما يصبح المعدن في حالة عتمة بعد أن تعمل حافة المعدن زاوية مع أحدى الشعيرتين المتعامدين كما هو الحال في معدن Augite.

C- الانطفاء المتناظر:- Symmetrical Extinction
- يحصل هذا النوع عندما تنصف الشعيرة الشمالية الجنوبية الاوجة الهرمية لأنظمة الانفصام في المعادن التي تحوي مجموعتين أو ثلاثة من الانفصام كما في معدن Calcite.

D - الانطفاء المتموج :- Wavy Extinction
- في هذا النوع تصبح أجزاء من المعدن في حالة انطفاء وأجزاء أخرى في حالة إنارة عند دوران المسرح (بصورة متموجة) كما في معدن Quartz في الصخور المتحولة.

* زاوية الانطفاء :- هي الزاوية المحصورة بين اتجاه الذبذبة في المعدن وأحدى الشعيرتين المتعامدين ، أو هي الزاوية المحصورة بين الاتجاه المفضل للذبذبة في المعدن واتجاه التشقق فيه.

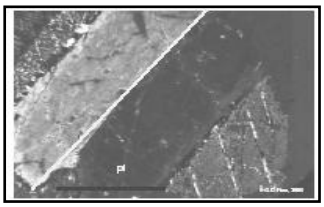
2- التنـــطـق:- Zonation

- وجود أحزمة متوازية وموازية لحافات البلورة تنطفي بالتناوب كما في معادن ,Augite Plagioclase.

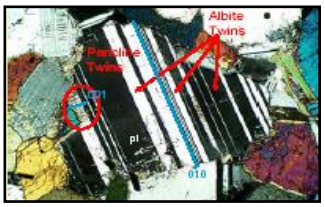
3- التوأمة :- Twining

- عبارة عن نمو متداخل بين بلورتين أو أكثر لنفس المعدن وتكون هنالك علاقة معينة فيما بينهما وان لكل منها زاوية عتمة خاصة بها . وأهم أنواعها:-

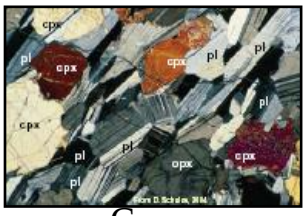
A- توأمة بسيطة (Simple):-مثل معدن Olivine
B- توأمة متكررة (نوع البيجاما) (Pajama):- مثل معدن Plagioclase
C- توأمة متعددة (مركبة) (Polysynthetic):- مثل معدن Oligoclase
D- توأمة متقاطعة (الحصيرة) (Crossed):- مثل معدن Microcline



-A-



-B-



-C-

-D-

4- التألق أو الوميض :- Twinkling

- نوع خاص من النتوء عندما يكون لنفس المعدن نتوان احدهما واطئ (اقل من كندا بلسم) والأخر عال (أعلى من كندا بلسم) وعند دوران المسرح تختفي حدود المعدن وتحدث هذه الظاهرة عندما يكون هنالك فرق كبير بين معامل انكسار الشعاع الاعتيادي والشعاع غير الاعتيادي كما في معدن Calcite.

5- الشوائب (المكتنفات) :- Inclusions

- احتواء بعض المعادن على شوائب صلبة أو سائلة أو غازية في داخلها بإحجام وأشكال مختلفة كما في معدن Leucite.

6- الـــتـــحـــلـــل:- Alteration

- تحلل المعدن الأصلي إلى معادن أخرى ثانوية وتحصل نتيجة تأثير الظروف المحيطة الخارجية (الحرارة ، الضغط، المحاليل) .

كما في معدن Olivine يتحلل إلى معدنين احدهما في الحواف (Iddingsite) والأخر داخل الشقوق(Serpentine).

