الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Ecole Normale Supérieure Kouba – Alger
Département de Formation à Distance

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المدرسة العليا للأساتذة القبة ــ الجزائر
قسم التكوين عن بعد

مقرر مادة الجيولوجيا موجه لطلبة
السنة الثالثة علوم طبيعية
نظام LMD
السداسي الخامس

الدراسة البتروغرافية

من إعداد الأساتذة

يحياوي رشيد ---------- أستاذ الجيولوجيا في المدرسة العليا للأساتذة –القبة
yahiaoui_r@hotmail.com
yrachou@yahoo.fr

مزاري جمال الدين ---------أستاذ الجيولوجيا في المدرسة العليا للأساتذة – القبة-
mazari@info.ens-kouba.dz
demazari@yahoo.fr

السنة الجامعية 2007 /2008

الفهرس (الجزء الأول)

العنوان رقم الصفحة

1/ تعريف المعدن: 12

2/ العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية: 12

3/ التصنيف الجيو كيميائي للعناصر الكيميائية: 13

3-1. تصنيف واشنطن 1920: 13

3-2.تصنيف رانكاما و ساهاما 1951: 13

4/ الفرق بين الصخر، المعدن و البلورة: 14

5/ عدد التكافؤ: 15

6/ الروابط الكيميائية: 15

ا/ الرابطة الأيونية Liaison ionique 16

ب/ الرابطة التساهمية. Liaison covalente 17

ج/ الرابطة الفلزية. Liaison métallique 17

د/ رابطة فان دير فالس Liaison Van der Waals 18

1-الخصائص البلورية (علم البلورات) 18

2- الشكل البلوري 19

3- عناصـــر التناظـــر 19

1.3- محور التناظر: Axe de symétrie 19

2.3- مستـــوى التناظـــر: Plan de symétrie 20

3.3-مركز التناظر: Centre de symétrie 20

الأنظمة البلورية: 21

1- النظام المكعب Le système cubique 21

2- النظام الرباعي: Le système quadratique 21

3- النظام السداسي: Le système hexagonal 21

4- النظام الثلاثي: Le système rhomboédrique 21

5 - النظام المعين القائم: Le système orthorhombique 22

6- النظام أحادي الميل: Le système monoclinique 22

7- النظام ثلاثي الميل : Le système triclinique 22

الخواص الفيزيائية للمعادن: 24
1ــ الخصائص الضوئية. 24
2ــ الخصائص التماسكية. 25
3ــ الخصائص الحسية. 26
4ــ الثقل النوعي. 27

تصنيف المعادن 27
I – المعادن السيليكاتية : 27
I-1 – مجموعة النيزوسيليكات : « سيليكات منفردة » Nésosilicates 28
أ–عائلة الأوليفين: (Olivine): 29
ب–عائلة السيليكات الألومينى 30
I-2 – مجموعة السوروسيليكات « سيليكات مزدوجة » Sorosilicates 32
–ا–عائلة الأبيدوت : (Epidote).....32
I–3 - مجموعة السيكلوسيليكات « سيليكات حلقية » Cyclosilicates 33
–أ–معدن التورمالين 34
I -4 – مجموعة إينوسيلسكات « سيليكات سلسلية » Inosilicates 34
I–4–أ– إينوسيليكات ذو السلاسل البسيطة (بيروكسين) : 35
I–4–ب– ذات سلاسل مضاعفة (الأمفيبول) : 37
I-5– مجموعة الفيلوسيليكات « سيليكات صفائحية » Phylosilicates 40
I–5–1– عائلة الطالك : 40
1–5–2– عائلة الميكا :.....41
I-6 – مجموعة التكتوسيليكات « سيليكات شبكية » Tectosilicates 42
I–6–1– معادن السيليس: 43
I–6–2–معادن الصفاح: 44
– مجموعة الصفاح البوتاسي 44
– مجموعة الصفاح الصودي الكلسي (البلاجيوكلاز) 45
I-6-3- أشباه الصفاح (Les feldspathoîdes) 46
** تفاعل بوين: 47
1– سلسلة تتابع تفاعلي متقطع: 47
2– سلسلة تتابع تفاعلي متواصل: 47
**دراسة سلوك المعادن في الصهير المغماتي: 49

الفهرس (الجزء الثاني)

I – مقدمة عامة 51

II – الصخور النارية 52

II 1 مقدمة 52

II – 2 أنواع الصخورالنارية.....52

1. **الصخور النارية المتداخلة الاندساسية** les roches plutoniques 52
2. **الصخور الوسطية**.....53
3. **صخور قليلة العمق**.....53

الصخور البركانية السطحية les roches extrusives.....53

II –3 أشكال وتراكيب الصخور النارية.....53

أشكال الصخور البركابية 53

المخروط البركاني 53

الهضاب البركانية 53

أشكال الصخور الاندساسية 54

الأجسام اللوحية 54

الأجسام العدسية Les corps lenticulaires 54

المعقدات الحلقية (Les complexes annulaires).....54

الكتل الجوفية 54

II –4 انسجة الصخور النارية 56

أنسجة الصخور النارية الاندساسية.....56

تعريف.....56

النسيج البغماتيتي Texture pegmatitique.....56

النسيج الحبيبي Texture grenue.....56

النسيج الحبيبي الشبه بورفيري Texture porphyroïde.....56

النسيج البرتيتي Texture perhitique: 56

أنسجة الصخور البركانية 57

النسيج المكروليتي Texture microlithique 57

النسيج المكروليتي المتجانس Texture microlithique homogène.....57

النسيج المكروليتي البرفيري Texture microlithique porphyrique.....57

النسيج الزجاجي Texture vitreuse : 57
II –5 تصنيف الصخور النارية 57
تصنيف حسب نسبة السيليسيوم Sio_2 57
تصنيف حسب درجة التشبع بالسيليس 57
التصنيف حسب نسبة المعادن الملونة.....58

III - الصخور الرسوبية 59

III–1 مقدمة : 59
III–2 مراحل تشكيل الصخور الرسوبية 59
التعرية الفيزيائية 59
التعرية الكيميائية أو التجوية 59
النقل.....60
الترسب 60
التصخر 60
التبلور.....61
III –3 تصنيف الصخور الرسوبية 61
III –3–1 : الصخور الحطامية 63
الصخور التجمعية.....63
الحجر الرملي.....63
الصخور الطينية.....64
III –3–2 : الصخور الكميائية 64
الصخور الكلسية أو الجيرية.....64
الصخور السيليسية.....64
الصخور الملحية.....64
III –3–3 : الصخورالرسوبية البيوكميائية أو العضوية 64

IV - الصخور المتحولة.....66

IV -1 مقدمة 66

IV -2 عوامل التحول 66

الحرارة.....66

الضغط 66

العامل الكيمائي : (الميتلسوماطوز 67

عامل الزمن 69

IV -3 أنواع التحول 69

1. **التحول التماسي** 69
2. **التحول الديناميكي** 70
3. **التحول الحراري** 70
4. **التحول الإصطدامي** 70
5. **التجول مائي حراري :** l'hydrothermalisme :.....70
6. **التحول الإقليمي أو العام** 70

IV-4 السحن المتحولة 71

V خلاصة عامة.....73

الفهرس (الجزء الثالث)

أعمال تطبيقية

المجـــهر الإستـــقـــطابي Le microscope polarisant 76

1. المقدمة: 76

1.1 مكونات المجهر المستقطب 76

2.1 الشرائح المساعدة 77

3.1 الإحتياطات في استعمال المجهر 77

4.1 إعداد الشرائح : 78

2. بعض الخواص الفيزيائية للضوء المستقطب: 78

1.2 مـــعـــامل الانكـــسار Indice de réfraction 78

2. 2 التضاريس Le relief : 81

2. 3 الإنكـــسار المـــزدوج biréfringence–double réfraction 82

2.4 مـــوشور نيـــكول Le prisme de Nicol 83

3. ألوان التداخل بين موشوري نيكول المتعامدين بالضوء المتوازي..... 84

1.3 مسار الأشعة الضوئية بين موشوري نيكول المتعامدين 84

2.3 شدة الضوء الخارج من المحلل L'intensité lumineuse après l' analyseur . .. 85

3.3 مجموعة الألوان المتداخلة أو سلم نيوتن Les couleurs d'interférence ou l'échelle de newton 87

4.3 قياس تطبيقي للانكسارالمزدوج باستعمال لوحة ميشال ليفي ولاكروا. 89

4 .1 تعريف معادن أحادي المحور: 90

2.4 تعريف معادن ثـــنائي المحـــور: 90

الخواص العامة للمـــــعـــادن 91

Caractéristiques générales des minéraux 91

1.دراسة المعادن بدون محلل 91

1.1 التضاريس . Le relief 91

2.1 الشـــكـــل: La forme 91

3.1 اللـــون : التبدل اللوني أو البليوكروييزم le pleochroïsme 92

4.1 الفرق بين التبدل اللوني وألوان التداخل: 93

5.1 مستويات الإنفصام في المعادن les plans de clivage dans les minéraux 93

6.1 المحتويات Les inclusions : 94

7.1 التغير (الفساد) L'altération : 94

8.1 النـــطـــاق Le zonage : 95

2. دراسة المعادن باستعمال المحلل: 95

1.2 التـــوأمـــة La macle : 95

1.1.2التوأمة البسيطة أو توأمة كارلسباد – 95

2.1.2 التوأمة الشبكية..... 96

3.1.2 التوأمة المركبة 76

2.2 قياس زاوية التعتيم 97

3.2 : قياس إشارة التطاول 98

قياس إشارة التطاول في حالة التعتيم المستقيم.....100
قياس إشارة التطاول في حالة التعتيم المائل 100
1. دراسة بعض المعادن المميزة للصخور النارية 101
- الكــوارتــز SiO_2 Le quartz.....101
2. دراسة بعض المعادن المميزة للصخور الرسوبية 102
- الكــالســيت $CaCO_3$ La Calcite 102
3. مجموعة معادن الصخور المتحولة 103
- الأندالوسيت $[SiO_4|O]\ Al_2$ Andalousite.....103
النــســيج والبنية Texture et structure 105
1. النسيج texture : 105
الصخور الاندساسية Roches Intrusives : 105
النسيج الحبيبي أو المحبب (Texture grenue) 105
النسيج الأبليتي (Texture aplitique)..... 105
النسيج البغماتيتي (Texture pegmatitique) 105
النسيج شبه بورفيري (Texture porphyroïde)..... 105
النسيج البرتيتي (Texture perthitique) 105
الصخور تحت البركانية Roches hypovolcaniques : 105
نسيج دقيق التحبب (Texture microgrenue) 105
نسيج دقيق التحبب بورفيري (Texture microgrenue porphyrique) 105
الصخــور البركــانية Les Roches volcaniques : 106

نسيج ميكروليتي (Texture microlitique) …… 106

- نسيج ميكروليتي بورفيري (Texture microlitique porphyrique) ……..…… 106

- نسيج زجاجي (Texture vitreuse) ……..…… 106

- نسيج زجاجي بورفيري (Texture vitreuse porphyrique) ……..…… 106

* جدول 1 ……..…… 107

* جدول 2 ……..…… 108

* جدول 3 ……..…… 109

* جدول 4 ……..…… 110

علم البيتروغرافيا (La pétrographie)

جيولوجيا للسّنة الثالثة

من إعداد الأستاذ: يحياوي رشيد

1/ تعريف المعدن:

يعرَف المعدن بأنَه مادة طبيعية غير عضوية توجد في الطبيعة، فهو مادة صلبة متجانسة التكوين، ذات تركيب كيميائي محدَد وبناء ذري داخلي منتظم يكون في اغلب الأحيان بلوري، أي يكون ترتيب الذرَات أو الأيونات محدَد ضمن جسم البلورة.

يتكون المعدن في اغلب الأحيان من اتحاد عنصرين كيميائيين أو أكثر و ذلك بنسب متفاوتة، فمثلا معدن الغالين (la galène) (PbS) مكون من إتحاد عنصري الرصاص و الكبريت وهو موجود في الطبيعة على شكل خام، و كذلك معدن الكوارتز (le quartz) (SiO2) مكون من عنصري السيليسيوم و الأكسوجين. في بعض الأحيان تتشكل المعادن من عنصر واحد مثل الذهب (Au) أو الماس (C).

لكل معدن خصائصه الطبيعية الفيزيائية تساعد على معرفته والكشف عن هويته.

2/ العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية:

إنَ أوَل من قام بنشر جداول تحتوي على الترتيب الكيميائي للقشرة الأرضية هو العالم الأمريكي كلارك، و اعتمد في ذالك على نتائج 600 تحليل كيميائي و استغرق هذا العمل قرابة 50 سنة.

يتم تحديد التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية من السطح إلى حدود 10 كلم عمقا بشكل مباشر، و ذلك بأخذ عينات صخرية وتحليلها في المخبر، أما بالنسبة لطبقات القشرة الأكثر عمقا، فيتم ذلك بطريقة غير مباشرة، أي بالمقارنة مع التركيب الكيميائي للنيازك حيث يفترض أن النيازك الحجرية تشبه القشرة الأرضية في تركيبها الكيميائي.

و قد قام العالم ميسين (1951) بإصدار الجدول التالي(جدول1) الخاص بالتركيب الكيميائي للقشرة الأرضية:

العنصر	الوزن %
O (أكسوجين)	46.60
Si (سيليسيوم)	27.72
Al (ألومنيوم)	8.13
Fe (حديد)	5.00
Ca (كالسيوم)	3.63
Na (صوديوم)	2.83
K (بوتاسيوم)	2.59
Mg (مغنيزيوم)	2.09
Ti (تيتانيوم)	0.44
H (هيدروجين)	0.14
المجموع	99.17

جدول(1): يبين تركيب القشرة الأرضية من العناصر الكيميائية.

3/ التصنيف الجيو كيميائي للعناصر الكيميائية:

يوجد العديد من التصنيفات للعناصر الكيميائية نذكر من بينها:

3-1. **تصنيف واشنطن 1920:**

يعتمد هذا التصنيف على تقسيم العناصر الكيميائية إلى نوعين و ذلك حسب طبيعة المركبات المعدنية الطبيعية الموجودة بها:

(أ). العناصر الكيميائية التي تدخل في تركيب معادن و صخور القشرة الأرضية (مجموعة السيليكات).

(ب). العناصر الكيميائية التي تدخل في تكوين خامات المعادن التي يتم استغلالها (الحديد، الذهب، الرصاص).

3-2.**تصنيف رانكاما و ساهاما 1951:**

وزعت العناصر الكيميائية حسب هذا التصنيف إلى المجموعات التالية:

***<u>مجموعة(1)</u>:السيدروفيل:**

العناصر الكيميائية التي لها ميل و قابلية التفاعل مع الحديد:

Re. Mo.Ge.Au.Pt.Ir.Os.Pd.Rh.Ry .Ni.Co.Fe.C.Cu.Gu.As.Sb.

***<u>مجموعة(2)</u>: الكالكوفيل:**

عناصر لديها ميل للارتباط بالكبريت لإعطاء معادن الكبريتيدات :

Se.S.bi.As.Pb.Ru.Su.Ge.Ip.In .Ga.Hg.Cd.Zn.Ag.Cu.Te.Fe.Mo.Os.

***<u>مجموعة(3)</u>: الليثوفيل:**

العناصر الكيميائية التي تميل للارتباط بالأكسوجين و تدخل في تركيب المعادن السيليكاتية التي تمثل العناصر الأكثر انتشارا في القشرة الأرضية:

Li.Na.K.Rb.Cs.Be.Mg.Ca.Sr.Ba.Al.Sc.Y.La.Lu.Si.Ti.Zr.Hf.Th.P.V.Np.Ta.O.Cr.
U.H.F.Cl.Br.I.Fe.Mn.Zn.Ga

***<u>مجموعة(4)</u>: الأتموفيل:**

العناصر الكيميائية الموجودة في المركبات الغازية المكوّنة للغلاف الجوي و الغازات النادرة:

O.N.H.Xe.Kn.Ar.Ne.He.

***<u>مجموعة (5)</u>: البيوفيل:**

العناصر التي تدخل في تركيب المركبات العضوية:

I.Cu. Mn.Si.B.Fe.Ca.Cl.S.Mg.Na.F.P.N.O.C.H.

4/ الفرق بين الصخر، المعدن و البلورة:

- الصخر: مادة صلبة مكونة من مجموعة من المعادن، يحتفظ فيه كل معدن بخصائصه.

تتكون معظم الصخور من مجموعات عديدة و متنوّعة من المعادن غير أن بعضها يتكون من نـــوع واحد من المعادن فقط مثل صخور الحجر الجيري (le calcaire)الذي يتكون من معدن الكالسيت فقط (la calcite).

يمكن التعرف على طبيعة الصخور بمعرفة طبيعة المعادن المكوّنة له من جهة و نوع النسيج الذي تحدَده مختلف أشكال البلورات فيما بينها من جهة أخرى.

- المعدن: تعتبر المعادن مادة صلبه طبيعية تتواجد أغلبها بشكل متبلور (مكونة من بلـــورات) ذات تركيب كيميائي محدد وترتيب ذري داخلي معيَن ، قد تكون استثنائيا صلبة غير متبلورة مثل الأبال (l'opale) و الزجاج البركاني، ونادرا ما تكون سائلة مثل الزئبق.
- البلورة: تمثل البلورة التركيبة أو الوحدة الأساسية للمعدن، تتميَز بنظام بلوري شبكي خاص يحدَده توزيع الذرَات بشكل مرتب و دوري داخل البلورة، يأخذ هذا النظام الشبكي البلوري أشكال هندسية مختلفة تتحكَم فيه خاصيتين مهمَتين و هما:

عدد تكافؤ الذرات أو الأيونات المكوّنة له من جهة، و **نوع الرابطة الكيميائية** المتواجدة بين هذه الذرات أو الأيونات من جهة أخرى.

5/ عدد التكافؤ:

يتركب العنصر الكيميائي من نواة و إلكترونات ، تسمى الإلكترونات التي تربط الذرَات ببعضها البعض بـــ إلكترونات التكافؤ، فمثلا عدد تكافؤ عنصر السيليسيوم Si هو أربعة إلكترونات تكافؤ فيصير Si^{4+} ، بمعنى أنَ Si يمكنه الارتباط في محيطه بأربع ذرَات أحادية التكافؤ أو ذرَتين ثنائية التكافؤ، مثل عنصر الأكسوجين O الذي عدد تكافؤه هو اثنين فيصير O^{2-} (إلكترونان تكافؤ). يتكوَن المركب SiO4 بترابط السيليسيوم مع الأكسوجين حيث يحاط Si بأربع ذرات O ، بما أنَ الأكسوجين ثنائي التكافؤ فإنَه يشارك بنصف قوَته أي بإلكترون واحد فقط و يبقى الثاني حر أو يرتبط بسيليسيوم آخر، عندئذ يصبح عدد تكافؤ المركَب SiO4 هو أربع، فيصير $(SiO4)^{4-}$ مشكَلا ما يسمَى بالرباعي الأوجه.

يعتبر الأكسوجين العنصر الأساسي الذي لا يخلو منه أيَ معدن إلاَ القليل، لذلك نجد أنَ كلَ عناصـــر القشرة الأرضية تقريبا، تتواجد على هيئة أكاسيد، إلى درجة اعتبار العلماء أنَ عدد التكافؤ هو عـــدد ذرَات الأكسوجين التي تحيط و ترتبط بعنصر ما.

6/ الروابط الكيميائية:

يعتبر الأيون ذرة أو مجموعة من الذرات فقدت تعادلها و اتَزانها الكهربائي حيث أصبحت مشحونة سلبيَا أو إيجابياَ و ذلك حسب اكتسابها أو فقدانها للإلكترونات. إذا اكتسب غلاف الذرة الخارجي إلكترونا عندئذ تصبح لها شحنة سالبة وتعرف حينئذ بالأيون سالب الشحنة. أمَا إذا فقدت الذرة إلكترونا من غلافها الخارجي عندئذ تصبح لها شحنة موجبة وتعرف حينئذ بالأيون موجب الشحنة.

يحدث الترابط الكيميائي عندما تتَحد ذرَات عنصرين أو أكثر لتكوَن المركبات. تتحد الذرات إمَا باكتساب أو فقدان إلكترونا أو أكثر فينتج عن هذه العملية قوة كهربائية تربط الذرات ببعضها البعض، و إمَا باشتراك الذرَة نفسها بإلكترونا أو أكثر مع ذرَة أو ذرات أخرى.

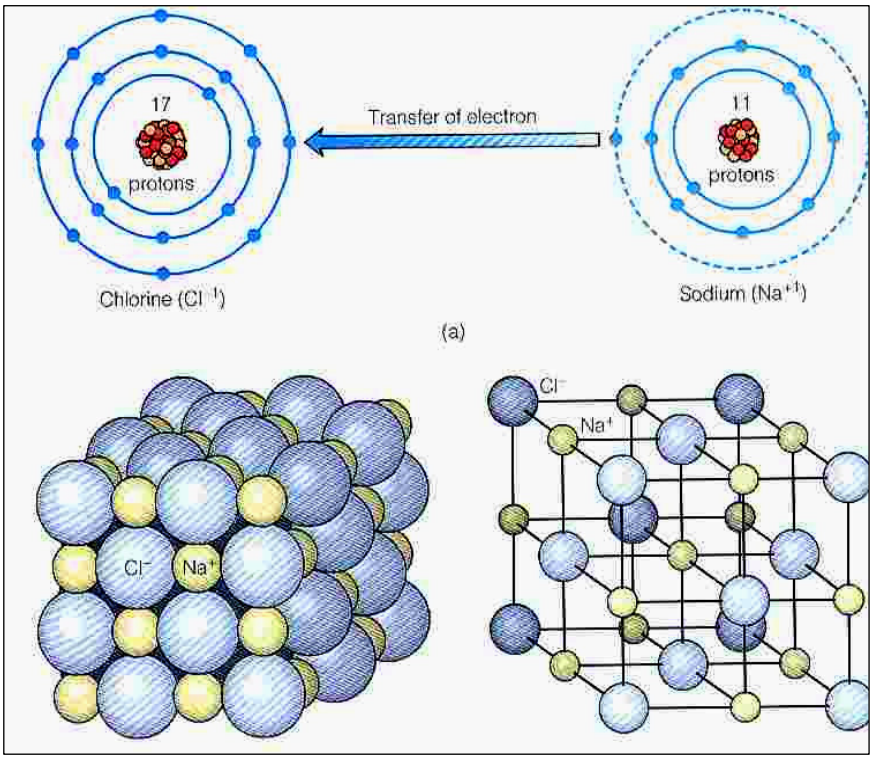
بالتالي ترتبط الذرات و الجزيئات المكونة للمعادن بروابط كيميائية مختلفة و تتمثل في ما يلي:

* الرابطة الأيونية. Liaison ionique
* الرابطة التساهمية. Liaison covalente
* الرابطة الفلزية. Liaison métallique
* رابطة فان دير فالس. Liaison Van der Waals

أ.الرابطة الأيونية: Liaison ionique

تنشأ هذه الرابطة نتيجة انتقال إلكترون واحد أو أكثر من المدار الخارجي لعنصر معين إلى مدار خارجي أخر، نحصل بذلك على أيون موجب للعنصر الأول وأيون سالب للعنصر الثاني و يصبح المدار الأخير لكل من العنصرين مشبع، حينئذ يحدث تجاذب كهربائي بين الأيون الموجب (+) والأيون السالب(−).

نأخذ كمثال لهذا النوع من الروابط معدن الهاليت (la halite) (NaCl) و المعروف باسم الملح، إذ أنَ عنصر الصوديوم (العدد الذري11) له إلكترون واحد في المدار الخارجي أمَا عنصر الكلور (العدد الذري17) فله 7 إلكترونات في المدار الأخير، فيحدث تفاعل كيميائي بين الصوديوم و الكلور حيث ينتقل الإلكترون من المدار الأخير لذرة Na و يتكون أيون موجب (Na^+) وتلتقطه ذرة Cl لتملئ به مدارها الأخير ويتكون نتيجة لذلك أيون الكلور السالب Cl^- ويمكن تمثيل ذلك في (الشكل 2) كما يلي:

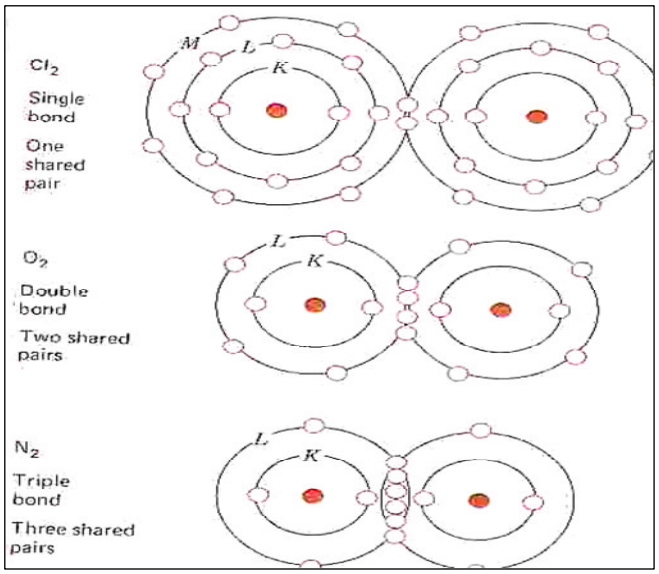


(الشكل2) يوضح الرابطة الأيونية لمعدن الهاليت (NaCl).

بواسطة الجذب الكهربائي بين ايون الصوديوم (Na^+) وايون الكلور(Cl^-) الناتج أساسا عن اختلاف شحنتيهما (إحداهما موجبة والأخرى سالبة)، تترابط أعداد هائلة من هذه الأيونات بشكل مرتَب و منضَم في شبكة بلورية، مشكلة بلور ذو نظام مكعب والذي يعتبر الوحدة الأساسية لمعدن الهاليت (la halite) وتسمى الرابطة بين اللأيونين (Na^+) و(Cl^-) " الرابطة الأيونية ".

ب.**الرابطة التساهمية (التشاركية):** Liaison covalente

تتكوَن الرابطة التساهمية نتيجة اشتراك على الأقل زوج من الإلكترونات لـذرَتين فـي تـشكيل المركبات الكيميائية سواء كانت جزيئات أو معادن، حيث أن كل ذرة مـن ذرات الجـزيء تـساهم بإلكترون واحد أو أكثر، يرتبط هذا الزوج من الإلكترونات بواسطة وصلة قويَـة تعـرف بالرابطـة التساهمية. ينتج عنها حالة الاستقرار للجزيء(تشبع الحلقة الأخيرة للـذرات). مثـال عـن جـزيء الهيدروجين(H_2)، حيث ترتبط ذرتا هيدروجين مع بعضهما البعض، تنتج رابطة مكونة من زوج من الإلكترونات، ساهمت فيه كل ذرة بإلكترون واحد وهذا الزوج من الإلكترونات لا تختص به ذرة دون الأخرى بل يعود للجزيء ككل، تسمى هذه الرابطة بين ذرتي الهيدروجين للرابطة التساهمية وكأمثلة أخرى على ذلك: جزيئات غاز الكلور (Cl_2) و الآزوت (N_2) (الـشكل3) و معـدن المـاس (C) و جزئ(SiO_4).



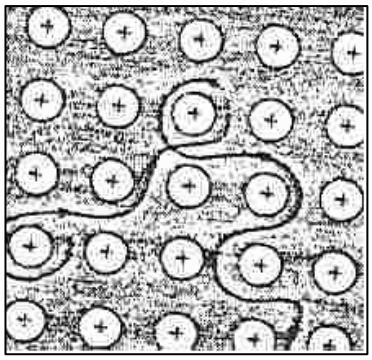
(شكل3) :الرابطة التساهمية المميزَة لغزات الكلور، الأكسوجين و الآزوت.

في معدن الماس، كل ذرة كربون (C) تحوي في مدارها الخارجي 4 إلكترونات (عدد تكافؤها هو4) و بالتالي ترتبط كل درة (C) بأربع ذرات كربون مجاورة تقع على قمم رباعي الأوجه، عندئذ تتشبع الطبقة الخارجية لكل ذرة بثمانية إلكترونات.

ج.**الرابطة الفلزية (المعدنية):** Liaison métallique

تحدث هذه الرابطة بين ذرات العنصر الفلزَي (المعدني) نفسه مثل الذهب، الألمنيوم، النحاس...، حيث تميل ذراته لفقد عدد من الإلكترونات من أفلاكها الأخيرة لتتحول إلى ايونات موجبة، تشكل هذه الإلكترونات المفقودة سحابة إلكترونية حرة في البناء الذري للعناصر الفلزَية، تعمـل هـذه الـسحابة الإلكترونية على إحداث قوى تجاذب بين الايونات الموجبة للعنصر(الشكل 4)،

وتتميز العناصر الفلزية – نتيجة الرابطة المعدنية– بعدد من الخصائص، مثل البريق الفلزَي (قدرة على انعكاس الضوء)، مرونتها عالية (قابليتها للسحب) والقدرة الفائقة على توصيل التيار الكهربائي والحرارة معا.



(شكل4) يبين الرابطة الفلزية

د.رابطة فان دار فالس: Liaison Van der Waals

تمثَل رابطة فان دار فالس نوع من القوى الضعيفة التي تـــربط بـــين الجزيئـــات أو المركبـــات الكيميائية المتعادلة، تكون غالبا متواجدة باشتراك مع رابطة أخرى، و هذا دليل أنَه في الطبيعة يمكـــن للمعادن أن تحتوي على أكثر من رابطة واحدة، من أحسن الأمثلة على ذلك معدن الغرافيت (C) الذي يمتاز برابطة تساهمية و رابطة فان دار فالس معا، حيث ترتبط ذرات الكربون مع بعضها برابطـــة تساهمية قويَة وفق مستو على شكل وريقة أو صفيحة، ترتبط هذه الوريقات فيما بينها بواسطة قـــوى ضعيفة تسمى رابطة فان دار فالس ، ينتج عن ذلك صفائح رقيقة يسهل فصلها عن بعضها البعض في مستويات متوازية نتيجة لضعف قوى فان دار فالس التي تصل بينها.

1/ الخصائص البلورية (علم البلورات)

تعتبر البلورات أجسام متجانسة صلبة متنوَعة الأشكال و الأحجام، تمتاز البلورة بأوجه مـــستوية ذات أشكال هندسية مختلفة و منتظمة، تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من ضـــغط و حرارة، و تعتبر الظروف الفيزيائية و الكيميائية هي العامل الحاسم في نمو البلورات فقد تنمو البلورة إلى حد قد يصل إلى بضعة أمتار وعلى العكس تماما فهناك بلورات متناهية الدقة و الصغير في الحجم بحيث لا ترى إلا بالمجهر.

إنَ ترتيب الذرات في البلورات يتبع شكل منتظم، حيث تتوزع العناصر الكيميائية داخلها بشكل متكرر و دوري في الأبعاد الثلاث مشكلة بنية شبكية مميَزة تدعى **البنية الشبكية البلورية**، شكلها النهائي يحدده شكل و حجم **الوحدة البنائية الأساسية** التي تعرَف بكونها أصغر وحدة ممكنة، ذات أشكال و أحجام مختلفة، لكن ميزتها الأساسية هي قدرتها على تشكيل البلورة كاملة بتكرارها في الأبعاد لثلاث دون ترك أيَ فراغات، و لذلك يجب أن تكون هذه الوحدة الأساسية البنائية على شكل متوازي المستطيلات ذات الأضلاع الأصغر.

-2- الشكل البلوري :تتشكل أغلبية المعادن من تبلور الصهير أو الماغما، حيث تتصلَب متَخذة لنفسها أشاكل هندسية منتظمة تدعى البلورات، تختلف باختلاف المعادن. و لا يقتصر هذا الإختلاف في الأشكال الهندسية الخارجية فحسب بل يتعداه إلى اختلاف في التركيبة الكيميائية و نوع الروابط الكيميائية و ينتج عنه تباين في البلورات من حيث جميع الخواص الطبيعية الأخرى كالصلابة والتماسك والشفافية (مرور الضوء) و قابلية نقل الحرارة فيها.

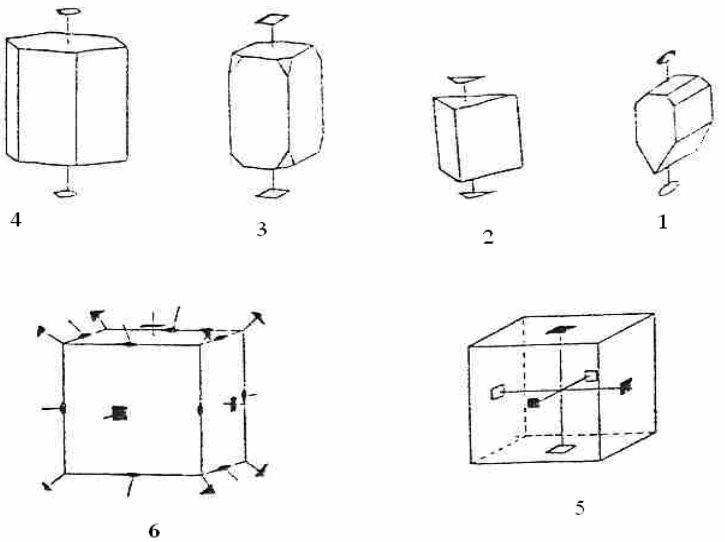
نستنتج أن التبلور هو نتيجة تنظيم خاص في ذرات المادة, ولاشك أن وجود مثل هذا الترتيب الداخلي للذرات سوف ينعكس على الشكل الخارجي للمعدن حيث توجد المعادن عادة في أشكال هندسية منتظمة متناسقة و تعرف هذه الأشكال بالبلورات.

3/ عناصـــر التناظـــر تختلف المعادن باختلاف طبيعة و أشكال بلوراتها، وحتى نتعـــرَف علـــى مختلف الأنظمة البلورية استوجب إحداث بعض المعايير الهندسية الدقيقة لتحديد كل أنواع البلـــورات، تتمثل هذه المعايير في عناصر التناظر و هي كالتالي:

محور التناظر، مستو التناظر و مركز التناظر.

1.3- محور التناظر: Axe de symétrie

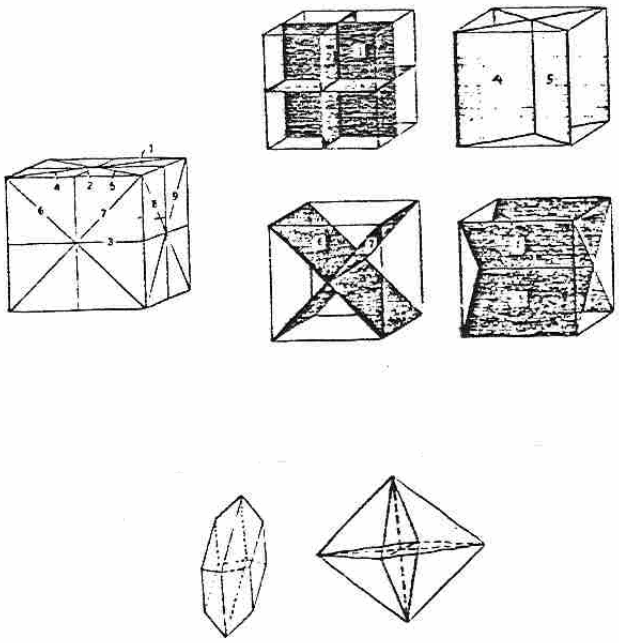
هو خط مستقيم وهمي يمر بمركز البلورة، حيث عند تدوير البلورة حول هـــذا المحـــور بـــدورة كاملة (360°) يسمح لنا بمشاهدة نفس الوجه (نفس الصورة) مرتين = محور A2 أو ثلاث مرات = محور A3 أو أربع مرات = محورA4 أو ستة مرات= محور A6 . كما أنه قد يكون هـــذا المحـــور أحادي أو متعدد المحاور (شكل5.)



الشكل5 :أشكال محاورالتناظر، 4،3،2،1 تمثَل على التوالي المحور A6, A4, A3, A2 و هي كلَها أحادية المحور. 5، 6 تمثَل متعدَد المحاور.

2.3- مستــوى التناظــر: Plan de symétrie

مستوى وهمي نرمز له P، يقسم البلورة إلى قسمين أو نصفين متساويين و متشابهين بحيث يكون أحد النصفين صورة مرآة للنصف الآخر. قد يكون مستو التناظر أحادي أو متعدد (الشكل6) .



الشكل6: أشكال تمثل مستويات التناظر.

3.3-مركز التناظر: Centre de symétrie

نقطة وهمية مركزية في قلب البلور نرمز لها C، تترتب حولها الأوجه البلوريــة و الأحــرف و الزوايا في أوضاع متماثلة و في اتجاهين متضادين و على مسافتين متساويتين من هــذه النقطــة. إذا وجدت نقطة التناظر فإنها تكون وحيدة.

الأنظمة البلورية:

تبين من دراسة البلورات المعدنية المتواجدة في الطبيعة أنه يمكن تصنيفها إلى سبع أشكال مختلفة تدعى الفصائل أو الأنظمة البلورية، و ذلك بالاستناد إلى عناصر التناظر من جهة و خصائصها الهندسية من جهة أخرى.

1- النظام المكعب: Le système cubique

تشمل هذه الفصيلة جميع الأشكال البلورية التي لها شكل مكعَب و تتميَز بالعناصر التناظر التالية: 3A4 , 4A3, 6A2, 9P, 1C . أمَا الخصائص الهندسية فتمتاز البلورة بأضلاع متساوية الطول و متعامدة: أ = ب = ج و الزوايا: $\alpha = \beta = \gamma = 90°$

ومن أمثلة هذا النظام البلوري بلورات المعادن التالية:

معدن الهاليت ($Na^{+}Cl^{-}$) ، معدن الفليورين ($Ca^{2+}F_2^{1-}$) و معدن الغالينا($Pb^{2+}S^{2-}$)

2- النظام الرباعي: Le système quadratique

يمتاز هذا النظام ببلورات على شكل موشور قائم ذو قاعدة مربَعة أي تتكوَن من 4 أوجه مستطيلة متساوية جانبية و وجهان مربَعان متساويان في القاعدة و الصقف، يشمل هذا النظام البلورات التي تحتوي على العناصر التناظر التالية:

1A4 , 4A2, 5P, 1C، أمَا الخصائص الهندسية فتكون فيها الأضلاع الثلاث، اثنان منها متساويان (أ= ب≠ ج) و تختلفان عن الضلع الثالث (ج) ، لكنها كلَها متعامدة $\alpha=\beta=\gamma=90^{\circ}$.

من أمثلة هذا النظام: بلورة معدن كالكوبيريت ($CuFeS_2$) ومعدن الزركون($ZrSiO_4$)

3- النظام السداسي: Le système hexagonal

يمتاز هذا النظام ببلورات على شكل موشور قائم ذو قاعدة سداسية أي تتكوَن من 6 أوجه مستطيلة متساوية جانبية و وجهان سداسيان متساويان في القاعدة و الصقف، يشمل هذا النظام البلورات التي تحتوي على العناصر التناظر التالية: 1A6, 6A2, 7P, 1C, أمَا الخصائص الهندسية فتكون فيها الأضلاع الثلاث، اثنان منها متساويان (أ= ب≠ ج) و تختلفان عن الضلع الثالث (ج) ، و تكون فيها الزوايا، اثنتان منها متساويتان متعامدة $\alpha=\beta=90^{\circ}$ و تختلف عن الزاوية الثالثة $\gamma=120^{\circ}$.

يتبلور في هذا النظام معدن الكوارتز(SiO_2) و معدن الميكا ومعدن الغرافيت .

4- النظام الثلاثي: Le système rhomboédrique

يمثل شكلها الرئيسي بلورة مؤلفة من معين الوجوه و يتبلور في هذه الفصيلة معدن الكالسيت($CaCO_3$) و معدن الدولوميت($Ca\ Mg\ (CO_3)_2$) و معدن الهيماتيت (Fe_2O_3) المميزات الهندسية لهذا النظام: أ = ب = ج و تكون الزوايا كلَها متساوية لكنها تختلف عن الزاوية القائمة، $\alpha = \pi/2 \neq \gamma = \beta$

كما تحتوي على العناصر التناظر التالية: 1A3, 3A2, 3P, 1C,

5- النظام المعين القائم: Le système orthorhombique

و هو على شكل موشور قائم ذو قاعدة مستطيلة و يحوي على 4 أوجه مستطيلة جانبية يكون فيها كلَ وجهان متقابلان متساويان، يتميز هذا النظام بوجود ثلاثة أضلاع مختلفة الأطـــوال لكنهـــا كلَهـــا متعامدة أي أ ≠ ب ≠ جـ و $\alpha = \beta = \gamma = 90°$

تكون العناصر التناظر كالتالي: 3A2, 3P, 1C,

و من الأمثلة على ذلك تبلور معدن التوباز و الباريتين و الأولفين.

6- النظام أحادي الميل: Le système monoclinique

تتميز بلورات هذا النظام بكون الأضلاع الثلاث مختلفة الأطوال أ ≠ ب ≠ جـ

و تحصر بينها زوايا، اثنتان منها متساويتان عموديتان $\alpha = \gamma = 90°$ و تختلف عـــن الزاويـــة الثالثة $\beta \neq 90°$ ، تكون العناصر التناظر كالتالي: 1A2, 1P, 1C,

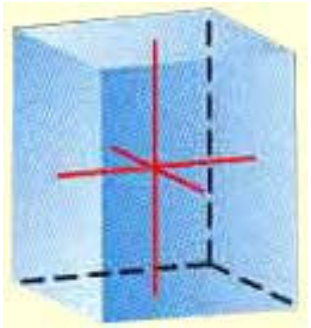
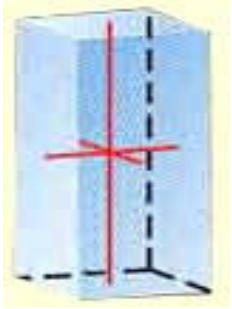
مـــن أمـــثلتها : بـــلورة مـــعدن الـــجبس ($CaSO_4$ ،$2H_2O$) و بلـــورة مـــــعدن الأرتـــوكلاز و بلـــورة مـــعدن الهرنبلاند .

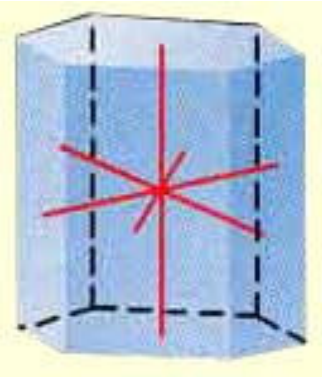
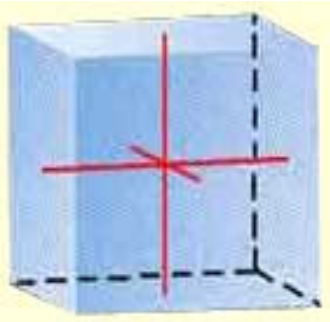
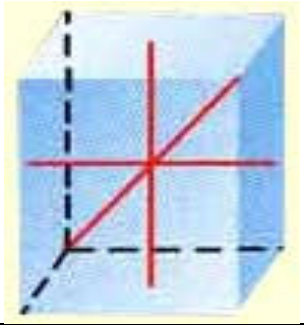
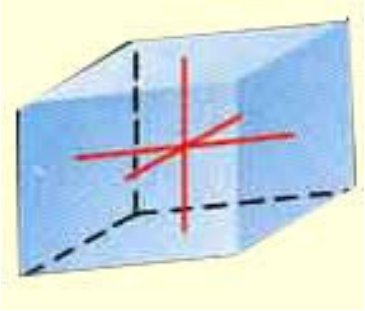
7- النظام ثلاثي الميل : Le système triclinique

تحوي هذه الفصيلة البلورات التي لها ثلاث أضلاع غير متساوية أ ≠ ب ≠ جـ

و الزوايا الثلاث غير متساوية و غير متعامدة $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq \pi/2$ كما تكون عناصر التناظر شـــبه منعدمة إذ بإمكان إيجاد فقط 1C.

كما هو الحال في بلورة الألبيت (البلاجيوكلاز).

1 - فصيلة المكعب	
2- فصيلة الرباعي	

3- فصيلة السداسي	
4- فصيلة المعين القائم	
5- فصيلة أحادي الميل	
6 - فصيلة ثلاثي الميل	

الخواص الفيزيائية للمعادن:

1ــ الخصائص الضوئية.

2ــ الخصائص التماسكية.

3ــ الخصائص الحسية.

4ــ الثقل النوعي.

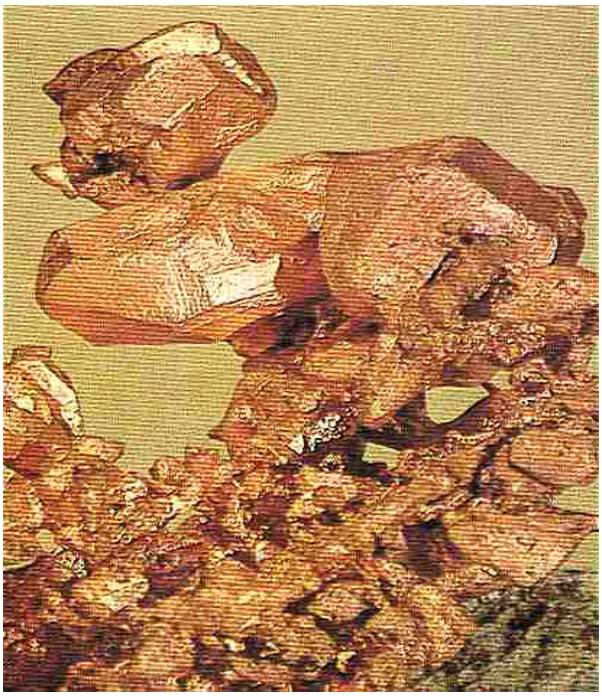
1/ الخصائص الضوئية:

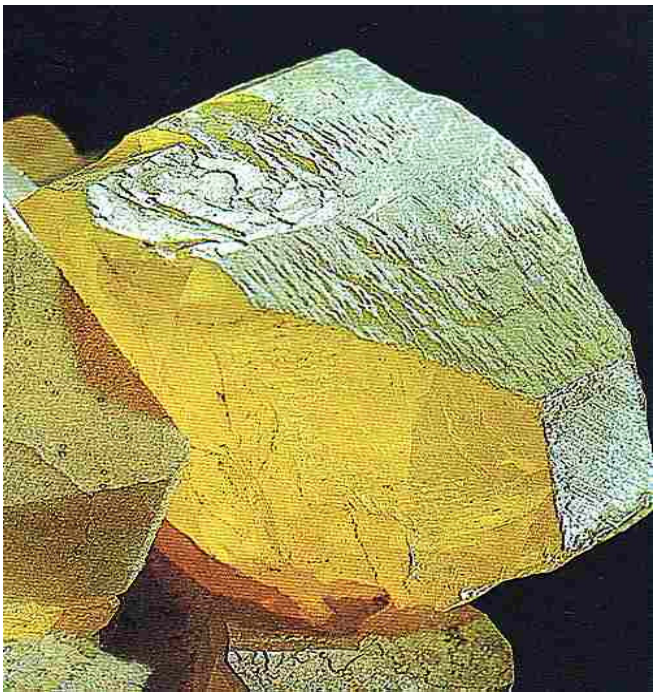
هي عدة صفات تعتمد أساسا على امتصاص الضوء أو انعكاسه على سطح المعدن ، و كمثال عــن هذه الصفات اللون و المخدش و البريق و الشفافية.

1/1اللــون:

اللون من الصفات الطبيعية التي تساعد في التعرف على المعادن و هو نوعان.

اللون الثابت: هو الذي يعتمد على التركيب العام للمعدن (مثلاً اللون الأحمــر للنحــاس ، الأخــضر للملاكيت ، الأصفر للذهب) .

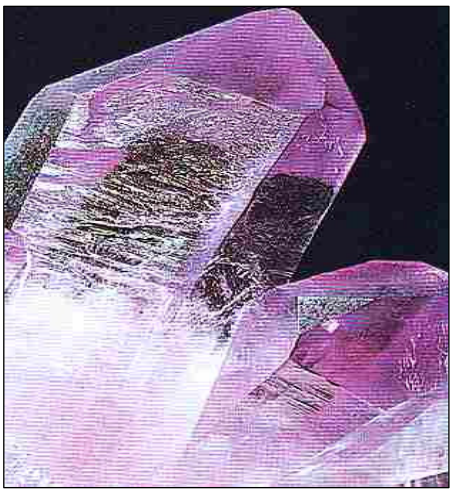




النحاس الذهب

(الشكل8) صور لمعدني الذهب و النحاس

اللون الدخيل: وهو الذي يعتمد على وجود و انتشار بعض المواد الملونة الدخيلة على هيئة شـــوائب في المعدن.



فالكوارتز مثلاً يكون عديم اللون ويكون أيضا لونه بنفسجياً عند احتوائه على آثار من التيتانيوم Ti و يدعى (أميثيست Améthyste).

(الشكل9) معدن الكوارتز(أميثيست Améthyste).

كما أنه يعزى لون أي معدن إلى مقـــدرة ذلـــك المعـــدن علـــى امتصاص بعض أطياف الضوء الأبيض العادي وانعكاس البعض الآخر. فمعدن الكبريت مثلاً يبدو أصفر اللون لأنه يعكس الأشعة الصفراء من مجموعة الألوان المكونة للضوء الأبيض.