7- عـلامـة الاسـتـطـالـــة :- Elongation Sign

- يقصد بها استطالة المعدن نسبة إلى الاتجاة الذبذبي المفضل له ، وهنالك قاعدتين فيما يتعلق بهذه الخاصية تقسم على أساسها المعادن إلى نوعين وهما :-

* إذا كان الاتجاه الذبذبي للشعاع البطيء في المعدن موازٍ لطول البلورة فان المعدن يدعى بطيء الطول موجب ((+) Slow).
* إذا كان الاتجاه الذبذبي للشعاع السريع في المعدن موازٍ لطول البلورة فان المعدن يدعى سريع الطول سالب ((-) Fast).

- خاصـــية علامة الاســتطالة تحدد للمعادن الطولانية (الطولية) فقط (الواحية،نصـــلي، موشوري)،أما المعادن كاملة الاوجة متساوية الأبعاد لا علامة استطالة لها.

* يستعان بما يسمى بالشرائح المساعدة(Accessory plates) في تحديد هذه الخاصية وهي على ثلاثة أنواع :-

1- شريحة المايكا (ג1/4) Mica plate
2- شريحة الجبس (ג) Gypsum plate
3- وتد الكوارتز Quartz wedge

* قواعد تحديد علامة الاستطالة :-

1- إذا كان المعدن بطيء الطول فهو موجب.
2- إذا كان المعدن سريع الطول فهو سالب.

- وهنالك حالتين :-

أ- عندما يكون بطيء شريحة المايكا يوازي بطيء المعدن يحصل للمعدن حالة إضافة Addition.

ب- عندما يكون سريع شريحة المايكا يوازي سريع المعدن يحصل للمعدن حالة إضافة Addition.

أو عندما يكون بطيء شريحة المايكا يوازي سريع المعدن أو العكس يحصل حالة طرح Subtraction.

*خطوات تحديد علامة الاستطالة للمعدن :-

1- نضع حبيبة المعدن الطولاني المختارةالمتجانسة في العتمة الكاملة (أقصى انطفاء).
2- ندور المعدن إلى موقع 45° أي إلى موقع الإنارة العظمى .
3- ندخل شريحة المايكا المعوضة (في الحامل المعدني المخصص في المجهر) والتي تعطي تأخير(ג 1/4) أي ما يعادل 147µ .

*نلاحظ تغير لون تداخل المعدن فإذا أصبح أكثر إضاءة فهذا يعني إن المعدن في حالة إضافة (إضافة تأخير الشريحة إلى تأخير المعدن) ، إما إذا أصبح المعدن غير واضح ويتجه نحو العتمة فهو في حالة طرح (طرح تأخير الشريحة المساعدة من تأخير المعدن).

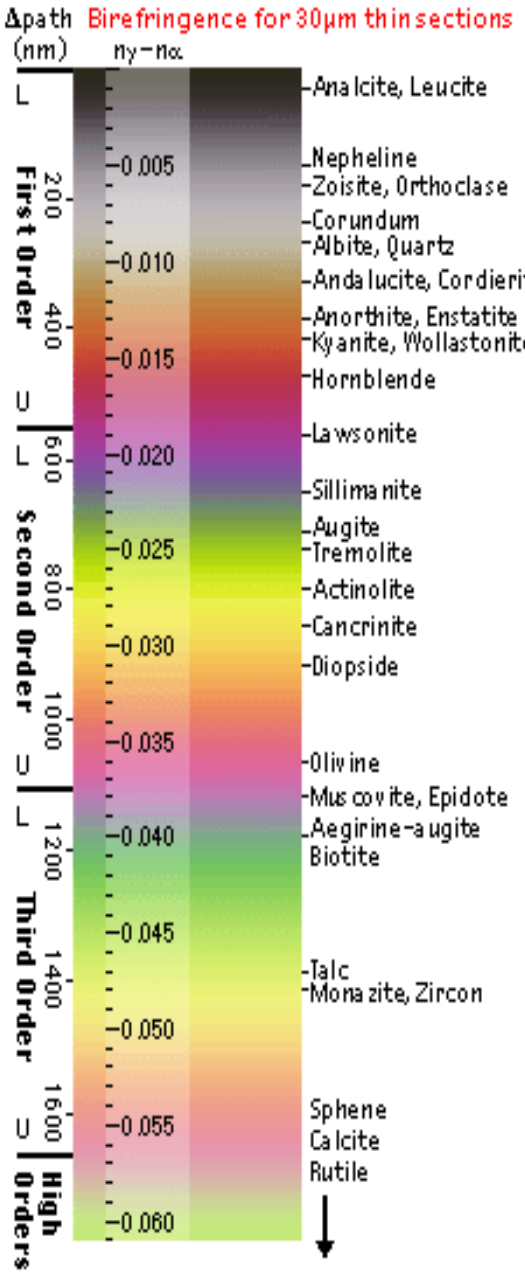
8- ألوان التداخل وقرينة الانكسار المزدوج:-
Interference coulors & Birefringence

- قرينة الانكسار المزدوج (Birefringence):- تمثل اكبر فرق بين معامل انكسار الشعاع غير الاعتيادي (ε) ومعامل انكسار الشعاع الاعتيادي(ώ)، وهي تمثل بقيمة محددة وليست صفة ويعتمد عليها ألوان التداخل . Bi = ώ -ε ($n_1 - n_2$).
- لون التداخل هو اللون الذي يبديه المعدن تحت المستقطبين المتعامدين .
- لون تداخل المعدن لا يتغير إلى لون أخر عند دوران المسرح ولكن يتغير في الشدة.
- قيمة القرنية ولون التداخل تربطهما المعادلة التالية:-

$$\Delta = t\,(n_1 - n_2)$$

* وبما إن السمك t (سمك الشرائح الرقيقة) ثابت والذي يساوي (0.03 mm) فان أل (Δ) تتناسب طردياً مع ($n_1 - n_2$).

- يمكن التعبير عن لون التداخل أما بقيمة أو لون (مثلاً :- الكوارتز اصفر رتبة أولى ، أو إعطاء قيمة).



- ألوان التداخل تقسم إلى أربعة رتب : أولى ،ثانية، ثالثة ورابعة.

1- ألوان الرتبة الأولى (1˚) التأخير (0 -550 µ).
وهي حسب التسلسل (رصاصي ، أبيض، أصفر ، برتقالي ، أحمر ، بنفسجي).
2- ألوان الرتبة الثانية (2˚) التأخير (550 - 1100 µ).
وهي (أزرق، أخضر، أصفر، برتقالي، أحمر، بنفسجي).

3- ألوان الرتبة الثالثة(3˚) التأخير (1100 - 1650 µ).
وهي (أزرق، أخضر، أصفر، برتقالي، وردي).

4- ألوان الرتبة الرابعة (4˚) التأخير (1650 - 2200 µ).
وهي (وردي، أخضر، وردي فاتح، أخضر فاتح).

*** وتصنف القرنية إلى عدة أنواع تختلف معها ألوان التداخل وهي :-**

ت	القرنية	قيمة القرنية	مثال معدني
1	(V.W)V.weak ضعيفة جدا	0.00 – 0.003	Leucite
2	(W) Weak ضعيفة	0.003 – 0.014	Orthoclase
3	(M) Moderate متوسطة	0.014 – 0.025	Kyanite
4	(S) Strong قوية	0.025 – 0.045	Anhydrite
5	(V.S)V.Strong قوية جدا	0.045 – 0.080	Talc
6	(E) Extreme متطرفة	> 0.080	Calcite

* تحديد لون التداخل ورتبته:-

1- الطريقة الأولى :- باستخدام نشرة ألوان التداخل.
(نشرة ألوان العالم مايكل ليفي(Michel Levy chart).

2- الطريقة الثانية :-بالاستعانة بالشرائح المساعدة.
1- نختار حبيبة ذات لون تداخل واضح ومتجانس ونضعها تحت تكبير عال جداً (اكبر شيئية 40x) بحيث تغطي مجال الرؤية بكاملة ، ثم نستخدم عدسة بيرتراند لحصر مجال الرؤية في موقع ضيق ولنفرض أن لون التداخل للمعدن هو الأخضر بقيمة تأخير (Δ=800μ).
2- نضع الحبيبة في موقع الانطفاء.
3- ندور المسرح أو الحبيبة إلى موقع(45˚) أي موقع الإنارة العظمى.
4- ندخل شريحة المايكا لتحديد فيما إذا كان المعدن في حالة إضافة أم طرح.