2/1المخدش

المخدش عبارة عن لون مسحوق المعدن الذي يمكن الحصول عليه عن طريق حك المعدن .

المعادن ذات البريق الفلزي لها عادة مخدش لونه داكن (قاتم) أما المعادن ذات البريق اللافلـــزي مخدش لونه فاتح أو ابيض.

2/ الخصائص التماسكية:

هي مجموعة من الصفات تعتمد أساسا على مقدار و شدَة تماسك جزيئات المعدن و ذراته مثل الصلابة و الانفصام والمكسر.

2/1ــ الصلابة: Dureté

هو عبارة عن شدَة المقاومة التي يبديها المعدن للخدش. وقد اقترح العالم النمساوي فردريك موهاس Mohas مقياس للصلادة باستخدام عشرة معادن رتبها على عشرة درجات ثابتة (1 ــ 10) تميِّز كل درجة منها درجة صلابة معدن معين .

1 ــ التلك 2 ــ الجبس 3 ــ الكالسايت 4 ــ الفليورين 5 ــ الأباتيت

6 ــ الأورثوز 7 ــ الكوارتز 8 ــ التوباز 9 ــ الكوراندون 10 ــ الألماس

2/2 ــ الانفصام Clivage:

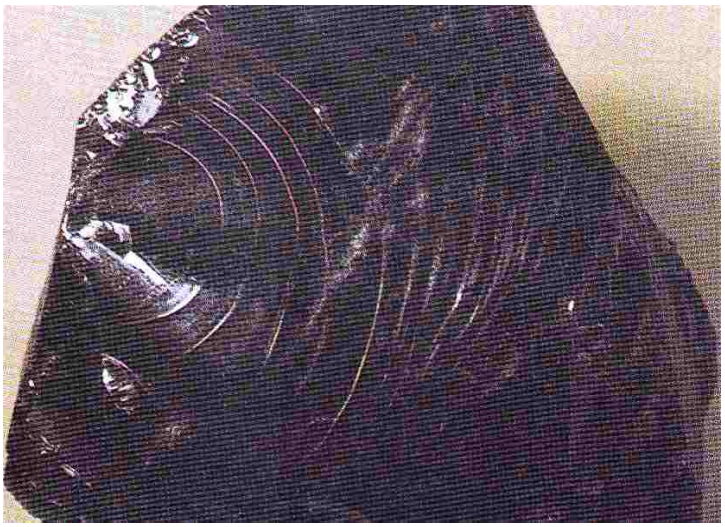
هو عبارة عن مستويات ضعف في المعدن، وجودها يعطي للمعادن قابلية عن الانفصال وفق مستويات معينة منتظمة ومتوازية عند تعرضها لضغط معيَن ويطلق عليها مستويات الانفصام. تمثل مـــستويات الانفصام الاتجاهات التي تكون فيها الروابط الذرية ضعيفة (رابطة فـــان دار فـــالس) و لـــذا يـــسهل

انفصالها عن بعضها البعض على شكل وريقات أو صفيحات،يكون عندئذ الانفصام جيَدا مثل في معدن الموسكوفيت (شكل) أو ضعيف في أحيانا أخرى تبعاً لكماله وسهولته.

(الشكل10) : الانفصام الجيد في معدن المسكوفيت **muscovite**

3/2ــ المكسر: وهو عبارة عن الشكل الذي يظهر عليه سطح المعدن عند تعرضه للكسر نتيجة ضغطه أو طرقه، ينكسر المعدن في اتجاهات غير تلك التي ينفصم فيها المعدن ويظهر المكسر على عدة أشكال منها :

أ ــ المكسر المحاري: حيث تظهر خطوط مقوسة على سطح المعدن تشبه خطوط النمو في الأصداف ومثال ذلك حجر الصوان .



(الشكل11) طبيعة المكسر المحاري في معدن الصوان

ب ــ المكسر المسنن حيث تظهر بروزات على سطح المعدن ومثال ذلك النحاس.

ج ــ المكسر المستوى وفيه يبدو السطح مستوى مثل الجالينا .

د ــ المكسر غير المستوي و هو أكثر مكاسر المعادن شيوعا.

3/ الخصائص الحسيـــه:

هـــي عـــدة صفات تعتمد على حـــواس الإنسان مثل الملمس و الرائحة والمذاق.

1/3ــ الرائحة : بعض المعادن لها رائحة خاصة ومميزة ولا سيما عنـــدما تتعـــرض للاحتكـــاك أو التسخين.

2/3ــ الطعم (المذاق): بعض المعادن لها مذاق مميز كالحموضة و الملوحة مثلا، يكـــون التعـــرف عليها أحيانا عندما تذاب في قليل من الماء أو في لعاب الفم.

3/3ــ الملمس: وهو عبارة عن ما تشعر به عند أخذ العينة و لمسها باليد فبعض المعادن لها ملمـــس ناعم وبعضها لها ملمس خشن أو ترابي و بعضها لها ملمس صابوني.

4- الثـــقل النوعـــي:

يعتبر الثقل النوعي من أهم الصفات الطبيعية للمعادن، فهو يمثّل النسبة بين كتلة المعدن وكتلة حجـــم مساو له من الماء، فنجد من بينها المعادن ذات الثقل النوعي الخفيف مثل غرافيت، أو المتوسط مثـــل الكالسيت و كوارتز أو الثقيل مثل الباريتين أو الثقيل جدًا مثل الغالينا، و تكون عموما المعادن الفلزية بصفة عامة أثقل من المعادن اللافلزية.

تصنيف المعادن

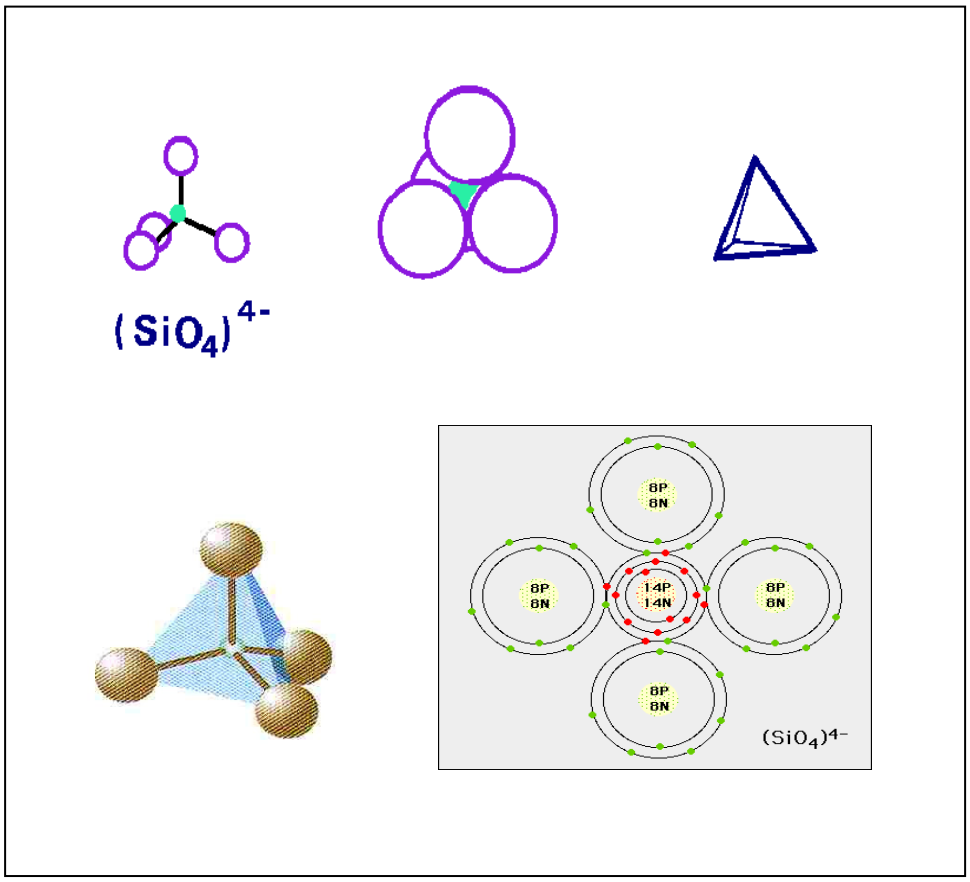
تقسم المعادن إلى مجموعتين : I – المعادن السيليكاتية

Π – المعادن غير السيليكاتية

I – المعادن السيليكاتية :

تعتبر المعادن السيليكاتية أكثر المعادن انتشارا في القشرة الأرضية حيث تشكل حوالي 90 % من معادن هذه القشرة ، و هي معادن غالبا ما تتبلور في الصهارة الصخرية و تميّز أساسا الصخور النارية.

إنَ البنية الأساسية للمعادن السيليكاتية هو الرباعي الأوجه (SiO_4) و المكـــون مـــن أربـــع ذرات أكسجين O^{2-} تحيط وترتبط بذرة واحدة من السيليسيوم Si^{4+} و يسمى هذا التركيب رباعي الأوجـــه tétraèdre و نرمز له $[SiO_4]^{-4}$لكون الأكسوجينات الأربع تحتلَ قمم شكل هرمي تتمركز فيـــه ذرة السيليسيوم، وبالتالي يملك كل رباعي أوجه أربعة تكافؤات كيميائية حرة، حيث يمكن تعديلها بالارتباط بكاتيونات موجبة كما هو الحال في معدن الفورستيريت $[SiO_4]Mg_2$.



(الشكل12) شكل ترابط الرباعي الأوجه

كما يمكن تعديلها بالارتباط مع رباعيات أوجه أخرى بواسطة رابطة تساهمية مع ذرة أكسوجين واحدة أو ذرتينين أو ثلاث أو أربع ذرات أكسوجين لتعطي في كل حالة تراكيب معقدة من المعادن السيليكاتية و تبعا لكيفية ارتباط رباعيات الوجوه فيما بينها قسمت المعادن السيليكاتية إلى 6 مجموعات:

أ – مجموعة النيزوسيليكات : « سيليكات منفردة » Nésosilicates

ب– مجموعة السوروسيليكات « سيليكات مزدوجة » Sorosilicates

ج - مجموعة السيكلوسيليكات « سيليكات حلقية » Cyclosilicates

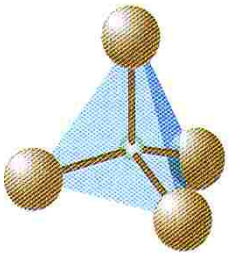
د – مجموعة الفيلوسيليكات « سيليكات صفائحية » Phylosilicates

هـ – مجموعة إينوسيلسكات « سيليكات سلسلية » Inosilicates

و– مجموعة التكتوسيليكات « سيليكات شبكية » Tectosilicates

I –1 مجموعة النيزوسيلسكات « المنفردة» Nésosilicates :

هي رباعيات أوجه حرة و منعزلة، و بالتالي يكون رمزها الكيميائي (SiO_4)، حيث لا ترتبط الرباعي الأوجه فيما بينها بل ترتبط كل منها بواسطة كاتيونات تقع خارجها، توجد في هذه المجموعة عدة عائلات من المعادن، أبرزها:



(الشكل13)

أوليفيـــــــــــــــــن	زيركـــــــــــــــــون

أ-عائلة الأوليفين: (Olivine): $[SiO_4](Mg,Fe)_2$

يوجد بها قطبين لمعدنين أساسيين و هما: * فورستريت :$[SiO_4]Mg_2$.

* فاياليت:$[SiO_4]\ Fe_2$.

بينهما حدود وسطية تدعى: الاوليفين وهي عائلة ذات إمتزاجية كاملة بين القطب الحديدي و القطب المغنيزي، كما تدعي سلسلة متشاكلة (متماثلة الشكل) (Série isomorphe)

يوجد معدن الأوليفين في الصخور النارية القاعدية وفوق القاعدية يتبلور في النظام المعين القائم ذو لون أخضر زيتوني في حين يكون عديم اللون تحت المجهر، له بريق زجاجي، يفسد إلى معدن السربنتين Serpentine و يتحول إلى أكاسد الحديد على امتداد الشقوق.

أما في صخور البازلت يتحول إلى غوتيت وكلوريت.

الشكل14 : صورة لمعدن الاولفين

أ-1. الفاياليت $[SiO_4]Fe_2$:

يتواجد في الصخور الغنية بالحديد مثل : البازلت ، كذالك يمكنه التشكل في الصخور سابقة التشكل مثل : صخور السيديريت الغنية بالحديد والتي عندما تتشرب بالمحاليل السيليسية الحارة تعطي الفاياليت:

$$2Fe\ CO_3 + SiO_2 \rightarrow [SiO_4]fe_2 + 2CO_2$$

سيديريت — فاياليت

ا-2.**الفورستريت** $[SiO_4]Mg_2$:

يتواجد في صخور الدولوميا الاستحالية ،يحدث له التبلور عندما تكون بالماغما كمية قليلة مـــن السيليس وكمية كافية من المغنيزيوم Mg حسب المعادلة التالية :

$$SiO_2 + 2MgO \rightarrow [SiO_4]\ Mg_2$$

سيليس فورستريت

لكن حينما تكون كمية أكثر من السيليس في المهل يكون أكثر حامضية فإنه يحدث تكون للفورستريت ، لكن سرعان ما يتكون معدن آخر بتفاعله مع السيليس الموجود في المهل

حسب المعادلة التالية :

$$[SiO_4]Mg_2 + SiO_2 \rightarrow [[Si_2O_6]Mg_2]$$

فورستريت أونستاتيت

أيضا يمكن إن يتشكل الفورستريت إنطاقا من تحول معدن آخر، مثال :

صخور الدولوميا عندما تتشرب بمحاليل سيليسية تتحول إلى فورستريت حسب المعادلة التالية:

$$2(Ca, Mg)(CO_3)_2 + SiO_2 \rightarrow [SiO_4]Mg_2 + 2\overline{Ca}\ CO_3 + 2CO_2$$

دولـــــوميت السيليس فورستريت

ب-عائلة السيليكات الألومينى : $[SiO_4]\ Al_2O$:

ب-1. سيليكات الالومين:

تكون فيها ذرات الألمنيوم (Al) خارج رباعيات الأوجه حيث تكون هذه المعادن غير متشاكلة (متعددة الشكل) (Série polymorphe) أي لديها تركيب كيميائي واحد لكن تختلف في أنظمتها البلورية أي تتواجد على هيئة معادن مختلفة رغم أنه لديها نفس التركيبة الكيميائية. تعتبر هذه العائلة مؤشر جيـــد على درجة التحول في الصخور المتحولة .تتمثل هذه المعادن في الأندالوزيت، السيليمانيت و الديستان.

* **الأندالوزيت:** عـــبارة عـــن مواشير تـــرى بالعين المجردة ذو لـــون وردي أحيانا وبريق زجاجي، يفسد بسهولة إلى معدن سيريسيت ، تكون له أحيانا محتويات فحمية ترسم صليبا في المقاطع الموازية للقاعدة تبدي الكياستوليت chiastolite.

(الشكل15) **صورة لمعدن الأندالوزيت**

***السيليمانيت** : عبارة عن مواشير إبرية أو باقة من الألياف المجهرية ذو لون أبيض خزفـــي وهـــو معدن شائع في الصخور الإستحالية .

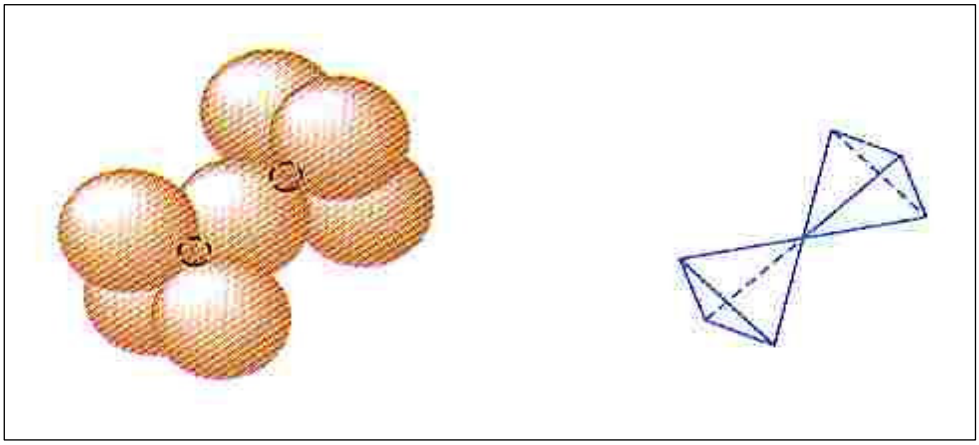
(الشكل16) صورة لمعدن السيليمانيت

***الديستان** : معدن الصخور المتحولة يتواجد بشكل قضيبات مفلطحة ذات إنفصام تام ، لونـــه أزرق صدفي في حين يكون عديم اللون تحت المجهر.

(الشكل17) **صورة لمعدن الديستان**

I-2- مجموعة السوروسيليكات Sorosilicates :

يلتحم اثنان من رباعيات الأوجه فيما بينهما بواسطة أحد الرؤوس مشتركة بذرة«O» فيصبح جذرها الأساسي $[Si_2O_7]^{-6}$. و من أهم معادن هذه المجموعة :



(الشكل20) **كيفية ارتباط رباعيات الأوجه في مجموعة السوروسيليكات**

-عائلة الأبيدوت : (Epidote)

يتميز تركيبها البنائي برباعيات أوجه مزدوجة وأخرى منفردة ، وهي مجموعة متشاكلة لها نفي البنية البلورية ، حيث تتبلور في نظام أحادي الميل صيغتها العامة هي :

$$[Si_2O_7]\ (SiO)_4]Ca_2\,(Fe,Al)_3O(OH)$$

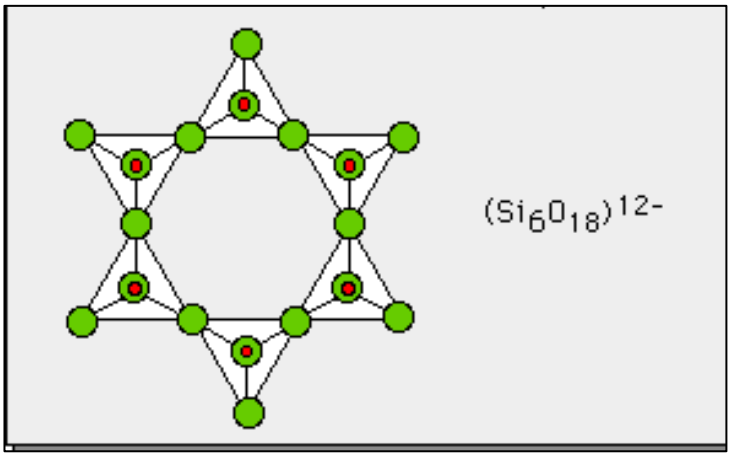
تضم هذه العائلة جملة من المعادن هي: كلينوزويزيت Clinozoisite، بيمونتيت piemontite و الألانيت Allanite .

تكون معادن الأبيدوت على شكل حبيبات أو أليـاف أو مواشـير متطاولـة ذات لـون أخـضر (البيمونتيت فقط وردي) تتواجد في صخور الكورنيان و الشيست.

(الشكل21) صورة لمعدن الابيدوت

I-3- مجموعة السيكلوسيليكات "حلقية" , Cyclosilicates :

في هذه الحالة يتصل 3 أو 4 أو 6 من رباعـيات الأوجه $[SiO_4]^{4-}$ مكونة بنيـة حلقية .



(الشكل22) **توزيع رباعيات الأوجه في مجموعة السيكلوسيليكات**

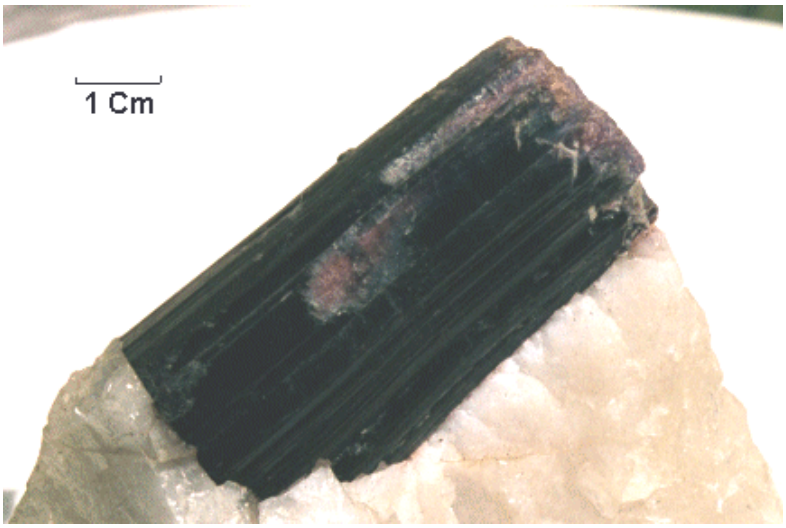
تحتوي هذه المجموعة على عدّة معادن أهمها:

I-3-أ-معدن التورمالين: $[Si_6O_{18}](BO_3)_3\ Al_6\ y_3\ Na(OH,F)_4$:

حيث:

y { Mg ⟹ Dravite درافيت
(Fe,Mn) ⟹ Schorlite شورليت
(Fe,Mn) ⟹ Rubellite روبيليت

هو معدن شائع في الصخور النارية و الصخور المتحولة، نجده على شكل مواشير متطاولة تتبلور في النظام الثلاثي ، يعتبر التورمالين معدن نموذجي للأوساط الغازية في صخور البغماتيت و عروق الكوارتز و بعض أنواع الغرانيت ، يكون النوع الأكثر شيوعا هو التورمالين الأسود الغني بالحديد حيث أن النوع الحديدي منه أسود و المغنيزي أخضر أو أسمر. يمتاز التورمالين بمحتويات مدسوسات من الزركون المحاطة عادة بهالات ذات بليوكروويزم.



(الشكل23) صورة لمعدن التورمالين

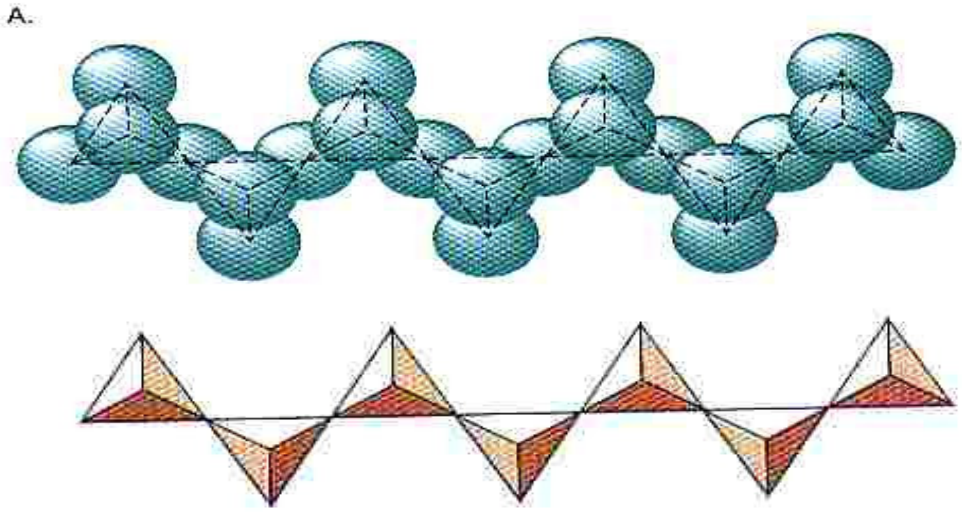
I-4- مجموعة الإينوسيليكات Inosilicates :

مجموعة ذات رباعيات الأوجه سلاسلية قد تكون السلاسل بسيطة أو مضاعفة :

I-4-أ- إينوسيليكات ذو السلاسل البسيطة (بيروكسين) :

تشمل رباعيات الأوجه مع بعضها لتكون سلسلة شريطية الشكل بحيث كل رباعي الوجوه يرتبط بإثنين آخرين بالرأس عند ذرتي "O" يكون جذره من الشكل $[Si_2O_6]^{-4}$

حيث تميز هذه البنية معادن البيروكسين .



شكل25 : البنية إينوسيليكات ذو السلسلة البسيطة في معادن البيروكسين

***عائلة البيروكسين:**

هي عائلة بها عدد كبير من المعادن ذات شكل موشوري، تتميَز بعائلتين من الإنفصامات بينهما 90° و في بعض الأحيان يكون لها توأمة أو نطاق، تتواجد معادن البيروكسين خصوصا في الصخور النارية القاعدية و بعض الصخور المتحولة .

تنقسم عائلة البيروكسين حسب نظامها البلوري وحسب تركيبتها الكيميائية إلى ثلاثة مجموعات:

- البيروكسين الحديدية المغنيزية المحضة تتبلور في النظام المعيَن قائم (OPX) Orthopyroxène
- البيروكسين الحديدية المغنيزية الكالسية (غنية بالكالسيوم) تتبلور في النظام أحادي الميل (CPX) Clinopyroxène.
- البيروكسين الصودية (غنية بالصوديوم) تتبلور في النظام أحادي الميل.

1/ **البيروكسين الحديدية المغنيزية المحضة:** (Orthopyroxène)

تسمى أورتوبيروكسين و تكوَن معادنها سلسلة متشاكلة بين قطبين معدنيين و هم:

الأنستاتيت Enstatite $(Si_2O_6)\ Mg_2$

الهبرستان Hypersthène $(Si_2O_6)\ (Mg, Fe)_2$

إنَ القطب الحديدي المحض الممثل بمعدن الأورتوفيروسيليت لا يوجد في الطبيعة .

يوجد Enstatite بشكل مواشير خضراء ترى بالعين المجردة ذات بريق زجاجي ، أما Hypersthène يحوي ما بين (20←40)% من FeO ذو لون أسود و بريق صدفي لكن يوجد نوع من هبرستين هو البرونزيت نسبة FeO فيه تتراوح ما بين (05←15)%

يفسد هذا النوع من البيروكسين بسهولة و يتحول خاصة إلى طالك و سربنتين صفائحية تؤلف هذه المعادن عناصر ثانوية أو رئيسية في الصخور النارية .

(الشكل26) صورة لمعدن الانستاتيت

2/- بيروكسين حديدية مغنيزية كالسية : (Clinopyroxène)

و هي سلسلة متشاكلة (متماثلة الشكل) ما بين قطب مغنيزي و قطب حديدي.

- ديوبسيد (Diopside) (Si_2O_6) Ca Mg
- هيدنبرجيت (Hedenbergite) (Si_2O_6) Ca Fe

- البيجونيت : عبارة عن بيروكسين ذو نسبة ضعيفة من الكالسيوم يعتبر وسطي بين السلسلة المتشاكلة للديوبسيد و الهيدنبرجيت.

- **الأوجيت:** و هو نوع جديد من البيروكسين يسمى الأوجيت (Augite) يتشكل عندما يثبت الديوبسيد الألمنيوم (Al) التيتانيوم (Ti) . يمكن أن تبلغ فيه نسبة التيتانيوم 5% فيسمى أوجيت تيتاني ذو لون أسود يعطي للبازلت اللون الأسود، يتحول إلى سربنتين و كلوريت و طالك و كالسيت و إلى امفيبول (انظر الاورالیت فيما بعد).

تؤلف البيروكسين عناصر أساسية في الصخور النارية .

3/- البيروكسين الصودية :

تشكل مجموعة متشاكلة (متماثلة الشكل) بين قطب ألوميني وقطب حديدي

تشمل : * آجيرين Aegyrine $(Si_2O_6)Fe\ Na$.

* جاديت Jadeîte $(Si_2O_6)Al\ Na$.

يعتبر آجيرين معدن رئيسيا للصخور النارية، يبدو عند فحصه بالعين المجردة بشكل مواشير إبرية خضراء أو سوداء ، بريقه زجاجي ، حيث يرافق الصخور النارية الحمضية والفونوليت.

أما الجاديت فهو معدن نادر يتواجد في بعض الصخورالمتحولة له بنية خيطية خفية التبلور.

(الشكل27) **صورة لمعدن الجاديت**

*** الفولاستونيت $(Si_3O_9)\ Ca_3$:** هو نوع من البيروكسين يشكل معدن الصخور الكلسية المتحولة يتواجد على شكل خيوطا تتجمع بشكل باقات بلون أبيض.ينتج بإضافة نسبة من السيليس إلى معدن الكالسيت وفق المعادلة التالية.

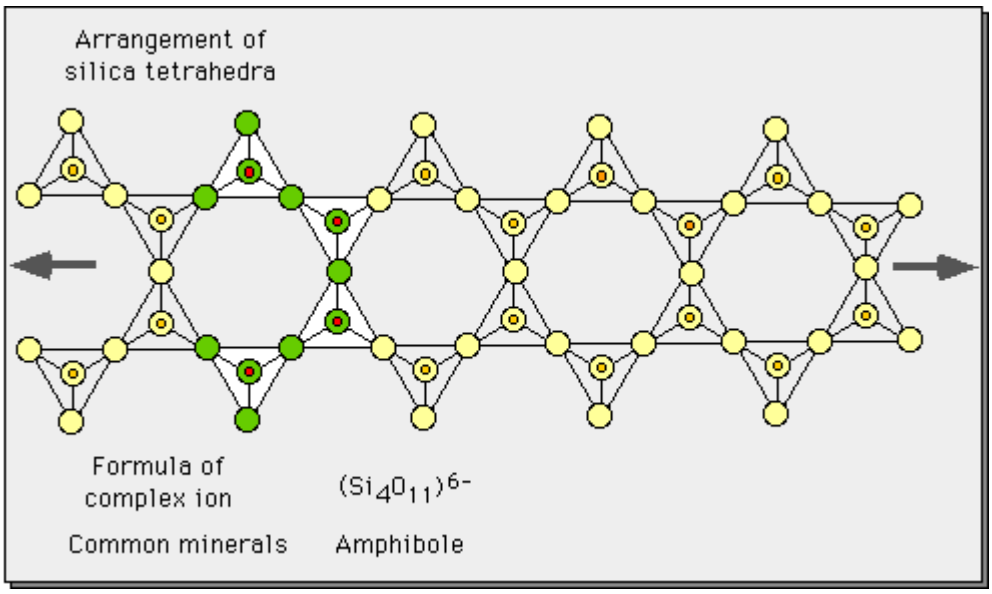
$$3Ca\ CO_3 + 3SiO_2 \longrightarrow (Si_3O_9)\ Ca_3 + 3CO_2$$

I-4-ب- ذات سلاسل مضاعفة (الأمفيبول) :

تشكل مجموعة مشابهة لمجموعة البيروكسين ذات السلاسل البسيطة، تحل محلها في هذه الحالة سلاسل مضاعفة يكون الجذرها الأساسي $[Si_4O_{11}]^{6-}$ أو $[Si_8O_{22}]^{12-}$ ، نلاحظ في الشكل الموالي كيف تترك الرباعيات الأوجه فراغات كبيرة فيما بينها، تملأها مركبات مائية أي شوارد من OH ومنه يعتبر الأمفيبول معادن هيدروكسيلية .

- عائلة الأمفيبول

تميَّز الأمفيبول الصخور النارية المتوسطة الحموضة و أيضا الصخور المتحولة حيث لا تكون ثابتة إلا بدرجات حرارة قليلة الإرتفاع نسبيا لوجود أيونات (OH) في تركيبتها.تمتاز بعائلتين من الإنفصامات تشكل بينها زاوية 60° .



(الشكل28) البنية السلاسلية المضاعفة لمجموعة الإينوسيليكات (معادن الأمفيبول)

- يمكننا تقسيم عائلة الأمفيبول أيضا إلى:

1- امفيبول حديدية مغنيزية صرفة.

2-- امفيبول حديدية مغنيزية و كلسية .

3- امفيبول صودية.

1- <u>الأمفيبول الحديدية المغنيزية الصرفة</u> :

تتمثل في معدن الأنتوفيليت (Anthophyllite) ذو الصيغة الكيميائية التالية :

$(Si_8O_{22})(Fe , Mg)_7 (OH)_2$ ، يوجد هذا الأخير بشكل مواشير أو خيوط بلون أسمر قاتم ، يتبلور في نظام المعين القائـــم ، و هـــو مـــعدن نصادفه خاصة في الصخور المتحولة.

<u>2- الأمفيبول الحديدية المغنيزية الكلسية :</u>

و هو مجموعة متماثلة الشكل ذات حدين تريموليت و أكتينوت حيث :

$(Si_8O_{22})\ Ca_2Mg_5(OH)_2$ تريموليت Trémolite .

$(Si_8O_{22})\ Ca_2\ (FeMg)_5(OH)_2$ أكتينوت Actinote .

إن التريموليت و الأكتينوت هي معادن صخور المتحولة تكون بشكل إبر بيضاء في حالة التريموليت و خضراء في الأكتينوت و كلاهما عديم اللون تحت المجهر، ا تفسد التريموليت إلى طالق و كالـــسيت في حين الأكتينوت يتحول عند فساده إلى كلوريت و أبيدوت، توجد هذه المعادن في الصخور الكلسية المتحولة و بتماس مع الصخور النارية أو عروق الكوارتز. إن هذه البلورات قابلة للتجمع على شـــكل خيوط حيث عندما تكون هذه الأخيرة ناعمة إلى غاية يصبح فيها التريموليت أسبيستا و هو الذي تطلق عليه لفظة أميانت عندما تكون الخيط حريرية مرنة.

- **معادن الهرنبلاند :(Hornblende)**

عندما تشحن شبكة الأكتينوت بالألمنيوم و الحديد ، يتشكل معدن الهورنبلاند المعروف و الذي يتميز بالصيغة الكيميائية التالية :

$(Si_6\ Al_2\ O_{22})\ Ca_2\ (Fe,\ Mg)_4\ Al(OH_2)Na$

يوجد بشكل مواشير لونها أخضر قاتم و تسمى الهرنبلاند الخضراء أو لون أسمر بنّي و تسمى الهرنبلاند السمراء، تكون ذات إنفصامات واضحة تشكل بينها زاوية 60 °. وهي معادن الصخور النارية، تتحول بالفساد إلى كلوريت و أبيدوت.

هناك نوع شائع له هو الاورالیت يكون بشكل إبر خضراء فاتحة تميل للاصفرار ويتكوَن نتيجة فساد البيروكسين حيث تلتحم فيه سلاسل البيروكسين البسيطة مثنى مثنى و تتحول إلى سلسلة مضاعفة .بينما يطرد (Ca) ويحصل تثبيت لشوارد (OH) يطلق على هذه العملية :الاورالیتية (Ouralitisation) .

.

(الشكل29) صورة لمعدن الهورنبلان

<u>3- الأمفيبول الصودية</u> :

هناك عدة أنواع منه ، يتراوح غناه بالصوديوم: (NaO_2) بين5-10 %. أهم هذه الأنواع هي الريبيكيت (riebeckite) غنية بالحديد وتختص بالصخور النارية، و معدن الغلوكوفان هو معدن مغنيزي ألوميني يختص بالصخور المتحولة:

الريبيكيت $(Si_8O_{22})Fe_4Na_2(OH)_2$

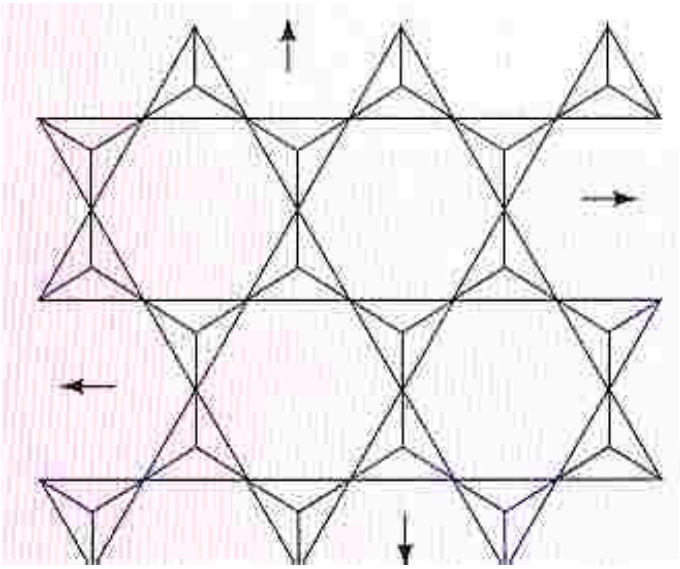
غلوكوفان $(Si_8O_{22})Mg_3Al_2\ Na_2(OH)_2$

يؤلف الريبيكيت إبر سوداء مزرقة ترى بالعين المجردة وتعطي ألوانا متعددة تحت عدسة المجهر تتراوح بين الأزرق ، واللونين الأصفر والرمادي أما الغلوكوفان أسود بالعين المجردة ويعطي انعكاسات زرقاء بنفسجية

I-5-الفيلوسيليكات phyllosilicates:

مجموعة ذات بنية ورقية، تتصل رباعيات الأوجه فيما بينها لتكوَن صفائح مستوية، تتراكم هذه الأخيرة فوق بعضها مرتبطة بواسطة كاتيونات K^+ ،بقوى ضعيفة من نوع فان دار فالس مما يعطي نفصام تام و جيِّد لمعادن هذه المجموعة و تكون الصفيحات رخوة و مرنة وذات كثافة ضعيفة ويكون الجذر الأساسي لها هو $[Si_4O_{10}]^{-4}$ حيث يرتبط كل رباعي وجه بثلاث رؤوس من الرباعيات المجاورة ويحدث استبدال

Si بـ Alويصبح $[Si_3Al\ O_{10}]^{-5}$ أو $[Si_2\ Al_2\ O_{10}]^{-6}$ وغالبا ما تدخل مجموعة OH في بنية السيليكات.



(الشكل30) **كيفية ارتباط رباعيات الأوجه في مجموعة الفيلوسيليكات**

تحتوي مجموعة الفيلوسيليكات على المعادن التالية :

I-5-1- عائلة الطالك :

تشمل معدنين أساسيين أحدهما مغنيزي وهو الطالك ، والآخر يماثله في الرمز لكنه ألوميني وهو البيروفيليت.

الطالك (Talc) $(Si_4O_{10})\ Mg_3(OH)_2$

البيروفيليت (Pyropyillite) $(Si_8O_{20})\ Al4(OH)_4$

يتواجد الطالك في الصخور المتحولة و التشكيلات الهيدروترمالية (مياه معدنيـــة حـــارة) ، يكون بشكل صفيحات مجهرية تتبلور في الفئة السداسية الكاذبة و ذات ملمس دهني ، يصعب تمييزها عن سيريسيت و هو نوع من الميكا.

(الشكل31) **صورة لمعدن الطلك**

1-5-2- عائلة الميكا :

لها نفس الوريقة البنيوية البدائية للطلق أو البيروفيليت و لكن في هذه المعادن يـــتم اســـتبدال جزئي Al ب Si في الرباعي الأوجه، فتتحرر تكافؤات يتم تعديلها بالارتباط بذرات أو أيونـــات ذات شحنات ضعيفة مثل .K, Na التي بواسطتها ترتبط الوريقات الخفيفة و الليِّنة فيما بينها و هي تطابق سطوح الانفصام التامة في الميكا.

يتبلور الميكا في النظام أحادي الميل ، هناك نوعان من الميكا :

- الميكا السوداء (البيوتيت) (Biotite): تكون مغنيزية.

$[Si_3Al\ O_{10}]\ (Mg,Fe)_3\ K\ (OH,F)_2$

- الميكا البيضاء (المسكوفيت) (Muscovite): تكون ألومونية.

$[Si_3Al\ O_{10}]\ Al_2\ K\ (OH,F)_2$

1- <u>البيوتيت</u> : $[Si_3Al\ O_{10}]\ (Mg,Fe)_3\ K\ (OH,F)_2$

يتواجد في الصخور النارية و المتحولة يمكن التمييز بالعين المجردة لون وريقاته (بني قاتم) ، ونتعرف عليها تحت عدسة المجهر من سطوح إنفصاماتها و من تعتيمها المستقيم وكذا البليوكرويزم القوي (تبادل لوني) من أسمر قاتم إلى أسمر مصفر.

(الشكل32) معدن البيوتيت

معدن الموسكوفيت

تشكل عائلة البيوتيت سلسلة متشاكلة بين قطب حديدي المتمثل في معدن الليبيدوملان (Lépidomelane) أو الآنيت (Annite) هو بيوتيت سوداء غنية ب Fe و قطب مغنيزي المتمثل في نجد معدن الفلوغوبيت (Phlogopite) ولونه أصفر فاتح و هو مغنيزي صرف ، عند فساد البيوتيت يتحول تدريجيا إلى كلوريت ، تظهر البيوتيت تحت المجهر عدة محتويات من أكاسيد الحديد المغناطيسي (الماغنيتيت) Magnétite ، والفوسفات الكلسي (الاباتيت) Apatite و على الأخص معدن لزركون Zircon حيث لهذا الأخير أهمية كبرى في تقدير عمر الصخور النارية الحاوية على البيوتيت، يمتاز بفاعلية إشعاعية يؤدي إلى وجود هالة تحيط بالزر كون

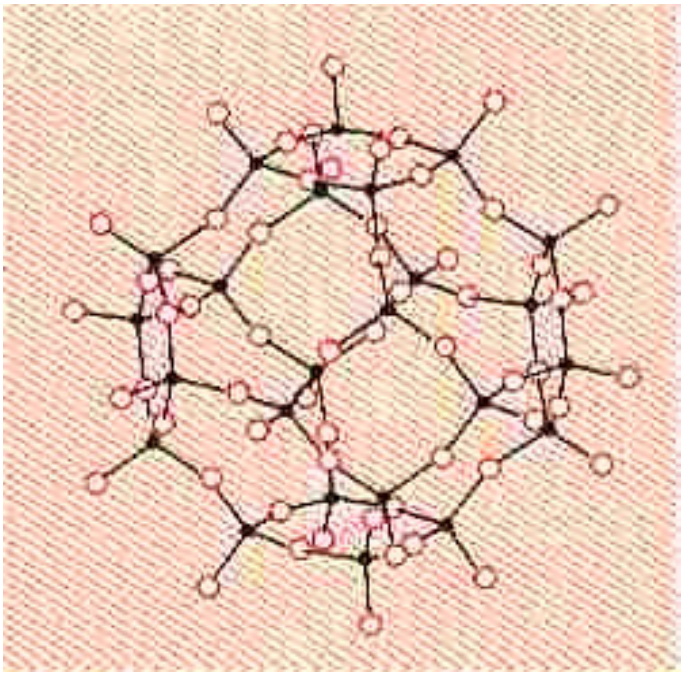
الموسكوفيت $[Si_3Al\ O_{10}]Al_2\ K\ (OH,F)_2$

تكون على شكل صفائح شفافة تنتشر في الصخور الإندساسية الحامضية كالغرانيت و في الصخور المتحولة كالميكاشيست و الغنايس ، قد يصل حجمها إلى عدة سنتيمترات في البغماتيت و تأخذ أحيانا أشكال إبرية دقيقة (سيريسيت) في صخور الشيست.

I-6-التكتوسيليكات Tectosilicates:

هي سيليكات ذات التركيب الشبكي ، حيث أن كل هرم أو رباعي أوجه يستخدم ذرات الأكسجين الأربعة ليتصل بأيونات أخرى مجاورة وينتج عن ذلك هيكل شبكي في أبعاده الثلاثة

لتصبح جذرها الأساسي^0 [SiO_2] الذي يميز أنواع مختلفة مثل : الكــوارتز، الــصفاح، الــصفاح الكاذب.



(الشكل33) **البنية الشبكية لمجموعة التكتوسيليكات**

بها ثلاث مجموعات من المعادن:

I-6-1- معادن السيليس: SiO_2 :

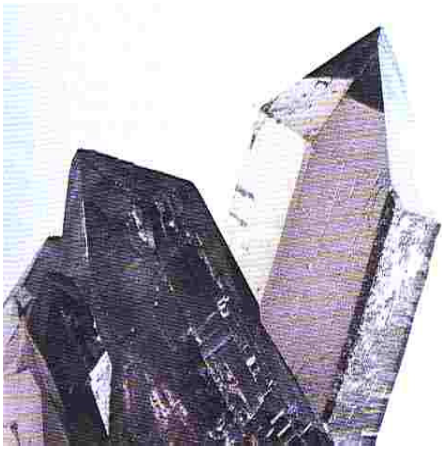
يوجد في الطبيعة على ثلاث أشكال: الكوارتز، التريديميت، الكريستوباليت. يرمز لها بــ: SiO_2.

أ- الكوارتز Quartz:

مركب شائع في الصخور بمختلف أنواعها، يعرف بقساوته الشديدة ، صافي ذو بريق دهني لا يوجد به سطوح الانفصام و لا أثر الفساد، يتبلور في النضام السداسي عند درجة حرارة أقل من 1050مْ، يكــون في الغرانوليت و الماكروغرانوليت بشكل حبيبي غالبا، وبلورات صغيرة ذات هرمين وجوهه بالية. أما في البغماتيت بشكل قضبان غليضة، زاوية المحيط ذات تعتيم تام لتشابه اتجاهاتها. في حين أن الغرانيت يكون الكوارتز بلوري واضح الشكل.

يكون الكوارتز عديم اللون عادة، غير أنه أحيانا يعطي ألوان،

بسبب أثر المعادن الموجودة فيه أو المدسوسات التي يحتويها، له مكسر محوري.



(الشكل34) معدن الكوارتز

ب- التريديميت:

يتبلور في النظام المعين القائم عند درجة حرارة بين 1050مْ إلى 1470مْ، ذو بلورات دقيقة متواجد في الصخور البركانية له بريق ماسي و هو آخر نتيجة لتبلور المهل البركاني الغني بالسيليسيوم.

ج- الكريستوباليت:

يتبلور في النظام الرباعي عند درجة حرارة محصورة بين 1430مْ و 1713مْ، بلوراته أدق من التريميديت يوجد أيضا في الصخور البركانية و هو يمثل التريديميت آخر نتيجة لتبلور المهل البركاني، إلا أن الكريستوباليت تشكل أثناء إزالة زجاجية "زجاج سيليسي" عند الحرارة المنخفضة.

د- كويزيت:

يتبلور في النظام أحادي الميل تحت درجة حرارة عالية و ضغط كبير يفوق 30كيلو بار.

هـ- ستيشوفيت:

يتبلور في النظام الرباعي في ضغط عالي يفوق75 كيلو بار.

و- كالسيدوان: يكون بشكل عقد تتكون من توضعات ليفية دقيقة التبلور، مختلف الألوان دائرية.

ي- أوبال: يكون بشكل عقد ذات مظهر غير بلوري، تحتوي على كمية من الماء (6-10٪) .

I-6-2-معادن الصفاح:

هي مجموعة من المعادن تتبلور إما في النظام وحيد الميل أو ثلاثي الميل، تتميز بانفصام تام في اتجاهين متعامدين تقسم إلى عدة نماذج: أحدها بوتاسي وآخر صودي والثالث كلسي ، فالنموذج البوتاسي له عدة أشكال يشمل الميكروكلين وهو ثلاثي الميل والأورتوز وهو أحادي الميل .

في النماذج الثلاث تحل Al محل Si فتتحرر تكافؤات مما يسمح بتثبيت كاتيونات: K^+، Na^+، Ca^{2+} في الشبكة البلورية .

1. مجموعة الصفاح البوتاسي $k [Si_3AlO_3]$:

تضم عددا كبيرا من المعادن: الارتوكلاز ، الميكروكلين حيث تسمى هذه المعادن صفاح الحرارة المنخفضة BT والساندين صفاح الحرارة المرتفعة HT

أ- الارتوكلاز: يتبلور في نظام أحادي الميل، نجده في الصخور الاندفاعية الحامضية والمتوسطة مثل الغرانيت و السيانيت والبغماتيت .

نجده أيضا في الصخور المتحولة الغنايس، يكون الأرتوكلاز أبيض اللون أو رمادي وقد يكون إما أخضر أو أزرق أو أحمر أو وردي، له بريق زجاجي ومخدش أبيض نلاحظ به إنفصام جيد في اتجاهين متعامدين، ومكسر محوري، نجده يحوي بلورات موشورية رباعية قصيرة .

(الشكل35) الأورتوز

بـــ- الميكروكلين : $k[Al,Si_3O_6]$:

يتبلور الميكروكلين في النظام ثلاثي الميل ، له بنية منتظمة تماما من حيث أوضاع رباعيـــات الوجـــوه ذات Si أو Al، يكون ذات لون أبيض وبريق زجاجي ومخدش أبيض، له إنفصام تـــام فـــي اتجـــاهين ومكسر غير مستوي، نجده بشكل بلورات موشورية قصيرة أو بشكل تجمعات حبيبية ناعمة في الصخور الاندساسية الحامضية والمتوسطة وفي بعض الصخور المتحولة والرسوبية.

ج- الساندين:

ناتج عن تحولات في معدن الارتوز تحصل بين درجة حرارة من 900مْ – 1000مْ لكنه تحـــول غيـــر عكسي وهو خاص بالصخور البركانية الحديثة ، له مظهر زجاجي متقطع ، يتبلور في نظـــام أحـــادي الميل، يتميز بتوأمة بسيطة و شكل متطاول مستطيل به كسور.