- والقاعدة المتبعة لتحديد رتبة لون التداخل للمعدن هي إن يكون المعدن في وضع طرح فلو حصل وان كان في حالة الإضافة فيجب تحويلة إلى وضع الطرح وذلك بتدوير المسرح (90˚) سواء كان بعكس أو مع اتجاة عقارب الساعة.
5- نسحب شريحة المايكا وندخل وتد الكوارتز ببطئ لغاية الحصول على ما يسمى بالتعويض (Compensation) وهذا يعني اختزال تأخير المعدن إلى الصفر فيصبح لون تداخل المعدن أسود.

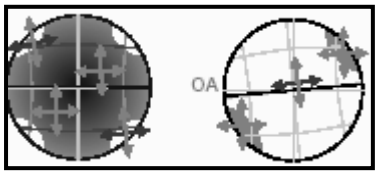
- والسبب لحدوث التعويض هو لان المعدن في حالة طرح فعند إدخال وتد الكوارتز ذو السمك المتغير والتأخير المتغير الذي يتغير تدريجياً مع زيادة السمك إلى إن يصبح مطابق مع تأخير المعدن ونتيجة فرق التأخيرين يصبح المعدن اسود.
- لو كان تأخير المعدن (800 µ) في حالة طرح فعند إدخال وتد الكوارتز مسافة معينة يكون فيها تأخير الوتد (800 µ) وبما إن المعدن في حالة طرح فيطرح منه تأخير (800µ) فيصبح المعدن اسود وتصبح لدينا حالة التعويض (Ø):-
6- نسحب شريحة المعدن من المسرح ولكن نبقي على وتد الكوارتز فيظهر في مجال الرؤية حزمة خضراء اللون تعود إلى وتد الكوارتز (لان الوتد يعطي تأخير 800 µ في هذا الموقع).
7- نسحب وتد الكوارتز ونحسب عدد الأحزمة الحمراء التي تمر في مركز مجال الرؤية حيث أن : الرتبة = عدد الأحزمة الحمراء + 1(لان اللون الأحمر هو موقع نهاية كل رتبة).

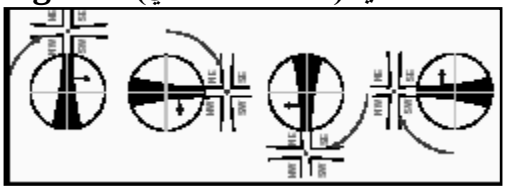
9- أشكال التداخل:- Interference Figures

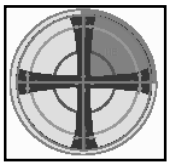
- أشكال خاصة معتمة تظهر للمعادن المختلفة عند إسقاط حزمة ضوئية مخروطية مكثفة على المعدن وبوجود عدسة بيرتراند والعدسة العينية وتحت المستقطبين المتعامدين :-

أولا:- المعادن أحادية المحور البصري:- Uni axial minerals

وهي المعادن التي تتبلور بالأنظمة (Tetra., Hexa. Trig.) ، ويعتمد شكل التداخل على زاوية القطع :-
1- مقطع عمودي على المحور البصري (عمودي على C). Centered optic axis figure
2- مقطع مائل عن المحور البصري .Off- Centered optic axis figure
3- مقطع موازٍ للمحور البصري (الشكل الوميضي). Flash figure