2- مجموعة الصفاح الصودي الكلسي : $(Ca,Na)[Si_3AlO_3]$:

يطلق عليه أيضا البلاجيوكلاز، وهي مجموعة متشاكلة ذات قطب صودي يتمثل في:

$Na[Al\ Si_3O_8]$ هو الألبيت وقطب كلسي يتمثل في$Ca[Al_2Si_2O_8]$ هو الأنورتيت. توجد فـــي هـــذه المجموعة إنفصامات تقريبا عمودية، وإننا نمر تدريجيا بمختلف مفردات المجموعة باستبدالنا المجموعة الذرية (Al Ca) بـــ (Si Na) وقد اصطلحوا على تمثيل هذه الزمرة لضرورات بتوغرافية على النحو التالي :

المعدن	النسبة المئوية للأنورتيت
الالبيت (Albite)	0ـــــــــــــ10٪
أوليغوكلاز (Oligoclase)	10ـــــــــــــ30٪
ألأنديزين (Andésine)	30ـــــــــــــ50٪
اللابرادور (Labrador)	50ـــــــــــــ70٪
بيتونيت (bytwinte)	70ـــــــــــــ90٪
الأنورتيت (Anorthite)	90ـــــــــــــ100٪

(الشكل36) جدول يبين مختلف معادن البلاجيوكلاز

- تكون المفردات الأولى "الألبيت، الأوليغوكلاز" غنية بالسيليس فهي حمضية وتسمى بلاجيوكلاز حمضي أما المفردات الأخيرة "لابرادور، بيوتونيت، الأنورتيت" فهي فقيرة بـ:Si لذا تسمى بلاجيوكلاز أساسي "قاعدي" في حين الأنديزين هو مفرد متوسط .

تتبلور كل المعادن السابقة في نظام ثلاثي الميل، تبدي بريق زجاجي، وتكون عديمة اللون شفافة وقد توجد بها ألوان نتيجة الشوائب التي تخالطها فنصادفها بالون الأبيض، الأخضر، الأزرق...إلخ قد نلاحظ معادن البلاجيوكلاز بشكل بلورات قرصية و موشورية قصيرة، بها توأمة مركبة ، تتواجد معادن البلاجيوكلاز في جميع أنواع الصخور "المتحولة، النارية، الرسوبية" .

2- صفاح بوتاسية صودية$[Si_3AlO_3]$ (K, Na) :

تكون فيها نسبة Na معتبرة تكون بها المعادن التالية:

- الأنورتوز: يتبلور في درجات الحرارة المرتفعة وهو مزيج كامل بين الألبيت بنسبة 60٪ والميكروكلين بنسبة 40٪ وهو معدن صافي متشقق كالساندين لكنه يتبلور في ثلاثي الميل .
- البرتيت: يتبلور في درجات الحرارة المنخفضة، ولا يوجد به تمازج بين الألبيت و الأورتوكلاز.

I-3-6-أشباه الصفاح (Les feldspathoîdes)

هي مجموعة من المعادن تشبه في تركيبها الكيميائي معادن الصفاح إلا أن كمية السيليس فيها أقل من معادن الصفاح وهي تتألف من نوعين رئيسيين:

النوع الأول: النيفيلين "Nepheline ":

أكثر معادن الصفاح الحديثة شيوعا، وهو نوع صودي تركيبه الكيميائي $Na\ [AlSiO_4]$، يتبلور وفق النظام السداسي، يكون عديم اللون أو رمادي، يبدي بريق زجاجي، نجده بشكل بلورات موشورية سداسية ، نصادفه في الصخور النارية القلوية "السيانيت النيفيلي" .

للعلم أن كمية السيليس في هذا المعدن أقل من الألبيت بثلاث مرات، يتآكل النفلين بسرعة ويتحول إلى سيريسيت عندها يعطي اللون الأخضر أو الأسمر.

النوع الثاني: اللوسين "Leucite" :

هو معدن بوتاسي تركيبه الكيميائي $K\ [Si_2AlO_6]$ ، يحتوي على كمية من السيليس أقل من الأورتوز بمرة ونصف، يتبلور في النظام الرباعي، وهو ذو لون أبيض إلى رمادي أو أصفر، له بريق زجاجي ومخدش أبيض، تكون بلوراته على شكل كروي تتألف عادة من 24 وجها وهو من المعادن النادرة، ولكي يتشكل يتطلب وسط غني بالبوتاسيوم أي يصادف هذا المعدن في الصخور البركانية الأساسية الغنية بـ: K_2O والفقيرة بـ: SiO_2

تفاعل بوين:

يمكن دراسة مراحل التبلور لمصهور بازلتي عن طريق سلسلة التفاعل ،التي كان أول من وصفها العالم الفيزيائي" بوين " "Bowen" ،حيث درس مصاهير السيليكات في المخبر.

وتتألف سلسلة التفاعل بوين من سلسلتين:

1- سلسلة تتابع تفاعلي متقطع:

وهو يخص تتابع التبلور لمجموعة المعادن الحديدية المغنيسية .في هذا التتابع يكون التركيب البلوري للمعادن المتتالية مختلفا.فالتحول من معدن إلى معدن آخر يحدث في خطوات منفصلة.

2- سلسلة تتابع تفاعلي متواصل:

وهو يخص تتابع التبلور في مجموعة البلاجيوكلاز.

إذ أن التبلور يبدأ بالانورتيت وينتهي بالالبيت ويسمى هذا التتابع التفاعلي تتابعا متواصل بمعنى أن جميع تراكيب البلاجيوكلاز موجدة من تلك التي هي صودية إلى تلك التي هي كلسية إلى التراكيب المتوسطة.

يتميز هذا التتابع بترتيب بلوري معين وثابت (وهو ترتيب حسب النظام الثلاثي الميل) وهو ترتيب البلاجيوكلاز.

ويفسر تبلور الماغما البازلتية في ضوء سلسلة بوين على النحو التالي:

- أول مايتبلور من المعادن عموما هو الاوليفين، وفي معظم الحالات فإن البلاجيوكلاز الكلسي يتبلور في نفس الوقت أو بعد ذلك بقليل .وتستمر السلسة المتقطعة مع انخفاض درجات الحرارة .فيتفاعل الاولفين مع المصهور ليشكل البيروكسين.

أما البلاجيوكلاز فإنه يستمر في التبلور مع انخفاض درجة الحرارة ويصبح التركيب أكثر صوديا .وإذا كانت عملية التبريد بطيئة بما فيه الكفاية فأن سلسلتين تستمران:

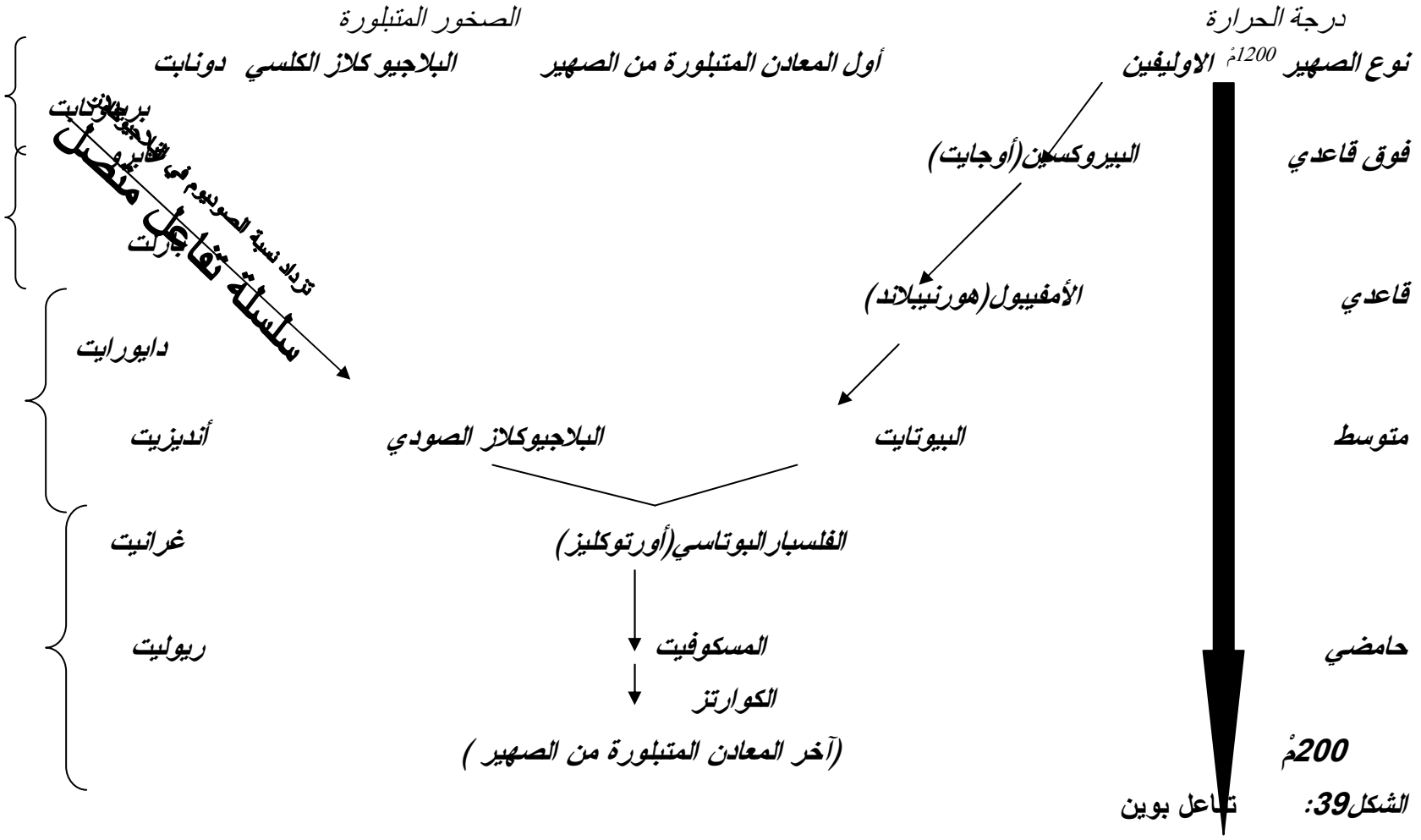
فمعادن السلسلة المتقطعة تتفاعل مع المصهور لتشكل المعدن السفلي التالي. وتستمر معادن البلاجيوكلاز بالتفاعل مع المصهور لتعطي المعادن الأكثر احتواء على الصوديوم وتنتهي هذه العملية عندما تتشكل جميع المعادن الحديدية المغنيسية والبلاجيوكلاز.

عندما تبدأ سلسلة " الفلسبار البوتاسي- المسكوفيت – الكوارتز" .

ويمكن أن تتداخل هذه السلسلة مع الجزء الصودي من سلسلة البلاجيوكلاز.

إذا فإن عملية التبلور تبدأ بتشكيل المعادن الحديدية المغنيسية (Fe,Mg) ،وهي معادن ثقيلة وتنتهي بالمعادن الخفيفة مثل الفلسبار البوتاسي والكوارتز والمسكوفيت .

وهكذا تنفصل البلورات المعدنية من الكتلة الماغماتية بالتدريج وتتكون إذا الصخور المتشكلة بعد التصلب كامل الكتلة الماغماتية :خفيفة وحامضية في أجزائها العليا وأثقل ثم أساسية في أجزائها السفلى (مثل صخر الغابرو).


درجة الحرارة
الصخور المتبلورة
نوع الصهير
1200مْ الاوليفين
أول المعادن المتبلورة من الصهير
البلاجيو كلاز الكلسي
دونابت
فوق قاعدي
البيروكسين(أوجايت)
قاعدي
الأمفيبول(هورنبيلاند)
متوسط
البيوتايت
البلاجيوكلاز الصودي
أنديزيت
الفلسبار البوتاسي(أورتوكليز)
غرانيت
حامضي
المسكوفيت
ريوليت
الكوارتز
200مْ
(آخر المعادن المتبلورة من الصهير)
سلسلة تفاعل منفصل
تردد نسبة السيليسيوم في البلاجيوكلاز
بريدونابت
دايورايت
أوجايت
الشكل39: تفاعل بوين

دراسة سلوك المعادن في الصهير المغماتي:

هناك عدّة أنواع من الصهارات السيليكاتية كلها تقع بين نوعين من الصهارات ،النوع الأول غني في تركيبه بعناصر الألمنيوم و البوتاسيوم و الصوديوم ويسمى بالصهير الحمضي. يتبلور هذا الصهير ويكون صخورا نارية مركبة أساسا من معادن فاتحة اللون مثل الارثوكليز و البلاجيوكلاز الصودي و الكوارتز مع معادن إضافية مثل المسكوفيت و البيوتيت،إذا برد الصهير الحمضي ببطىء يكون صخر الغرانيت،وأما إذا برد بسرعة يعطي صخر الرايولايت أما النوع الثاني من الصهارات فيكون غني بالعناصر:الحديد و المغنيزيوم و الكالسيوم يسمى بالصهير القاعدي،يتبلور الصهير القاعدي ويكون صخور مركبة من معادن غنية بالحديد و الميغنازيوم ، وهي داكنة اللون مثل البلاجيوكلاز الكلسي و الاوليفين و البيروكسين ، وقد يوجد معها الأمفيبول كمعدن إضافي ، يبرد الصهير القاعدي ببطىء ليكون صخر الغابرو،وإذا برد بسرعة يكون صخر البازلت تسمى الصهارات التي لها تركيب بين الصهير الحمضي و القاعدي بالصهارات المتوسطة ، يتبلور الصهير المتوسط و يكون صخورا تتركب أساسا من البلاجيوكلاز و الأمفيبول(الهورنبلاند).

وقد توجد معادن الكوارتز و الارثوكليز و البيروكسين كمعادن إضافية، يؤدي التبريد البطيء للصهير المتوسط إلى تكوين صخر الدايورايت Diroite ، أما إذا كان التبريد سريعا فيكون صخر الأنديزايت Andésite ، هناك نوع من الصهير قليل الشيوع ويحتوي على نسبة عالية جدا من المعادن الغنية بالحديد و الميغنازيوم ويتبلور هذا الصهير ليكون صخور نارية تسمى بالصخور فوق القاعدية Ultrabasique ،وهي صخور غالبا ما تكون مكونة من أحد العناصر التالية:

- الاوليفين (صخر الدونايت Dunite).
- بيرو كسين (صخر البروكسينايت Pyroxenite).
- الاوليفين و البيروكسين (صخر البريدوتيت Peridotite).

دراسة الصخور

للسّنة الثالثة

من إعداد الأستاذ مزاري جمال الدين

I- مقدمة عامة

يعتبر علم الصخور أو البتروغرافيا من الاختصاصات الرئيسية في الجيولوجيا ,حيث يتناول بالإضافة إلى وصف الصخور و تصنيفها, الجانب ألاستنتاجي للمصادر المختلفة التي تنبثق عنها هذه الصخور.
للوصول إلى هذه النتائج يجب اعتماد منهجية علمية يمكن من خلالها الاستحواذ على مجمل المعلومات التي تمكننا بلوغ هذه الغاية. تتلخص هذه الطريقة في الاعتماد على ما يلي :

- **البنية** : هي المظهر العام الخارجي الناتج عن حجم أو تناسق المكونات المعدنية,
- **النسيج** :و هو وصف لحبيبات الصخور وأحجامها والأشكال الهندسية التي تنتج عنها,
- **التركيب المعدني**.

إن الصخور المكونة للقشرة الأرضية ناتجة من تكامل عوامل جيولوجية مختلفة حدثت إما في باطن الأرض أو على سطحها. لذا فإننا نقسم هذه الصخور إلى فئتين كبيرتين هما :

- **صخور باطنية المنشأ** (**الصخور الماغماتية أو النارية**) وتتكون بفعل تصلب الماغما الذي يصعد من باطن الأرض(الوشاح) نحو الأعلى متخللا الشقوق و الصد وع. تلعب سرعة صعود الماغما الدور الأساسي في تحديد نوعية التركيب المعدني و الكيمائي و بالتالي نوعية الصخر النهائي. فالصخور الماغماتية إما أن تكون اندساسية متمركزة في باطن الأرض (ناتجة من التصلب البطيء للماغما و تبلور مختلف المعادن) , بركانية تتشكل على سطح الأرض(ناتجة من الصعود السريع للماغما, تتكون غالبا من الزجاج البركاني و تفتقر للمعادن) أو صخور متوسطة تنشأ بفعل التبريد المتميز الراجع للسرعة المتوسطة لصعود الماغما مما يؤدي إلى تكوين صخور ماغماتية قريبة من سطح الأرض وتتميز بتكوين معدني غني لكن بأحجام ضعيفة (ميكرو حبيبي) .

يمكن إضافة نوع آخر وهو **الصخور المتحولة** التي تنتج خلال تعرض بعض الصخور بكل أنواعها إلى ارتفاع الضغط أو الحرارة (أو الاثنان معا).

- **صخور خارجية المنشأ** مرتبطة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بالظواهر الخارجية الموجودة على سطح الأرض , المتمثلة خاصة في المناخ و التي تؤدي إلى تكوين **الصخور الرسوبية** باختلاف أنواعها .

II – الصخور النارية

II – 1 مقدمة :

تتكون غالبية القشرة الأرضية من الصخور الماغماتية (حوالي 90 %) , و تدعى بالصخور الأولية لأنها أقدم أنواع الصخور و المصدر الرئيسي لجميع أنواع الصخور الأخرى .

يمكن تعريفها بأنها صخور باطنية المنشأ , تتشكل نتيجة تبرد وتصلب الماغما المندفعة من باطن الأرض نحو سطحها.

تنشأ الماغما في الجزء السفلي من القشرة الأرضية أو في الجزء العلوي من الوشاح نتيجة عوامل طبيعية و بنائية تؤدي إلى انصهار الصخور مما يؤدي إلى اختلاف تركيبها الكيمائي من منطقة إلى أخرى. و يترجم هذا الاختلاف في التركيب الكميا ئي للماغما , إلى ظهور صيغة معدنية ملائمة تتفق مع المكونات الأساسية لهذا الأخير و ذلك حسب سرعة اندفاع الماغما نحو السطح .

ملاحضة : عندما تسير الماغما على سطح الأرض فإنها تسمى حمم أو لا فا

II – 2 أنواع الصخور النارية :

حسب سرعة تبرد و تصلب الماغما قي القشرة الأرضية, تقسم الصخور النارية إلى الصخور الباطنية العميقة والصخور الباطنية متوسطة العمق والصخور السطحية أو البركانية.

1. **الصخور النارية المتداخلة الاندساسية les roches plutoniques :** تتكون عقب تبرد و تصلب بطيء للماغما في أعماق سحيقة على شكل كتل صخرية متفاوتة الأحجام , مما يؤدي إلى تبلور كامل و جيد للمعادن حيث تظهر بأحجام كبيرة واضحة بالعين المجردة و سهل التعرف عليها. هذا الترتيب الجيد للمعادن يشكل نسيجا مميزا للصخور النارية الاندساسية يدعى بالنسيج البلوري .

تظهر هذه الصخور على سطح الأرض بعد تعرض المنطقة لعوامل تكتونية منها الحركات العمودية (les soulevements) مصحوبة بالتعرية القوية. أحسن مثال على ذلك الكتل الصخرية الغرانيتية في الهقار والمتواجدة حاليا على سطح الأرض بعدما تعرضت المنطقة لحركات تكتونية عمودية و تعرية شديدة لفترة تزيد على 550 مليون سنة.

2. **الصخور الوسطية**
3. **صخور قليلة العمق** : تتمركز في أعماق ضعيفة و قريبة من السطح. تمتاز هذه الصخور بمعادن مختلفة لكنها صغيرة الحجم ترى بالعين المجردة و يمكن التعرف عليها باستعمال مكبر الرؤية (loupe) . يدل هذا النسيج المكروحبيبي على صعود و تصلب الماغما بطريقة أسرع مقارنة بالحالة الأولى (الصخور الاندساسية) . نظرا لتقارب البنية الخارجية لهذه الصخور مع الفئة الاندساسية المتداخلة فلقد ارتأينا أن ندمجها في نفس الفقرة.

4. **الصخور البركانية السطحية les roches extrusives :**

تتكون نتيجة تسرب الماغما نحو خارج القشرة الأرضية عبر فوهات بركانية أو عن طريق الشقوق و الصدوع. في هذه الحالة يكون الماغما على شكل مقذوفات بركانية سائلة تعرف بالحمم (lave) , ومع تعرضها لبرودة الجو الخارجي يبصلب تدريجيا مكونة أجسام صلبة تحتوي أساسا على الزجاج البركاني و تفتقر للتكوين المعدني.

II –3 أشكال وتراكيب الصخور النارية(الشكل 1)

توجد الصخور النارية على هيئات مختلفة الأشكال و الأحجام حسب اختلاف نشأتها, مما يساعد كثيرا الجيولوجي على التعرف على مختلف أنواع الصخور واستنتاج مراحل تكوينها.

1. **أشكال الصخور البركابية :**

بفعل الإندفاعات السريعة للحمم من باطن الأرض ,التي تكون أحيانا عنيفة, تتشكل الصخور البركانية وفق طبيعة المكان وطريقة خروج الحمم حيث تأخذ أشكالا مختلفة تتلخص فيما يلي :

- المخروط البركاني : يتكون نتيجة تدفق الحمم البركانية من باطن الأرض مصحوب باندفاع كميات كبيرة من المقذوفات التي تتعرض طريقها. تتراكم هذه المواد على سطح الأرض ,الواحدة فوق الأخرى, متخذة شكلا مخروطيا تتخلله فوهة وتسيل فوقه الحمم بدرجة حرارة عالية تصل 1200° . تأخذ البراكين أشكالا مخروطية متفاوتة الأحجام وذلك حسب كمية و نوعية الحمم المندفعة. فمثلا الحمم القاعدية (نسبة SIO2 أقل من 45 %) تتميز بقلة لزوجتها و سهولة سيلانها و تؤدي إلى تكوين مخاريط بقاعدة واسعة الإنتشار و قليلة الإرتفاع ; أما الحمم الحامضية (نسبة SIO2 أكثر من 65%) ينتج عنها مخاريط عالية ذات قاعدة ضيقة و تتميز بعنقها الطويل Neck .
- الهضاب البركانية : تنتج عن التدفق المستمر للحمم عن طريق الشقوق و ذلك على فترات متقاربة و دون إنفجارات . مع مرور الزمن تؤدي هذه الوضعية , على سطح الأرض ,إلى تشكيل هضاب من الصخور البركانية يتوقف إرتفاعها مع خمود البركان.

أما في أعماق البحار و المحيطات, تتصلب الحمم بمجرد صلتها بالمياه الباردة على شكل كروي يدعى الوسادات البركلنية (pillow lavas) .

2. أشكال الصخور الاندساسية :

تختلف أشكال الصخور الاندساسية بتوضعها داخل القشرة الأرضية, وتأخذ أشكالا موافقة للمجالات التي تخترقها الماغما و تتوضع فيها . تسمى هذه المجالات بالغرف الماغماتية وتكون على الأشكال التالية :

- **الأجسام اللوحية :**

تتكون نتيجة تصلب الماغما التي تندفع ببطىء عبر الشقوق و الصدوع وتكون إما صخور اندساسية عمودية و مائلة تسمى القواطع (Dyks) أو أفقية مطابقة لسطح الطبقات المتداخلة فتدعى بالسدود (Sills) .

- **الأجسام العدسية** Les corps lenticulaires :

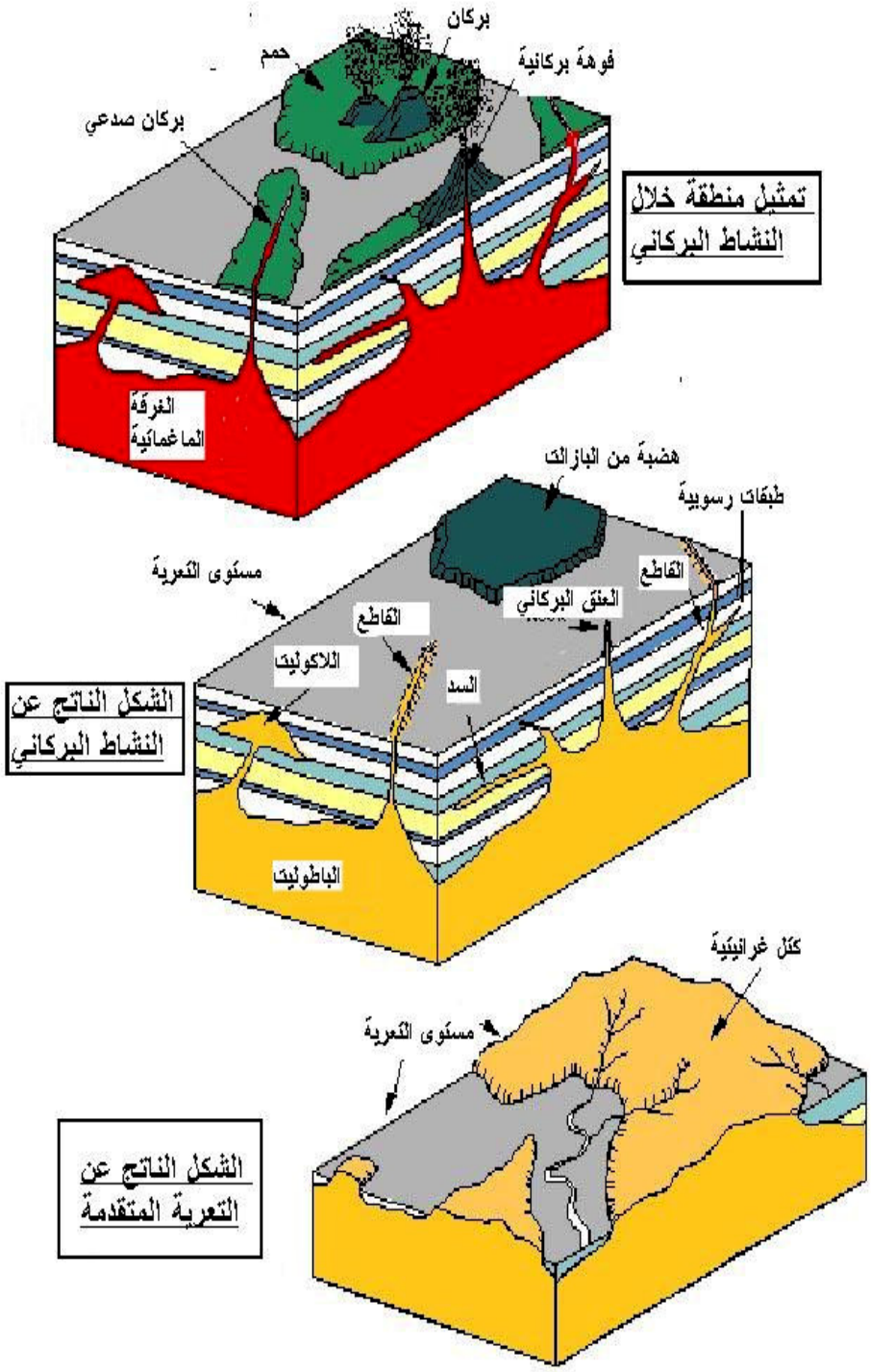
تنتج هذه الأشكال عندما يتصلب الماغما التي تندفع بضغط شديد على طبقات الصخور العليا فتجعلها محدبة, أما القاعدة فتبقى أفقية. في النهاية نتحصل على شكل عدسي بقاعدة أفقية يدعى بالاكوليت (laccolithes) .

- **المعقدات الحلقية** (Les complexes annulaires)

و هي صخورماغماتية اندساسية على شكل حلقات دائرية يصل قطرها الى عدة أمتار نتجت من تسرب الماغما عبر الصدوع الدائرية المركزة. في منطقة الهقار يوجد هذا النوع من الصخور الغرانيتية تسمى بغرانيت توريرت (les granites Taourirt) غالبا ما تكون مرفوقة بتكتلات معدنية اقتصادية مثل معادن القصدير و تنكستان (Etain et Tungstene) الموجودة في تين آمزي و الكروسة (الهقار الأوسط) .

- **الكتل الجوفية**

تتكون في أعماق كبيرة و تظهر على سطح الأرض نتيجة عوامل لتعرية الشديدة لصخور القشرة الأرضية . تمتد جوانب هذه الأجسام وتتسع نحو الأعماق الكبيرة وتكون جذور الجبال الواسعة الانتشار و الممتدة على آلاف الكلم و هي في أغلب الأحيان ذات سحنة غرانيتية . أهم هذه الكتل ما يسمى بالباطوليت (Batholite) .



الشكل : 1 : رسم يوضح الأشكال المختلفة للصخور النارية

II –4 انسجة الصخور النارية :

1) **تعريف :** نقصد بنسيج الصخر الناري مجموعة الصفات الخارجية أو المجهرية التي تتعلق بما يلي :

- شكل حبيبات المعادن المكونه للصخر,
- علاقة هذه الحبيبات ببعضها
- طريقة ترتيب هذه المعادن في الصخر.

تنشأ هذه الصفات نتيجة تبلور المعادن من الماغما وتراكمها على بعضها أو التحامها مع بعضها. و يحدث هذا من خلال التبريد السريع جدا الذي يعتبر عاملا مهما في تكون الزجاج البركاني بينما التبريد البطئ يؤدي إلى تكون البلورات ونموها.

نعتمد في وصف الأنسجة خاصة على كمية, حجم ونوعية البلورات الموجودة في الصخرمقابل الزجاج البركاني. مما ينتج عن هذا الأصناف الآتية:

2) أنسجة الصخور النارية الإندساسية : تتميز الصخور الماغماتية الإندساسية بنسيج مميز يتكون من معادن واضحة مختلفة الأحجام و ترى بالعين المجردة . أهمها :

- **النسيج البغماتيتي** Texture pegmatitique : نجده في صخور البغماتيت التي تتميز بمعادن كبيرة يتتراوح حجمها من بضع سنتيمترات حتى حجم المتر . تتصلب هذه الصخور من بقايا الماغما الغنية بالسوائل السيليكاتية و تكون غالبا على شكل قواطع. إن النسيج البغماتيتي هو دليل للتبرد البطيء جدا للماغما.
- **النسيج الحبيبي** Texture grenue : يميز معظم الصخور الاندساسية و يتميز بمعادن لها نفس الحجم تقريبا (نسيج حبيبي متجانس) أ بأحجام مختلفة(نسيج حبيبي غير متجانس) .
- **النسيج الحبيبي الشبه بورفيري** Texture porphyroïde : هو الشكل الناتج عن وجود معادن كبيرة وسط كتلة معدنية أقل حجما. هذه المعادن الكبيرة تتبلور ببطء في الأعماق داخل الغرف الماغماتية ومع الإزدياد المفاجيء لسرعة صعودالماغما تستمر هذه المعادن في التكوين و لكن بأحجام أقل. و بالتالي هذا النسيج دليل على حدوث مرحلتين من التبلور .
- **النسيج البرتيتي** Texture perhitique: هو نسيج ناتج عن تداخل معادن الألبيت داخل الأرتوز(الفلدسباد) ; يمكن رؤية هذه الوضعية بالمجهر وناذرا ما ترى بالعين الامجردة. تتمثل في ظهور شوائب المعدن الأول محتواة داخل الفلدسبات. هذا راجع إلى الصيغة الكميائية المتقاربة للمعدنين حيث تتبلور في ظروف جد متقاربة مكونة تداخلات فيما بينها .

3) **أنسجة الصخور البركانية :** تتميز هذه الصخور بوفرة الزجاج البركاني على الكتلة المعدنية القليلة أوالمنعدمة أحيانا. ومن خلال الدراسات المجهرية نميز الأنواع التالية :

- **النسيج المكروليتي** Texture microlithique : نقصد بالمكروليتات, معادن البلاجيوكلاز أو الساندين الصغيرة جدا و بأشكال متطاولة . يتخلل هذه المعادن المكروليتية زجاج بركاني يتبلور في كل الثغرات الموجودة بينها. وهناك نوعان :
  - النسيج المكروليتي المتجانسTexture microlithique homogène : جميع البلورات على شكل مكروليتات مجهرية .
  - النسيج المكروليتي البرفيري Texture microlithique porphyrique : تظهر البلورات واضحة وسط كتلة مكروليتية.
- **النسيج الزجاجي** Texture vitreuse : خاص بالصخورالبازلت التي يغلب عليها التكوين الزجاجي مع بعض المعادن التي تتبلور في درجة حرارة عالية مثل الألفين. هناك أيضا صخورتشكل على هيئة زجاج بركاني أسود يدعى الأبسديان (Obsidienne) .

II –5 تصنيف الصخور النارية :

نعتمد في تصنيف الصخور النارية علىعدة عوامل تتعلق كلها بالخصائص الفيزيائية و الكيميائية التي يتميز بها كل صخر; واعتمادا على هذه المعطيات نتجت عدة تصنيفات أهمها :

1) **تصنيف حسب نسبة السيليسيوم Sio_2** : إن نسبة أوكسيد السيليسيوم الموجودة في الصخرهي العامل الأساسي الذي يحدد مدى حموضية الصخر . فالصخور التي تحتوي على نسبة كبيرة من **Sio_2** تسمى صخور حامضية مقارنة بالصخور القاعدية التي تفتقر لهذه المادة. استنادا لهذا يمكن تحديد 4 فئات .

* فئة الصخور النارية **الحامضية** $Sio_2 > 65\%$ مثل صخر الغرانيت
* فئة الصخور النارية **المتوسطة** $52\% < Sio_2 < 65\%$ مثل صخر الأنديزيت
* فئة الصخور النارية **القاعدية** $45\% < Sio_2 < 52\%$ مثل صخر البازلت
* فئة الصخور النارية **الفوق قاعدية** $Sio_2 < 45\%$ مثل صخور البيريدوتيت

2) **تصنيف حسب درجة التشبع بالسيليس** : يعتبر أكسيد السيليسيوم Sio_2 عنصركميائي أساسي في مكونات الماغما الأولية . و تتناقص نسبته في الماغما تدريجيا كلما ازداد ظهور المعادن السيليكاتية المتكونة أساسا من هذا العنصر. ويعتبر معدن الكوارتز آخر المعادن المتكونة ووجوده في الصخريمثل دليلا على التوفر القوي لSio_2 في الماغما. هناك 3 فئات من الصخور تحت هذا التصنيف وهي :

* الصخورفوق مشبعة Roches sursaturées $Sio_2 > 65\%$ ذات نسيج حبيبي واضح تتميز بوجود قوي للكوارتز

* الصخور المشبعة Roches saturées $45\% < Sio_2 < 52\%$ هذه النسبة ضئيلة تكفي فقط لتبلور المعادن السيليكاتية مثل الفلدسبات و لا تسمح بتبلور الكوارتز.

* الصخور تحت مشبعة Roches sou saturées $Sio_2 < 45\%$ تمتاز بوجود معادن الفلدسباتويد بكثرة مثل النيفلين و اللوسيت.

3) التصنيف حسب نسبة المعادن الملونة : تتمثل في المعادن الفيرو ماغنيزية الموجودة في الصخر مثل البيوتيت–الأولفين–بيروكسين–أمفيبول .... :

* الصخور الشديدة البياض حيث نسبة المعادن الدكنة ضعيفة. أقل من 30 %

* الصخور البيضاء : نسبة المعادن الدكنة أقل من 50 % .

* صخور متوسطة البياض حيث نسبة المعادن الدكنة Fe Mg أقل من 65%

* صخور داكنة متكونة أساسا من بيروكسين أو أمفيبول . نسبة المعادن الدكنة أكثر من80%

من خلال هذه التصنيفات الثلاثة نتحصل على الصخور التالية حسب الجدول الآتي :

نسبة المعادن الدكنة Fe, Mg	نسبة Sio_2	المعادن الرئيسية	المعادن الأساسية	الصخر الإندساسي	الصخرالبركاني
من0 الى30%	حامضية و فوق مشبعة $Sio_2 > 65\%$	كوارتز+بلاجيوكلاز (أولغوكلاز,ألبيت)	بيوتيت	غرانيت	ريوليت
30-50 %	متوسطة Sio_2 بين 52 و 56 % مشبعة بدون كوارتز	البلاجيوكلاز (أولغوكلاز-أنديزين) + أوجيت	الأوليفين	الديوريت	أنديزيت
< % 50	قاعدية القاعدية $45 < Sio_2 < 52$	البلاجيوكلاز (لابرادور-أنورتيت) + أوجيت	بيروكسين +أمفيبول	الغلبرو	البازلت
< % 80	فوق قاعدية	بيروكسين	بيروكسين	بيروكسينيت	----
	تحت مشبعة	أوليفين	أوليفين	بيريدوتيت	-----

جدول تصنيف الصخور النارية

III - الصخور الرسوبية

III-1 مقدمة :

تتواجد الصخور الرسوبية بكثرة على سطح الأرض و تمثل النسبة الأكبر من القشرة الأرضية. تتكون على سطح الأرض بفعل تكامل الظواهر الجيولوجية تحت تأثير المناخ. فهي صخور خارجية المنسأ تتميز بشكلها الطبقي واحتوائها على الحوافر أو المستحثات. هناك أربعة مراحل هامة لتكوين صخر رسوبي و هي : التعرية و التجوية – النقل – الترسب و أخيرا الصخر .

III-2 مراحل تشكيل الصخور الرسوبية :

تتعرض الصخور التي نشأت في باطن الأرض للعوامل الجوية الخارجية بمجرد تواجدها على سطح الأرض. هذه العوامل تؤدي إلى تعريتها و تجويتها لدرجة تجعل من السلاسل الجبلية المرتفعة أماكن سطحية مبسطة خلال بعض ملايين السنين.

1. **التعرية الفيزيائية :** هي التي تعمل على كسر الصخر و تفتته ميكانيكيا و ذلك لعدة عوامل من بينها :
   - التغيير الكبير في درجة الحرارة خاصة في المناطق الصحراوية .
   - التأثير الميكانيكي للكائنات الحية (بكتيريا) و كذلك أغصان الأشجار التي تشق الصخر خلال نموها في الأعماق.
   - تأثير الجاذبية الذي يكون فعالا مع مرور الزمن حيث تحدث مستويات ضعف جديدة للصخر. تكون النتيجة تساقط إما على شكل قطع صخرية أو انزلاقات أرضية عندما تتعرض الصخور الطينية للتشبع بالماء.
   - الرياح التي تؤثر بصورة خاصة في المناطق الجرداء حيث تكون سببا في نزع الحبيبات واحتكاكها و تصادمها فيما بينها مما يؤدي تفكيكها وانكسارها.
2. **التعرية الكيميائية أو التجوية :** تؤثر هذه الظاهرة في المناطق الرطبة التي تتميز بنسبة معتبرة من تساقط الأمطار. يكون التأثير بواسطة :
   - الأكسدة و هي تأثيرالأكسيجين الجوي على الصخر
   - التكربن : تحدث من خلال سقوط الأمطار على الصخور الجيرية حيث يذوب ال Co_2 في الماء مكونا بيكربونات الصوديوم ينتج عنه ظهور الصواعد و النوازل في الكهوف والمغارات .
   - التحلل المائي أو الهيدرولبز ينتج بعد ملامسة الماء لبعض المعادن لمدة طويلةمما يؤدي إلى تحطيم التركيب الذري.

- الإماهة و هي إتحاد الماء مع بعض المعادن و تحويلها إلى معادن هيدراتية .

3. **النقل :** ينتج عن عملية التعرية تكوين رسوبيات مختلفة الأحجام تنقل من مكان تكوينها نحو الأحواض الرسوبية. يتم هذا النقل حسب المناخ و يكون عن طريق الرياح, المياه (الوديان و الأنهار) و الجاذبية. تأثر الرياح خاصة في المناطق الشاسعة الجرداء كالصحاري, حيث تنحت في الصخور وتنزع حبيبات صغيرة تنقلها إلى مسافات طويلة تصل إلى آلاف الكلمترات . (مثلا الأمطار الرملية التي تسقط في العاصمة و حتى أوروبا) و لا يبقى في المكان ذاته إلا الأحجار الثقيلة في مساحات شاسعة مكونة الحمادا و الرق .

4. **الترسب :** يحدث الترسب للمواد المنقولة في الوسط الهوائي أو المائي حين توفر شروط الترسب المتمثلة خاصة في ضعف التيار . يتحكم في معدل سرعة الترسب عدة عوامل منها :

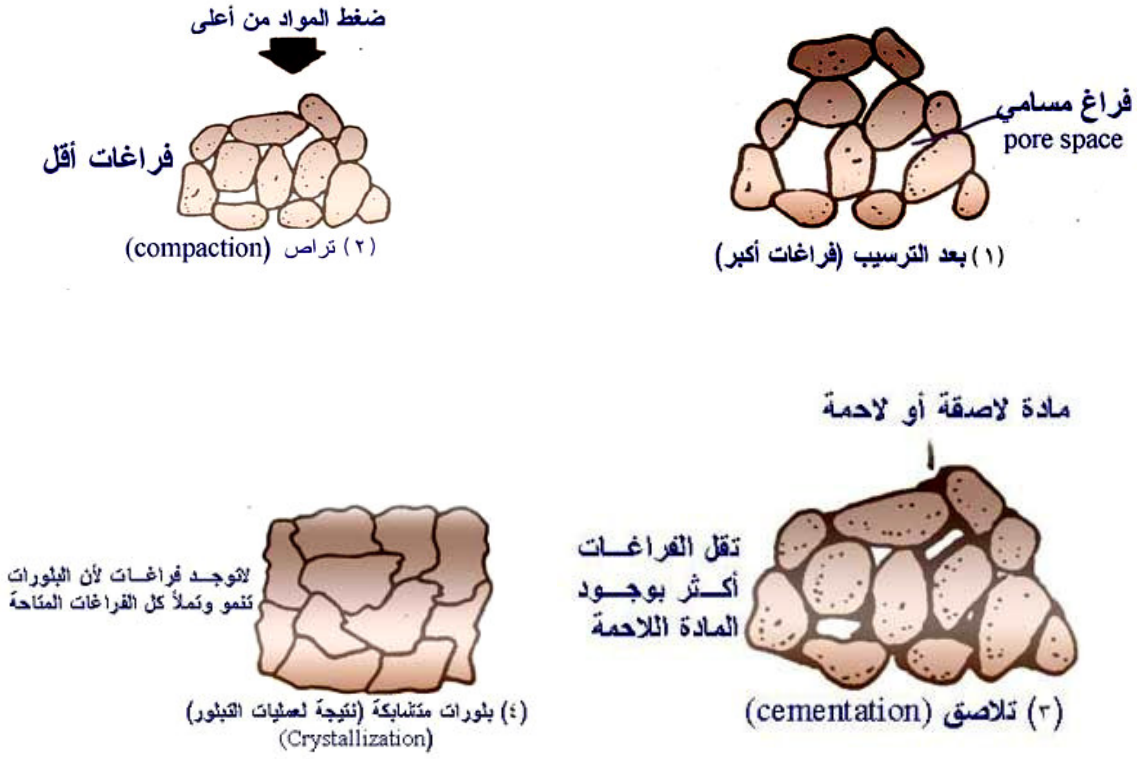
- حجم و شكل حبيبات االمواد الصخرية أو الرسوبيات
- الوزن النوعي للرسوبيات
- كثافة و درجة حرارة و لزوجة الأوساط المحمولة فيها هذه الرسوبيات.

تترسب هذه المواد في الأحواض الرسوبية
المتمثلة في البحار و المحيطات , البحار
الداخلية و المنخفضات القارية مثل الشطوط
التي تكون السبخات.

5. **التصخر** (الشكل : 2:) بعد نقل المواد الرسوبية ثم ترسيبها تكون هذه المواد مفككة و غير متماسكة . لتكوين الصخر الرسوبي الصلب , تحدث مجموعة من العمليات الفيزيو كميائية داخل الأحواض الرسوبية تسمى التصخر (Diagenèse) و التي من شأنها التكوين النهائي للصخر الرسوبي. أهم هذه العمليات هي :

- **التراص** compaction : بتراكم الرسوبيات على مر الزمن يضغط وزن المواد الاحقة على الرسوبيات السابقة . عندما تنضغط الرسوبيات إلى بعضها البعض يتناقص الفراغ الذي يفصلها عن بعضها يصل أحيانا إلى 40% مما يؤدي إلى شدة تماسكها .
- **التلاصق** أو اللحام Cementation : تحدث عملية التلاص ق في الرسوبيات ذات الحبيبات الخشنة و التي بصعب تماسكها بالضغط . عملية اللحام هي عبارة عن ترسيب مواد لاحمة وسط الرسوبيات و ذلك بواسطة المياه التي تتخلل الفراغات الموجودة بين الرسوبيات, وتكون ما يسمى بالملاط . من أهم هذه المواد : الكالسيت –السيليكون و أكاسيد الحديد.

- **التبلور :** و هي آخر المراحل المكونة للصخر الرسوبي حيث يحدث تبادل كميائي بين الرسوبيات و الملاط ينتج عنها نمو كميائي للبلورات يجعلها أكثر تشابكا فيما بينها.



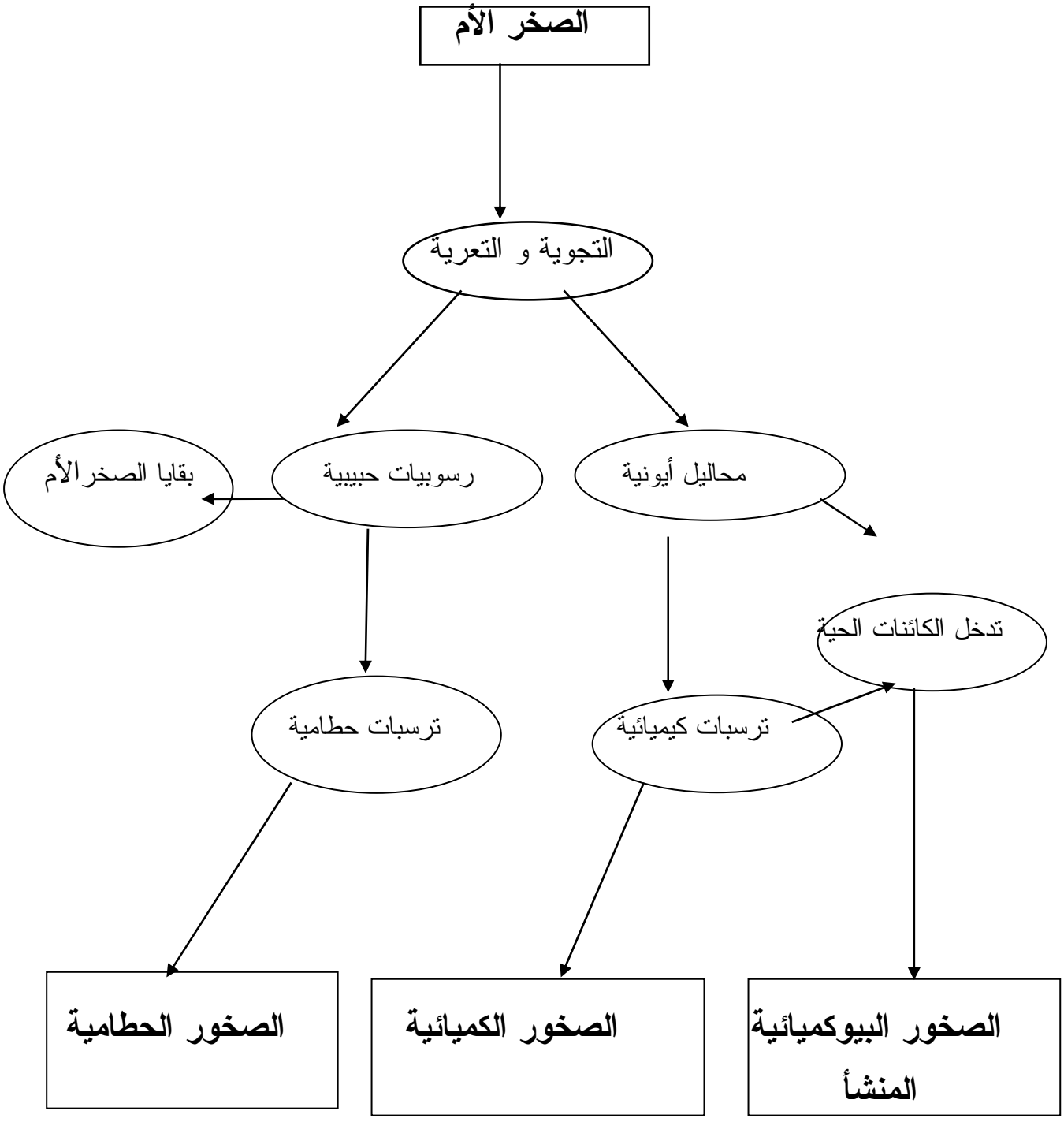
الشكل2 : يوضح مختلف مراحل التصخر

III -3 تصنيف الصخور الرسوبية : (الشكل 3)

تصنف الصخور الرسوبية وفق عاملين أساسيين و هما :

- مصدر الرسوبيات , حجمها و كيفية توضعها في الحوض الرسوبي,
- المكونات المعدنية للصخر .