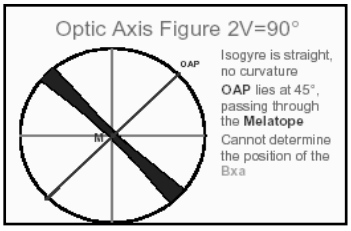


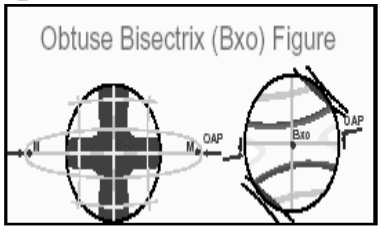


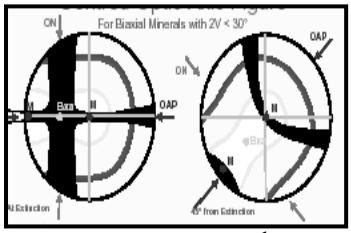
-3- -2- _1_

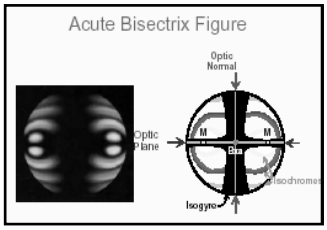
ثانياً :- المعادن ثنائية المحور البصري:- Biaxial minerals

وهي المعادن التي تحتوي على محورين بصريين بينهما الزاوية البصرية (optic angle 2v) وتشمل الأنظمة (Ortho., Mono., Tricl.) و تحتوي على ثلاثة اتجاهات مفضلة للذبذبة.
1. شكل تداخل منصف الزاوية الحادة بين المحورين البصريين Acute bisectrix fig. (BXa figure)
2.شكل تداخل منصف الزاوية الحادة او المنفرجة بين المحورين البصريين Obtuse bisectrix fig. (BXo)
3. شكل تداخل المحور البصري .Optic axis interference fig
4.صورة تداخل العمود البصري .Optic normal interference fig

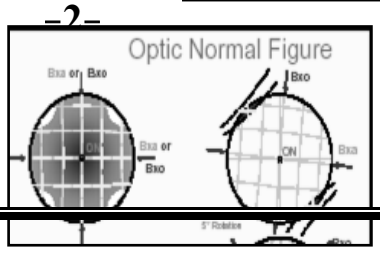








-3- -2- -1- -1-



أمثلة عن أهم المعادن غير المتجانسة بصرياً وبعض مواصفاتها البصرية الانموذجية:-

1. Zircon

-4-

بلورات موشورية صغيرة ذات ألوان تداخل عالية جدا التي تعد صفة مميزة لهذا المعدن ، النتوء عال جدا، الانطفاء مواز، وهو خال من الانفصام باستثناء بعض التشققات البسيطة ، وهو عديم اللون ويوجد احيانا على شكل شوائب داخل معدن البايوتايت.

2. Rutile

لونه اخضر الى بني الى محمر ، الشكل غالبا موشوري والانفصام جيد جدا مواز لطول البلورة ويحوي نظامين من الانفصام، والنتوء متطرف(شديد جدا) ، القرينة واطئة والوان التداخل رتبة عالية جدا ولكنها مقنعة بسبب لون المعدن الاصلي والنطفاء مواز.

3. Apatite

عديم اللون الى مغبر والبلورات صغيرة موشورية ويتواجد ايضا كشوائب داخل البايوتايت ،نتوءه متوسط ،القرينة ضعيفة ، الوان التداخل رصاصي رتبة اولى والانطفاء مواز.

4. Nephiline

عديم اللون الى مغبر جزيئا بسبب التلل يمتاز ببلورات لوحية كبيرة الحجم تأخذ شكل متوازي المستطيلات واحيانا سداسية متساوية الابعاد والقرينة ضعيفة والوان التداخل رصاصي رتبة أولى ، والانطفاء مواز ، ويتحلل المعدن الى معادن اخرى من اهمها المسكوفايت والزيولايت وكذلك الى معادن طينية مثل الكاؤلينايت.

5. Quartz

عديم اللون وعديم الأوجه عموما نتوءه عال غالبا والقرينة واطئة والوان التداخل رصاصي الى اصفر رتبة أولى ولا يحوي على تحلل او انفصام وعلى تكسرات قليلة غالبا.

6. Calcite

عديم اللون كامل او ناقص او عديم الاوجه ، او بشكل معينات صغيرة ناتجة من الانفصام المعيني الواضح، النتوء عال وواطئ(ظاهرة التألق) الوان التداخل باهتة أو وردية رتبة عالية (رتبة رابعة او اكثر) ، ووالنطفاء متناظر.