ومن خلال هذا نتحصل على المجموعات الصخرية الموضحة في المخطط الآتي (الشكل) الذي يبين مختلف فئات الصخور الرسوبية حسب اختلاف المراحل التي تدخل في تكوينها . فنتحصل على 3 مجموعات أساسية و هي : الصخور الحطامية, الصخور الكميائية و الصخور البيوكميائية



شكل3 : رسم بياني يوضح مصدر مختلف الصخور الرسوبية

III -3-1 : الصخور الحطامية : و هي صخور رسوبية ميكابيكية النشأة تتكون من الفتات الصخري دون حدوث أي تغيير كيميائي لها و تصنف هذه الصخور حسب حجم المكونات الرسوبية و نوعية الملاط. نستنتج الصخور الحطامية التالية الموضحة في الجدول الآتي :

حجم الرسوبيات (ملم)	اسم الرسوبيات	نوع الصخر
265	جلاميد	الصخور التجمعية أو الكنغلوميرات
64	كتل	
4	حصى خشن	
2	حصى	
1	رمل خشن جدا	الحجر الرملي
0.5	رمل خشن	
0.25	رمل	
0.125	رمل رقيق واضح المعادن	
0.0625	رمل غير واضح	
0.00039	طين و سيلت	الأحجار الطينية

1. الصخور التجمعية و هي عبارة عن تلاحم قطع صخرية بأحجام تفوق 2 ملم , بمادة متصلة أو ملاط و تسمى هذه الصخور بالكنغلوميرات. من خلال حجم الحبيبات و شكلها نستنتج الظروف و المراحل التي أدت إلى تكوين هذا الصخر . فالحبيبات المستديرة و المصقولة قد تعرضت للنقل لمسافات طويلة ويسمى الكنغلوميرات نالبودينغ . أما القطع الحادة و الغير مصقولة فإنها ترسبت

قرب مكان تكوينها و الكنغلوميرات يدعى بالبريشيا . الملاط غالبا ما يكون كلسي , سيليسي أو حديدي.

2. الحجر الرملي يتكون أساسا من حبيبات رملية غنية بالكوارتز, غالبا ما تكون مستديرة و ينقسم حسب حجم الحبيبات إلى حجر رملي خشن متوسط و دقيق. أما حسب نوعية الملاط فهناك الحجر الرملي ذو ملاط كلسي, الحجر الرملي ذو ملاط سيليسي, الحجر الرملي ذو ملاط حديدي, الحجر الرملي ذو ملاط طيني. (الشكل)

3. الصخور الطينية عبارة عن ترسات المعادن الطينية (الإيليت – الكولينيت و المونتموريلونيت) , تترسب في المناطق الداخلية للأحواض الرسوبية حيث انعدام التيارات الشديدة . تمثل هذه الصخور الحدود الترسبية للصخور الحطامية تاركة المجال للترسبات الكميائية .

III -3-2 : الصخور الكميائية :

تتكون نتيجة ترسب المحاليل المشبعة بالمواد الذائبة و المحملة إلى داخل الأحواض الرسوبية . هذه المواد تكون على شكل أيونات مختلفة حسب نوعية الصخر الأم الذي انبثقت منه بفعل عوامل التعرية. فنجد أيونات $caco_3$ ـ $Mgco_3$ – SiO_2 ـ أيونات فوسفاتية –ألومينية ..... وتترسب بعد تفاعلها ببعضها البعض وتكون صخور كميائية تتميز بنسيج ميكروليتي. نذكر من بينها :

- الصخور الكلسية أو الجيرية التي تتكون من ترسبات كاربونات الكالسيوم ($caco_3$) الناتج من عملية تحول بيكربونات الكلسيوم . منتشرة بكثرة في الطبيعة, يختلف لونها من أبيض–أصفر–رمادي حسب الشوائب التي تدخل في تركيبها . تكون على شكل طبقات رسوبية (منطقة بوسعادة) أو سلاسل جبلية . مثل السلسلة الجبلية لجرجرة التي تعتبر غطاء رسوبي للصخور النارية.
- الصخور السيليسية و هي التي تحتوي على أكثر من 50% من Sio_2 مثل الصوان. يتكون نتيجة تجمع السيليكا و ترسبها على شكل عقد . يتواجد الصوان على شكل طبقات رقيقة بين الصخور الرسوبية.
- الصخور الملحية التي تتكون نتيجة تبخرالمحاليل المشبعة با Na Cl أو تبخر مياه البحيرات و البحار المقفولة ,حيث تترسب على شكل طبقات رقيقة تتكون من أملاح حسب درجة ذوبانها . مثل أملاح الكربونات– أملاح الكبريتات– أملاح الكلوريدات و نتحصل على صخور الجبس– الهاليت عل شكل السابخا .....

III -3-3 : الصخورالرسوبية البيوكميائية أو العضوية :

هي صخور تكونت نتيجة النشاط المباشر أو الغير مباشر للكائنات الحية و النباتية الذي يؤدي إلى تراكم بعض بقاياها الصلبة. الصخور الرسوبية العضوية قد تكون :

حيوانية المنشأ مثل :

- الطباشير والرواسب الدياتومية ذات الهياكل السيلسية
- الصخور الفوسفاتية التي تتكون نتيجة تراكم هياكل بعض الحيوانات القارية, عظام الأسماك و الزواحف.

نباتية النشأة مثل صخر الفحم و البترول .

- الحجر الجيري العضوي يتكون من تراكم و تحلل قشور و هياكل و أصدا ف الحيوانات البحرية بعد موتها .
- الحجر الطباشيري هو نوع من صخر جيري عضوي يتميز بلونه الأبيض و نعومة تمسه و هو يتكون من حبيبات دقيقة من قشور و هياكل حيوانات وحيدة الخلية المعروفة بالمنخربات. (Foraminifères) .
- صخر الفوسفات : يرجع أصل هذا الصخر إلى معادن الفوسفات الموجودة في الصخور النارية (الصخر الأم) و أهمها معدن الأباتيت . يتحلل هذا المعدن أثناء عمليات التعرية و التجوية ثم ينقل للحوض الرسوبي في شكل أملاح ذائبة أين تستخلصها الكلئنات الحية لكي تبني هياكلها . تتراكم هياكل هذه الكائنات بعد موتها و تتحلل لتشكل رواسب فوسفاتية.
- الفحم : يتكون الفحم في الأماكن القارية نتيجة تراكم النباتات فب المستنقعات أو الغابات و دفنها السريع مما يحميها من الأكسدة. تتم عملية التفحم في عدة مراحل تزداد في كل منها نسبة الكربون تدريجيا . هذه المراحل هي :
  - الفحم الأولي أو البيث يحتوي على 55% من الكربون
  - الفحم البني أو Lignite يحتوي على 72% من الكربون
  - الفحم القطراني Bitume يصل إحتوائه حتى 90% من الكربون
  - الأنطارسيت Antharcite 89 % من الكربون و هو فحم حالك السواد و يحترق بسهولة و يعتبر من أجود أنواع الفحم.

IV - الصخور المتحولة

IV -1 مقدمة :

يمكن تعريف عملية التحول بأنها مجموعة التغيرات الفيزيوكميائية التي تطرأ على الصخر حين تعرض هذا الأخير لارتفاع في الضغط أو الحرارة أو الإثنين معا . كل أنواع الصخور معرضة لهذه التغييرات سواء كانت رسوبية , ماغماتية و حتى المتحولة. فمع إرتفاع الضغط و الحرارة تظهرظروف جيولوجية جديدة تسبب إختلالا في التوازن و خلق حالة عدم الإستقرار المعدني. هذا ما يؤدي إلى تجاوب الصخربتشكيل معادن متحولة تتماشى مع هذه الظروف الجديدة.

ليس المقصود بالتحول التغيرات السطحية الجوية و لا ميدان التصخر الذي يحدث في ضغط و حرارة منخفضين (P<1.2 Kb , T<250) ; كما أنه لا يخص ميدان الإنصهار (صخور في حالة سائلة) المتواجد في ضغط و حرارة مرتفعين (T > 700 وP > 14 kb) . بينما ينحصر مجال التحول بين درجة

حرارة 250 و 700 و ضغط منحصر بين 2 و 14 Kb . و هذا المجال متغير من صخر لآخر .

IV -2 عوامل التحول : بالإضافة الى عوامل الضغط و الحرارة التي تعتبر عوامل أساسية في التحول, هناك أيضا التركيب الكميائي للسوائل أو الميتاسوماطوز و كذلك عامل الزمن .

1. الحرارة : تعمل الحرارة على زيادة الطاقة الكامنة في المعادن و يجعلها مهيئة لحدوث تفاعلات فيما بينها نتيجة لزيادة الطاقة بها. تختلف أسباب إرتفاع الحرارة من منطقة لأخرى و أهمها :
   - الأجسام النارية المتداخلة من عمق الأرض نحو السطح مخترقة صخور قديمة.
   - النشاط البركاني.
   - تأثير المحاليل الحرمائية الناتجة من إحتكاك طبقات الصخور فيما بينها خلال الحركات التكتونية .
   - تأثير الوشاح نفسه لاسيما إذا كانت الصخور قريبة منها . يكون معدل الإرتفاع الحراريفي القشرة الأرضية هو 30 درجة كل 1كيلميتر عمق.
2. الضغط: هناك نوعان من الضغط وهما :

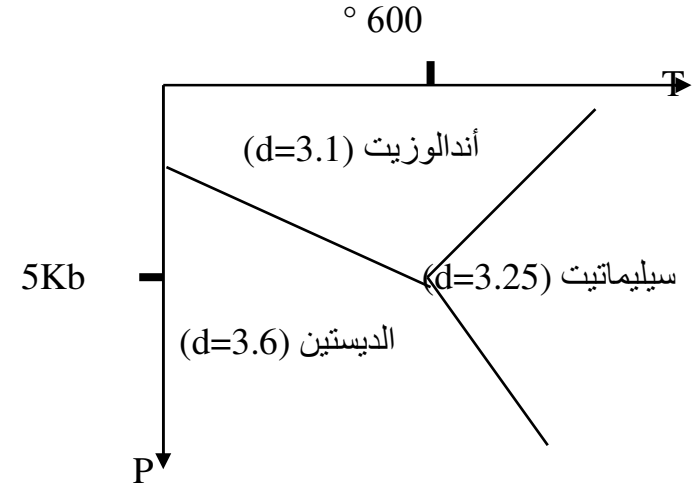
- الضغط المنتظم المتجانس : يحدث في الأعماق و هو متساوي في جميع الإتجاهات مما يؤدي إلى إختزال حجم البلورات وارتفاع الوزن النوعي لها.

مثال : عند درجة حرارة 300 وضغط P= 14 Kb يتحول معدن الألبيت إلى جاديت ذو وزن نوعي أعلى و ذلك وفق ما يلي :

$$\text{Albite} \rightleftharpoons \text{Jadéite} + \text{quartz}$$

Si_3AlO_8 (d=2.8) SiO_3AlNa (d=3.3) SiO_2 (d= 2.7)

من أهم معادن الصخور المتحولة هي : أندالوزيت – سيليمانيت و الديستان تتميز بنفس الصيغة الكميائيةAl_2O_4 (SiO_4) لكنها بكثافة (d) متغيرةحيث تتبلور في ظروف مختلفة مبينة في الشكل الآتي :



- الضغط الموجه : يسود هذا النوع من الضغط في المناطق القريبة من السطح حيث تكون حركة القشرة الأرضية قوية (حركات نكتونية)المصاحبة لتكوين الجبال . يعمل الضغط الموجه إلى تنظيم ترتيب المعادن و توجيهها حيث يصبح المحور الطولي للمعادن في اتجاه واحد عمودي على إتجاه الضغط ; مما يؤدي إلى ظهور وريقات متوازية موافقة لاستطالة المعادن . من بين هذه المعادن السهلة الاستطالة هي : الميكا – الكلوريت – التالك .... أما المعادن التي تقاوم التورق مثل الكوارتز فإنها تتعرض إلى الذوبان ثم إعادة التبلر من جديد بأحجام صغيرة مجهرية.

وأخيرا ينتج عن الضغط الموجه تكوين تورقات أو ما يسمى بالشستزة La Schistosité

3. العامل الكيمائي : (الميتلسوماطوز) : مع ارتفاع الضغط و الحرارة في الصخور , تظهر محاليل نشيطة مثل $HCl\text{-}H_2O\text{-}CO_2$ تعمل على تكسير الروابط الموجودة بين العناصر الكيمائية و تساهم في عملية التحول بحيث تتفاعل العناصر فيما بينها مشكلة معادن جديدة غير موجودة في الصخر الأم.

يمكن أيضا في بعض الأحيان حدوث تفاعلا ت كيميائية بين معدنين أ و ب كانا تحت ضغط و درجة حرارةP1 T1 , و في ظروف جديدة من الضغط و الحرارة T2 P2 نتحصل على معدنين جديدين ج و د زائد H_2O ,CO_2 . مثال :

Muscovite + Quartz $\rightleftharpoons$ Sillimanite + orthose + Eau

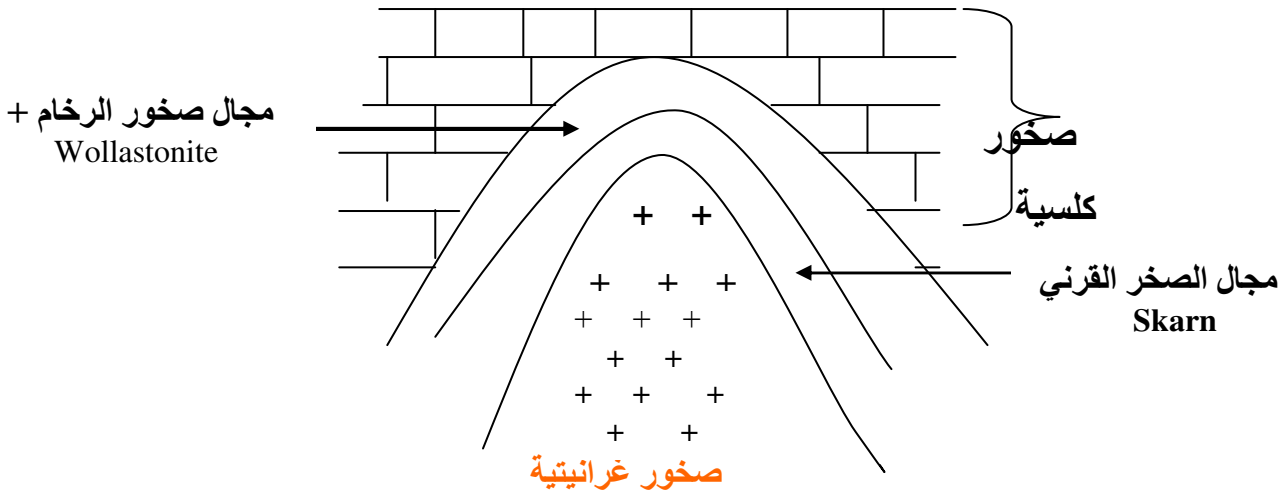
$KAl_3SiO_{10}5(OH)_2$ SiO_2 Al_2SiO_5 $KAlSi_3AlO_8$ H_2O

تعريف الميتاسوماطوز : (Metasomatose) : هو التغييرات الناتجة عن نشاط السوائل و المحاليل الساخنة الغنية ببعض الغازات مثل : OH_2 - F- Cl , حيث تحدث تفاعلات كيميائية مصحوبة بإضافة عناصر جديدة أو إزالة أخرى من الصخر الأم . تميز هذه الظاهرة التحولات التماسية بين كتلة غرانيتية و كتلة رسوبية كلسية (**الشكل 4**) . يتكون في منطقة تماس الكتلتين صخر جديد يدعى

صخر قرني corneennes و هو صخر كتلي شديد الصلابة يدعى السكارن Skarn ذو حبيبات صغيرة و بنية مجهريه . و كون أيضا تحول الصخور الكلسية إلى رخام مع ظهور معدن الفولاستونيت Wollastonite بإضافة SiO_2 إلى الكلس .

$$CaCO_3 + SiO_2 \rightleftharpoons CaSiO_3 + CO_2$$

حجر الكلس — من الغرانيت — Wollastonite



شكل4 توضيحي للتحول التماسي لكتلة غرانيتية مع صخور كلسية

4. عامل الزمن : يلعب الوقت دورا هاما في تحول الصخور فارتفاع الضغط و الحرارة في ظرف زمني قصير لا يؤدي إلى تحول كبير في الصجر . بالمقابل فإن تغير طفيف لدرجة الحرارة و الضغط لفترة زمنية طويلة يلعب دوؤا كبيرا في تحول الصخور و ذلك لأن التحول يحدث في زمن طويل يقاس بملايين السنين.

IV -3 أنواع التحول : يوجد عدة أنواع من التحول حسب الظروف الجيولوجية الموجودة في كل منطقة,

نذكر منها :

1. **التحول التماسي :** هو تحول الصخور في نفس المكان بإضافة حرارة الصخور الماغماتية الصاعدة من الأعماق . تتم هذه الظاهرة في أعماق ضعيفة قرب سطح الأرض (بعض الكلميترات) حيث يصبح تأثير الضغط ثانوي و بالتالي لا نجد تشوه كبير في المعادن . تصطف هذه المعادن بشكل موازي لدائرة الكتلة الساخنة محدثة عدة مجالات دائرية تدعى دوائر التحول , Auréole métamorphique , أين تكون أكثر المناطق تأثيرا بالحرارة هي منطقة التماس بالماغما المتداخل و يقل تأثير الحرارة على الصخور تدريجيا كلما ابتعدنا من الكتلة المتداخلة . تتسع دائرة التحول كلما كانت الكتلة المتداخلة كبيرة فمثلا تداخل الباطوليت يحدث مجال تحولي يصل إلى عدة كيلوميترات بينما دائرة تحول السدود و القواطع لا تتعدى بضع الأمتار .

مثال : دراسة نموذجية لتحول تماسي ناتج عن تداخل كتلة غرانيتية في الصخور الطينية و الصخور الكاسية :

بالنسبة **للصخور الكلسية** نلاحظ تشكل عدة دوائر, ابتداءا من الدائرة الأولى القريبة من الغرابيت نحو الأبعد نلاحظ الدوائر التالية :

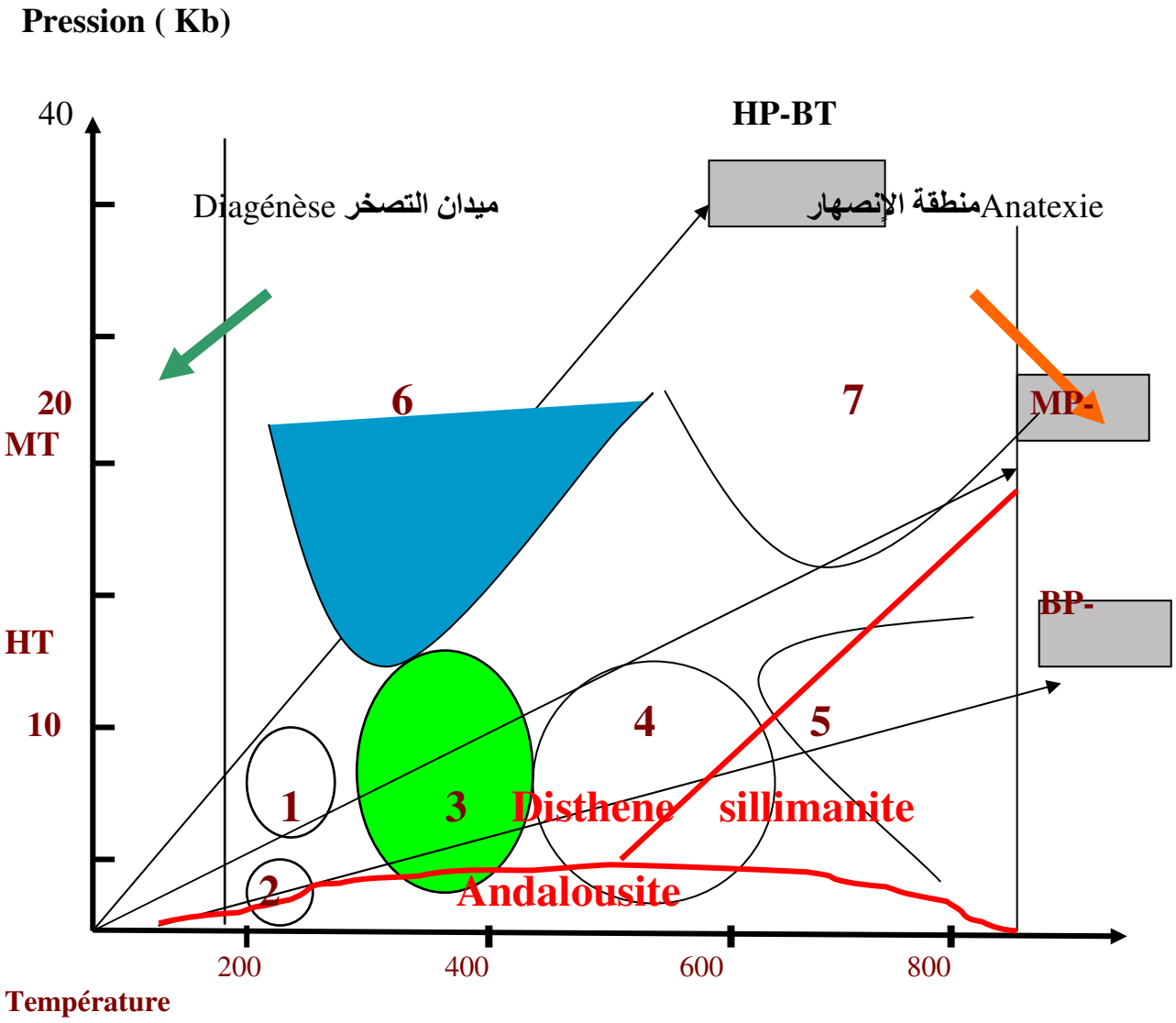
- الدائرة الأولى تتكون من صخور القرنية Skarn ذو منفعة إقتصادية كبيرة .
- الدائرة الثانية تتكون من رخام مصحوب بمعادن الفولاستونيت
- الدائرة الثالثة تتكون من رخام مصحوب بالديوبسيد SiO_3 Ca Mg Fe
- الدائرة الرابعة تتكون من رخام مصحوب بالغرونا Grenat (SiO_4) Ca_2 $_2$ Al
- الدائرة الخامسة تتكون من رخام مصحوب بالتريموليت و هي آخر دائرة تحولية.
- وفي النهاية حجر كلس دون تحول نظرا لبعده عن التأثير الحراري .

بالنسبة **للصخور الطينية** تتشكل الدوائر المتحولة التالية :

- الدائرة الأولى تتكون من صخور القرنية .Skarn
- الدائرة الثانية تتكون من صخر الميكاشيست مصحوب بمعدن السيليمانيت
- الدائرة الثالثة تتكون من الميكاشيست مصحوب بالبيوتيت و الكورديريت Cordierite
- الدائرة الرابعة تتكون من شيست Schiste مصحوب بالميسكوفيت و أندالوزيت (Muscovite + Andalousite)
- الدائرة الخامسة تتكون من شيست مصحوب بالكلوريت و سيريسيت (Chlorite+Sericite) . و هي آخر دائرة تحولية .
- وفي النهاية حجر طيني غير متحول .

2. **التحول الديناميكي :** (درجة حرارة ضعيفة **BT** و ضغط مرتفع **HP**) : يحدث في حواف الفوالق حيث أن استمرار الإحتكاك لفترة طويلة من الزمن يؤدي إلى طحن الصخور إلى حبيبات صغيرة الحجم تتشكل عن إثرها ما يسمى بالميلونيت المتكونة غالبا من الكوارتز و الصفاح .
3. **التحول الحراري : (HT BP) :** نجد هذا النوع عند سيلان الحمم البركانية فوق سطح الأرض محدثة تغيرات الصخور التي تمر عليها . فمثلا يتحول الطين إلى الخزف الطبيعي بزوال الماء و ظهور معادن من الكوارتز .
4. **التحول الإصطدامي : (HP-HT) :** يحدث نتيجة اصطدام النيازك على سطح الأرض بسرعة فائقة مما يؤدي إلى تغيير جذري للصخور المستقبلة .
5. **التجول مائي حراري :** l'hydrothermalisme : هذا النوع مرتبط بتباعد الألواح النشطة في المحيطات حيث ينزل الماء البارد في أعماق القشرة الأرضية حتى يصل بجوار الماغما لترتفع درجة حرارته. يصبح هذا الماء حارا جدا مما يجعله يصعد إلى الأعلى محملا بعناصر كيميائية مثل Fe- Cu -Zn التي تترسب في الأعلى مشكلة تركزات إقتصادية هامة .
6. **التحول الإقليمي أو العام :** يحدث نتيجة عاملي الضغط . و يتم التحول ببطء شديد حيث يشمل مساحات شاسعة و على أبعاد مختلفة من سطح الأرض الضغط مرتفع و حرارة مختلفة. تتشكل إما في الأعماق الكبيرة أو في مناطق تصادم الألواح التكتونية . ينتج عنها انحلال المعادن و إعادة تبلورها في صور منتظمة أو إعادة توجيه المعادن داخل الصخور ليصبح محور طولها عمودي على اتجاه الضغط . و يؤدي هذا إلى تكوين نسيج جديدة تتميز بظهور التورقات في صخر الشيست أو الصفوف في صخر الغنايس (تحول الغرانيت) .