7. Tourmaline

لونه اخضر او ازرق ، وفيه تغير لوني من الازرق والاخضر وحتى البني الفاتح.وبلوراته موشورية الشكل، والنتوء عال والقرينة متوسطة والوان التداخل مقنعة بسبب لون المعدن الاصلي.

- اما بقية المعادن فتقسم الى عدة مجاميع من اهمها:

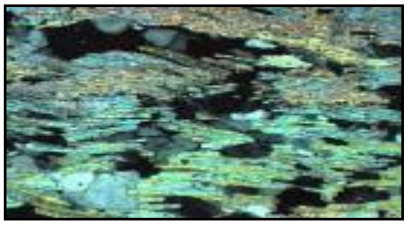
1. Mica group:

المعادن التابعة الى هذه المجموعة نظامها احادي الميل وهناك بعض الصفات المشتركة لمعادن هذه المجموعة أهمها :

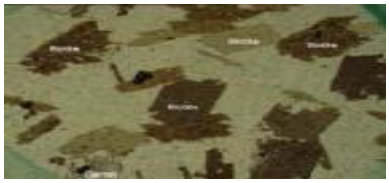
1.نسيج عين الطير (bird eye texture) ، وهذا النسيج يتلخص بان سطح المعدن يبو منقط باشكال تشبه عين الطير تحت التكبير العالي ، وهي اكثر وضوحا تحت المستقطبين المتعامدين.

2. الانفصام يكون جيد وباتجاه واحد والذي يعطي البلورات الاشكال الصفائحية.

3. الانطفاء مواز .



- وأهم معادن هذه المجموعة:



a. Biotite:

يتمتع بالصـــفات المميزة الســـابقة، اللون بني وفيه تغير لوني بين البني الغامق والبني الفاتح والاصـفر، وقد يحوي مكتنفات من الزركون ، وفيه صـفة التحلل احيانا الى الكلورايت الاخضـر ويظهر التحلل عادة في مناطق الانفصام الضعيفة نسبيا ، القرينة قوية والوان التداخل الحقيقية احيانا مقنعة والنتوء عال.

b. Muscovite:

يمتلك الصفات السابقة ، النتوء عال والقرينة قوية والوان التداخل زاهية تصل الى نهاية الرتبة الثانية ويكون عديم اللون.

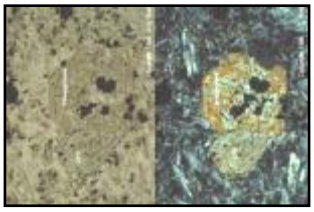
c. Sericite:

يشبه المسكوفايت كثيرا، وينتج غالبا عن التحلل لمعادن البلاجيوكليز والاورثوكليز.

2. Pyroxenes group:

هي مجموعة كبيرة ومهمة من معادن الســـليكات ، ويمكن تقســـيمها الى مجموعتين ثانويتين هما:

I.Clino pyroxene (C.Px):



أهم معادن هذه المجموعة:-

a. Augite, Ti-Augite:

بني فاتح ليس فيه تغير لوني ، بينما الاوجايت الغني بالتيتانيوم(Ti) وردي اللون يتغير بشـــدة عند دوران المســـرح وتعتمد شـــدة التغير اللوني على نســـبة التيتانيوم فيه، شـــكل الحبيبات موشـــوري او طولاني عادة، الانفصـــام جيد في اتجاه واحد او في اتجاهين اعتمادا على اتجاه المقطع ، وتكون الزاوية بينهما (89-90) درجة ، القرينة متوسطةوالوان التداخل نهاية الرتبة الاولى وبداية الرتبة الاولى وبداية الرتبة الثانية (أزرق او اخضـــر) والانطفاء مائل بزاوية تتراوح ما بين (36-56) درجة ، ويمتناز بظاهرة التنطق.

b. Aegerine-Augite:

لونه اخضـر فاتح مع تغير لوني الى الاخضـر والى الاصـفر، والانطفاء مائل بزاوية تتراوح ما بين (15-18)درجة ويتواجد في الصخور الغنية بالصوديوم.

c. **Diopside:**

لونـه اخضـــر فـاتح او عديم اللون ، القرينـة قويـة او متوســـطـة والوان التداخل رتبـة ثـانيـة. والانطفاء مـائل بزاويـة تتراوح مـا بين (36-43) درجـة ، ومن اهم الصـــفـات المميزة في هذا المعدن هي ظاهرة ما يسمى بطرد السائل (Exsolution) وهي ظاهرة وجود اشرطة او اقلام من البايروكسين احادي الميل (الدايوبسايد) داخل بلورات البايروكسين المعيني القائم .

II. Orthopyroxene (O.Px):

- وأهم معادن هذه المجموعة:

a. Enstitie:

عديم اللون ،القرينة ضـعيفة ، ولون التداخل ان ظهر فيكون اصـفر رتبة اولى ، النطفاء مواز ، والانفصـــام جيد ، من التراكيب التي قد تظهر في بلورات هذا المعدن مـا يســـمى بتركيب

شـيلر (sciller structure) ويتميز هذا التركيب بوجود مكتنفات ابرية دقيقة ذات لمعان او بريق برونزي ويتواجد خصـــوصـــا في معادن البايروكســـين المعيني القائم عند اتوائها على شعيرات ابر من معادن التيتانيوم.

b. Hypersthene:

بني فاتح او وردي يختلف باختلاف نســبة الحديد التي تدخل في تركيبه اي ان فيه تغي لوني ، اما بقية الصـفات فهي مشـابهة الى المعدن السـابق، ومن هذه الصـفات ظاهرة طرد السـائل، وايضا ما يسمى بتركيب عظم السمك (Fish bond st.) .

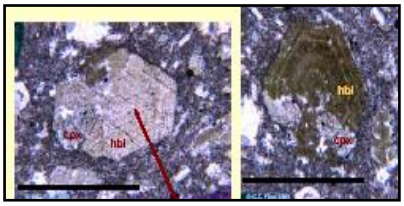
- ومن معادن هذه المجموعة ايضا:

c. Bronzite d. Ferrohypersthene e.Ortho ferrosolite.

3. Amphibole group:

من اهم معادن هذه المجموعة :-

- Hornblende:-



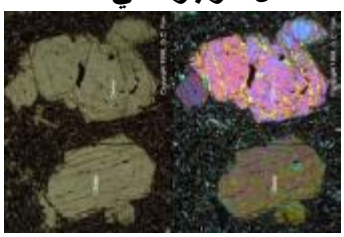
- الصفات المميزة لونه قهوائي أو بني أو أصفر أو أخضر ويعطي تغير لوني في هذه الألوان، الانفصـام جيد والذي يعتمد على نوع المقطع فبالنسـبة إلى عدد مجاميع الانفصـام في المقاطع الطولية فهنالك مجموعة واحدة من الانفصـام إما في المقطع العرضـي فهنالك مجموعتين من الانفصـام، الانطفاء متناظر في المقاطع العرضـية أما في المقاطع الطولية يكون مائل وبزاوية تتراوح (12° - 36°) ، ويمتلك صـفة التحلل إذ يتحلل مبتدءا غالبا في الحافات إلى معدن البايروكسـين والمغنتايت ، وهذا النوع من المعادن يسـمى (Basaltic hornblende) لأنه يتواجد في صخور البازلت ، القرينة متوسطة وألوان التداخل بنفسجي رتبه أولى وأحيانا مقنع بسبب لون المعدن الأصلي.

4. Olivine group

a- Olivine:-

- عديم اللون وبلوراته موشـورية قصـيرة وعريضـة، التشـقق واضـح جدا ومميز لا يوجد انفصـام، القرنية قوية جدا وألوان التداخل تصـل إلى الرتبة الثالثة أو أخضـر رتبة ثانية ، نظام معيني قـائم . الانطفـاء متواز. التحلـل موجود في هـذا المعـدن حيـث يتحلـل إلى معـادن Serpentine ,Iddingsite.

b-



Faylite:-

- عديم اللون وعديم الأوجه ،النتوء عال ، الانفصـام غير واضـح ، قرينة الانكسـار قوية جدا ، ألوان التداخل بداية الرتبة الثالثة ، نظام معيني قائم،الانطفاء متواز.

5. Feldspar group

- تـــقسم هذه المجموعة إلى قسمين:-

a- Alkali feldspar
b- Plagioclase

- تقسم مجموعة plagioclase feldspar إلى مجموعتين:-

I- Ca- feldspar **الفلدسبار الكلسي**
II- Na - feldspar **الفلدسبار الصودي**

I- Alkali feldspar (K – feldspar) :-

واهم معادن هذه المجموعة هي:

a- Orthoclase:-

عديم اللون، يتغير بسبب حصول التحلل إلى معدن الكاؤلينات والسيرسايت:

(Orthoclase → Kaolinite + Serecite)

وتكون بلوراته عادة لوحية كبيرة. الانفصـام أما باتجاة واحد أو باتجاهين حسـب نوع المقطع، النتوء واطئ والقرنية ضـعيفة وألوان التداخل رصـاصـي رتبة أولى. وأهم صـفاته المهمة هو احتوائـه تركيـب البيرثـايـت (Perthitic texture)، وهو عبـارة عن تـداخـل مجموعـة البلاجيوكليز (Albite) عادة داخل معدن أل Orthoclase أو داخل معدن المـايكروكلاين على شكل أشرطة.

- كمـا ويحتوي هذا المعدن على التركيب الكتـابي (Graphic texture) وهو تبلور معدن الكوارتز داخـل الاورثوكليز أو المـايكروكلاين حيث تشـــبـه بلورات الكوارتز أحرف الكتـابـة المسمارية.

b- Microcline:-

معظم الصـفات البصـرية مثل اللون والشـكل والانفصـام والتحلل والنتوء والقرنية مشـابهه للاورثوكليز ولكن يمكن تمييزه عنـه من خلال وجود التوأمـة المتقـاطعـة في المـايكروكلاين ، والانطفاء متواز في Orthoclase أو مـائل قليلا بينمـا في المـايكروكلاين يكون مـائل بزاويـة (150˚) وفي حالة البلورات الكبيرة فأن الانطفاء متموج بسبب التوأمة المتقاطعة.

c- Sanidine:-

- من مميزاته الهامة الشكل البلوري حيث تكون البلورات لوحية الشكل مستطيلة وحافية (واضحة الحافات) أي لا تحتوي على تحلل وكذلك وجود الشقوق المستعرضة، بينما الصفات الأخرى مشابهه لمعدن .Orth والمايكروكلاين ، يوجد في الصخور البركانية غالبا.

II. Plagioclase-feldspars:

وهي ستة معادن تتضمن :-

ت	المـــــعـــدن	زاويـــة الانـــطـــفـــاء
1	Albite (Na – feldspar)	12˚ - 20̊
2	Oligoclase(Na – feldspar)	0˚– 12̊
3	Andesine(Na – feldspar)	12˚– 28̊
4	Labradorite(Ca – feldspar)	28˚– 40̊
5	Bytonite(Ca – feldspar)	40˚– 52̊
6	Anorthite(Ca – feldspar)	52˚– 70̊

*** التركيب الكيميائي العام لمعادن البلاجيوكليز فلدسبار هو ($CaNaAl_2Si_2O_8$)**

ـ الصفات البصرية العامة المميزة لهذه المجموعة هي :-

عديمة اللون موشـــورية أو لوحية ، النتوء واطئ للمعادن الأربعة الأولى ومتوســـط للمعادن الأخيرة ، ألوان التداخل رصاصي رتبة أولى ، التوأمة مميزة جدا في هذه المجموعة وهي نوع التوأمة القلمية (Lamellar) وصـــفة التنطق والتركيب الدودي أو القرنبيطي أيضـــا وهو عبارة عن تبلور الكوارتز داخل البلاجيوكليز على شـــكل فص Lob ويكون شـــكل بلورات الكوارتز منخيا يشبه الدودة أو القرنبيط.