IV- 4- السحن المتحولة (الشكل5) Faciès métamorphiques : السحن المتحولة عبارة عن ميادين بسلم إقليمية تتجمع فيها صخور متحولة بتركيبات كيميائية مختلفة لكنها خاضعة لنفس ظروف الحرارة و الضغط . تقسم هذه المجالات استنادا للتركيب المعدني وفق درجات حرارة و ضغط معينين . و من خلال هذا نستنتج 7 مجالات تناسب 7 سحن متحولة تختلف كل سحنة عن الأخرى بتركيبها المعدني الخاص الذي يتماشى مع ظروف الحرارة و الضغط . تتمثل هذه السحن فيما يلي (الشكل) : سحنة الزيوليت -- سحنة الشيست الأخضر- - سحنة الأمفبوليت سحنة الغرانوليت - - سحنة الشيست الأزرق و سحنة الإكلوجيت.



الشكل5 : مختلف السحن المتحولة حسب الضغط و الحرارة

***1--2- : سحنة الزيوليت** Faciès Zeolite **(T≤300 ° P< 10kb)**

3سحنة الشيست الأخضر (250 < T<450 , 1 < P<12) يخص منلطق تباعد القارات يميزه تواجد معادن الأمفبول : (Trémolite – Actinote)

4سحنة الأمفبوليت (450 < T<700 , 3 < P<15) يحتوي هذا المجال على نقطة تقاطعمعادن سيليكات الألومين (Sillimanite- Disthene – Andalousite) + هنبلانخضراء.

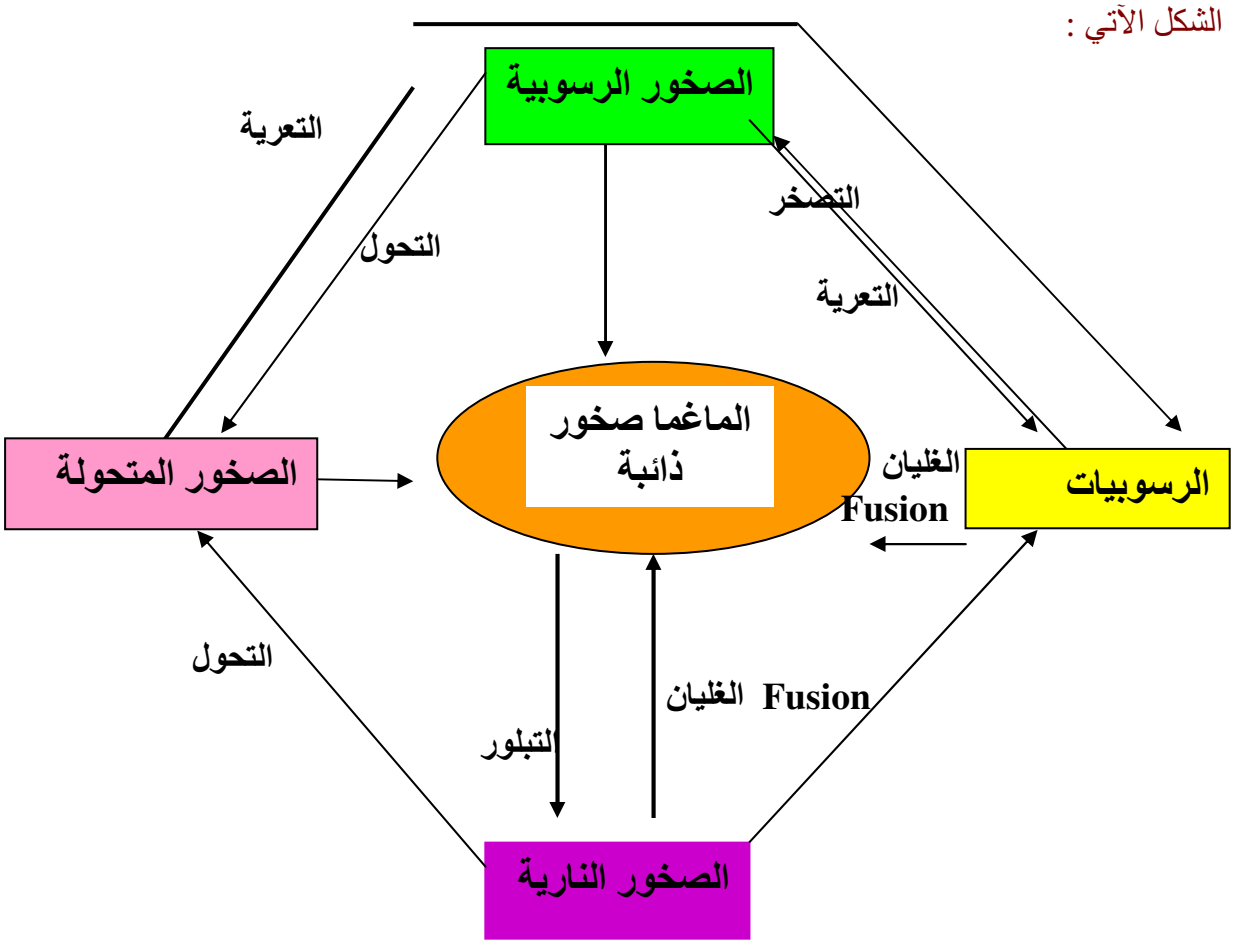
5**سحنة الغرانوليت** Faciès Granulite (5 < P<15 , 700 < T) : تمتاز بمجموعة من المعادن وهي :

Plagioclase- pyroxène – biotite- cordiérite

6**سحنة الشيست الأزرق** (T<400 P>20) ظهور معدن Glaucophane و Epidote
7سحنة الإكلوجيت (400 < T<800 , P>30) و يخص الصخور النارية القاعدية فقط يمتاز بمعادن Grenat و Disthene .

V خلاصة عامة

من الواضح أن دراسة مختلف أنواع الصخور يجبر علينا تناولها بصفة منفردة حسب كل نوع ويستلزم الأمر إلى اخضاع كل حواس الجيولوجي لاستخراج كل صفاتها و الوصول إلى تصنيفها . يجب إذن الاعتماد على الخصائص الخارجية و استكمالها بدراسة مجهرية تكميلية لكي يتحدد إسم الصخر بدقة . تصنف هذه الصخور إلى 3 مجموعات : نارية أو ماغماتية - رسوبية و متحولة . تنشأ كل مجموعة وفق مراحل خاصة و مختلفة . و في الأخير نلاحظ في الطبيعة أن هذه المجموعات الثلاثة (نارية – رسوبية و متحولة) مرتبطة فيما بينها في سلسلة تكوينية تدعى الدورة التكوينية للصخور و الموضحة في الشكل الآتي :



الدورة التكوينية للصخور

المراجع :

- **باهر عبد المجيد القليوني, خالد إبراهيم التركي (1998)** علم الصخور المتحولة . النشر العلمي الرياض.
- **روبرت ل فولك (1996)** علم الصخور الرسوبية . النشر العلمي الرياض
- **بلدي عثمان د. , (2005)** دراسة نموذجية عامة للصخور ; مذكرة تخرج - المدرسة العليا للأساتذة –القبة-

Références bibliographiques

- **CAILLEUX** (1976), Géologie générale- Terre –Lune- Planète, Editions Masson
- **A. FOUCAULT et J.F.-RAOULT,** Dictionnaire de géologie édition MASSON (1984)
- **J.DECOURT et J.PAQUET** (1985); Géologie objets et méthodes édition Dunond université
- **M.PIZIGO,** Les principales textures des roches (1965) Université Paris.

الأعمال التطبيقية لعلم البيتروغرافيا
(Travaux pratiques de pétrographie)

جيولوجيا

للسّنة الثالثة

من إعداد الأستاذ: يحياوي رشيد

المجـــهر الإستـــقـــطابي

Le microscope polarisant

1. المقدمة:

يُستخدم المجهر المستقطب لفحص شرائح المعادن الصخرية، فهو يسمح بتحديد الخواص الضوئية للمعادن، ومنه الأنسجة والعلاقات الموجودة بين مختلف المعادن المكونة للصخور. يتكون المجهر من مجموعة من العدسات، يتشـــابه نظام العدسات في المجهر المستقطب مع نظام العدسات في المجهر العادي، غير أن بعض التعـــديلات وجـــب وضعها لدراسة المعادن من أهـــمها المستقطب والمحلل (polariseur et analyseur) حيث يوجد الأول تحت القاعـــدة الدوارة والثاني فـــوقها.

إضافة إلى الـــقـــاعدة الدوارة، نجد عدسة أميسي برتراند (La lentille de Bertrand Amici) والعديد من الوحدات المساعدة مثل شريحة الميكا وشريحة الجبس وشريحة الكوارتز.

عـــند فحص شريحة ما، فـــإننا نستعمل الضوء المستقطب وحـــده أو نضيف المحلل، كما يمكننا رفـــع وخفض القاعدة الدوارة بالتتابع.

تُصنع الشرائح من قطع الصخور المراد دراستها. يكون طولها وعرضها متغيرين وتكون عادة ذات عرض يساوي 3 سم و الطول محصور بين 3 و5 سم، أما السمك فيجب أن لا يتعدّى 0.03 مم.

نلاحظ من خلال الشكل 1 أن مجموعة الأجهزة تتواجد داخل أنبوب و بتتبعها من الأسفل إلى الأعلى فوق القاعدة الدوارة نجد ما يلي:

1.1 مكونات المجهر المستقطب :

- الشريحة
- العدسات الشيئية (les objectifs).
- فتحة تستخدم للوحدات المساعدة.
- المحلل (l'analyseur) داخل و خارج النظام.
- عدسة أميسي برتراند (Lentille Amici Bertrand).
- العدسة العينية (L'oculaire).

أمَا تحت القاعدة الدوارة فنجد من الأعلى إلى الأسفل :

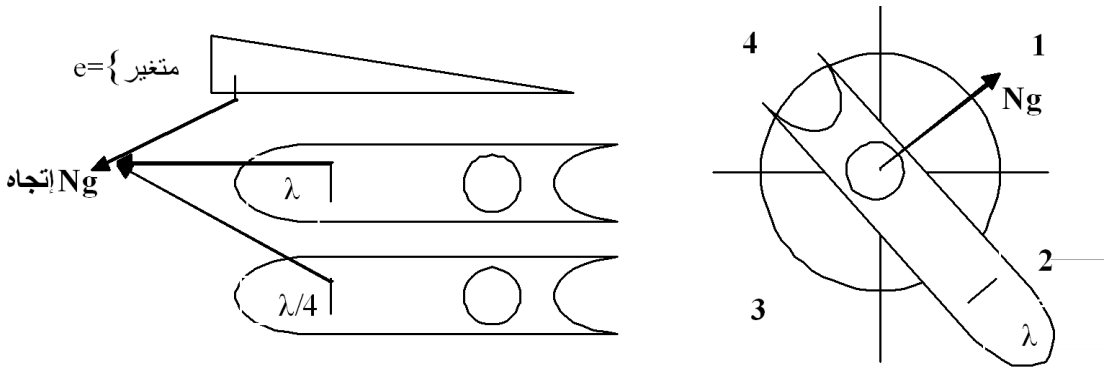
- المستقطب (Le polariseur).
- المصباح.
- المكثــف (Le condenseur): متحرك و حامل المصباح.

2.1 الشرائح المساعدة

نستعمل في دراستنا شرائح مساعدة نذكر منها:

- **شريحة الكوارتز أو المر:** تعطي الألوان المتداخلة من بداية الدور الأول حتى الدور الثــالث والرابع (أنظر سلّم نيوتن) لأنها ذات سمك e متغير.
- **شريحة الميكا:** وتعطي اللون الرمادي $\lambda/4$.
- **شريحة الجبس** وتعطي اللون البنفسجي λ.

نجد على كل معوضة خط منقوش على الحامل يدل على اتجاه Ng بحيث عند إدخال المعوضة في النظام يشكل Ng زاوية 45° مع شعرتي المستقطب والمحلل في الربع 1 و 3 (الشكل 2).



شكل :2 شريحة الكوارتز والجبس و الميكا

3.1 الإحتياطات في استعمال المجهر

كي يتمَ فحص الشرائح فحصًا جيدًا، يجب اتخاذ بعض الاحتياطات من أهمها :

أن تبقى العينان مفتوحتين عند النظر من خلال المجهر في أول الأمر يبدو ذلك صعباً، يمكن وضع حاجز على العين التي لا تستخدم ولكن بشرط أن تبقى مفتوحة

لا يجب مسك العدسات الشيئية من الأنبوب عند تغيير التكبير، بل نقوم بتدويرها من الحلقة المتصلة بها من الأعلى (Le revolver). إنَ اللمس المتكرر لهذه العدسات يؤدي بالمجهر إلى فقدان تمركزه (décentré) في هذه الحالة يجب ضبط المجهر من جديد.

4.1 إعداد الشرائح :

تُجهز شرائح المعادن أو الصخور في مخابر خاصة ويخضع إعدادها للمراحل التالية :

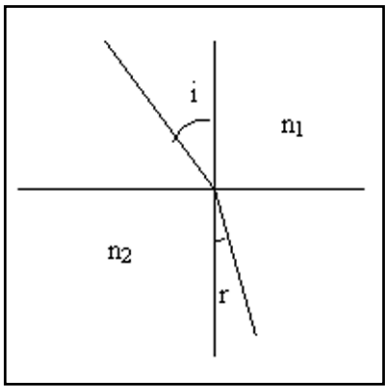
- قطع الصخر أو المعدن بمنشار حافته مكونة من الماس الأسود يسيل حوله ماء حتى الحصول على سمك 3 سم تقريبا.
- صقل وجه من الوجهين لشريحة المعدن بخليط مادة كربور السيليسيوم (carbure de silicium) ثم بخليط مادة اكسيد الألومين (oxyde d'alumine).
- خدش الشريحة الزجاجية للصقها على مقطع العينة المصقول.
- لصق العينة بالشريحة الزجاجية بواسطة المادة اللاصقة بلزم كندا أو ارالديت.
- وضع العينة اللاصقة بالشريحة الزجاجية بضع دقائق فوق سخان عند 90° مع التحريك لطرد فقاعات الهواء.
- إزالة العينة من السخان و تركها فترة زمنية لتبرد.
- تعديل سمك الشريحة بواسطة معدل الشرائح (rectifieuse) حتى الوصول إلى سمك 0.03 مم و ذلك بتثبيت بماسك معدني العينة اللاصقة بالشريحة الزجاجية فوق قرص أفقي يدور بسرعة مع استعمال خليط مادة أوكسيد الألومين (oxyde d'alumine).
- . للتحقق من سمك الشريحة المناسب، نلاحظ معدن الكوارتز تحت المجهر بالمحلل. يكون السمك مناسبا إذا حصلنا على لون رمادي او أبيض تحت المجهر. أما إذا حصلنا على لون اصفر أو برتقالي فهذا يدل على أن سمك الشريحة يفوق 0.03 مم .عندئذ يجب صقل الشريحة مرة أخرى.
- نضع العينة مرة أخرى فوق السخان و نغطيها بغطاء زجاجي بواسطة بلزم كندا أو الأرالديت.

2. بعض الخواص الفيزيائية للضوء المستقطب:

لكي يتم الفهم الجيَد لمختلف خصائص المعادن التي نحن بصدد دراستها، يجب فهم كيفية عمل المجهر وخصائصه الفيزيائية.

1.2 معامل الانكسار Indice de réfraction

عندما يمر الضوء مائلا من وسط متماثل الخواص (milieu isotrope) إلى وسط آخر متماثل الخواص بسرعة مختلفة، فإنه يعاني من تغيير مفاجىء في اتجاهه. يسمى هذا التغيير **بالإنكسار**، و تكون العلاقة بين زاوية الضوء الساقط و الضوء المنكسر مبيَنة في الشكل 4.



الشكل 4.

إذا فرضنا أن معاملي إنكسار الوسطين هما n_1 و n_2، فــقانون ديكارت (Descartes) يربط بين الزاويتين كما يلي :

$$\mathbf{n_1 \sin i = n_2 \sin r}$$

إذا كان $n_2 > n_1$ نستنتج أن $i > r$

n_1 : معامل إنكسار الوسط الاول n_2 : معامل إنكسار الوسط الثاني

i : زاوية الورود r : زاوية الإنكسار

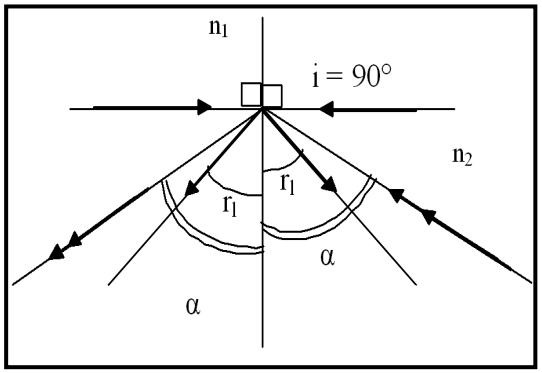
يمكن حساب الزاوية الحدَية r_1 (الشكل4) إذا كان $i = 90°$

يصبح قانون ديكارت (Descartes) كما يلي : $\mathbf{n_1 \sin 90° = n_2 \sin r_1 \Rightarrow n_1 = n_2 \sin r_1}$

$$\mathbf{\sin r_1 = n_1 / n_2}$$

الزاوية الحدَية= r_1

مــلاحــظة 1:

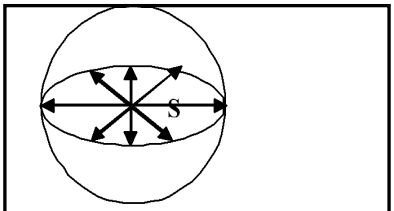


إذا دخل الضوء من الوسط n_2 إلى الوسط n_1 وكانت زاوية السقوط أو زاوية الورود α أكبر من الزاوية الحدية فلا ينكسر الضوء من الوسط n_2 إلى الوسط n_1 ولكن ينعكس في نفس الوسط n_2 بنفس الزاوية α.

مــلاحــظة 2

نقصد بوسط متماثل الخواص (milieu isotrope) الأوساط التي يمر فيها الضوء **بِــنفس السرعة** في جميع الإتجاهات و يكون لديه شكل كرة في الفضاء إنطلاقا من المنبع S (الشكل 5) . مثلا: الماء، الهواء، الغاز، بلزم كندا (le baume de Canada). والمعادن التي تتبلور في النظام المكعب.

عندما يمر الضوء داخل هذه الأوساط يعطي شعاعاً واحداً فقط لأن لديها معامل انكسار واحد و تسمى هذه البلورات بأحادية الانكسار (monoréfringent).

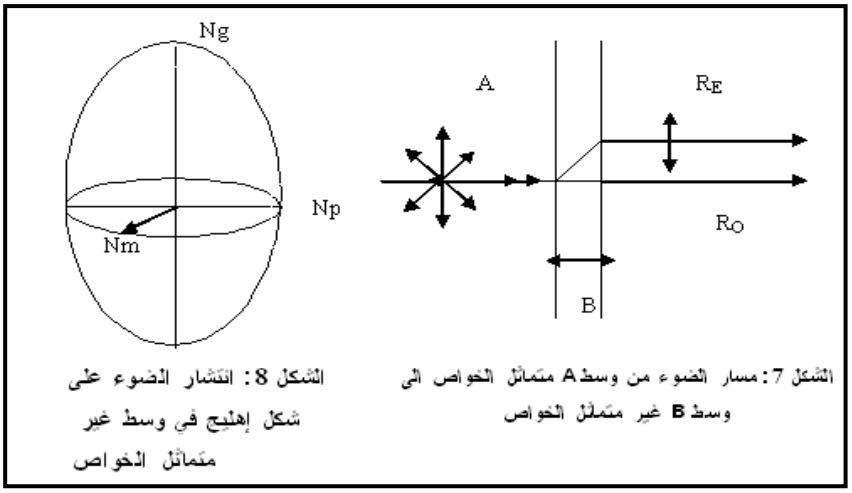


الشكل 6: انتشار الضوء على شكل كروي في وسط متماثل الخواص

مــلاحــظة 3:

أما في حالة المعادن الغير متماثلة الخواص (minéraux anisotropes) والتي تتبلور في الأنظمة الستة الباقية : الرباعي" le quadratique "، الثلاثي" le rhomboedrique "، الســداسي" l'hexagonale"، المعين المســتقيم "l'orthorombique "، أحادي الميل " le monoclinique " وثلاثي الميل "le triclinique " فإن سرعة الضوء ليست ثابتة وإنما تتغير مع اتجاه انتشار الضوء.

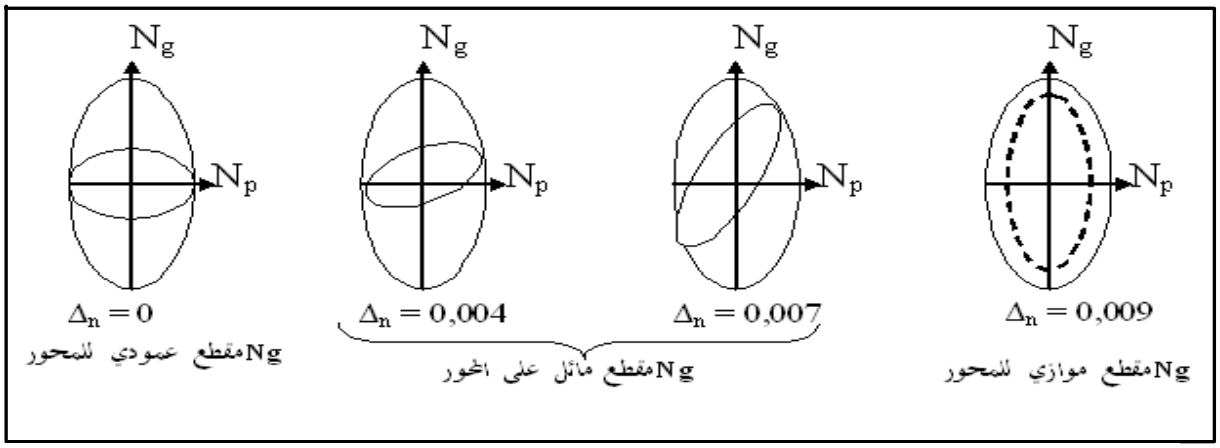
تمتاز المعادن التي تتبلور في أحد هذه الأنظمة بثلاث معاملات إنكسار ng, np, nm والضوء الذي يمر من خلال البلورة يرسم شكلا إهليجيا ذي 3محاور Ng- Np- Nm .



الشكل 8: انتشار الضوء على شكل إهليج في وسط غير متماثل الخواص

الشكل 7: مسار الضوء من وسط A متماثل الخواص الى وسط B غير متماثل الخواص

نلاحظ أن كل شعاع يمر من وسط متماثل الخواص كالهواء A مثلا إلى وسط غير متماثل الخواص كمعدن الكالسيت مثلا B يعطي شعاعا واحدا في الوسط الأول A وشعاعين في الوسط الثاني B :شعاع عادي rayon ordinaire وشعاع غير عادي rayon extraordinaire لديهما إهتزاز متعامد.



2. 2 التضاريس Le relief :

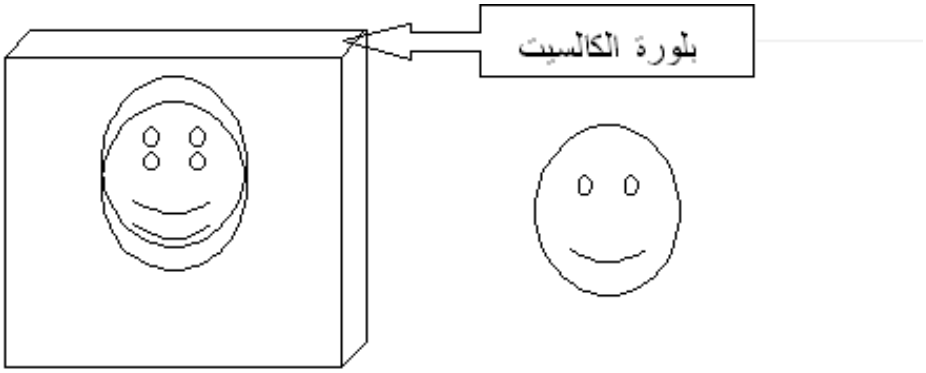
تظهر بعض المعادن بوضوح في حقل الرؤية بينما تكون معادن أخرى متوسطة الوضوح والكثير منها يكون صعب الوضوح، تسمى هذه الصفة بتضاريس المعدن. يتوقف وضوح حدود المعدن داخل الشريحة على الفرق بين معامل انكسار المعدن والمعدن المجاور له أو مع بلزم كندا (و هو الغراء المستعمل للصق الصخر بالشريحة) ينتج عنه معادن ذات معالم انكسار مختلفة:

- معامل انكسار **صغير** كالكوارتز ng = 1.5533 و np = 1.5442.
- معامل انكسار **متوسط** كالبيوتيت ng = 1.63 و np = 1.58.
- معامل انكسار **كبير** كالزركون ng = 2.02 و np = 1.96

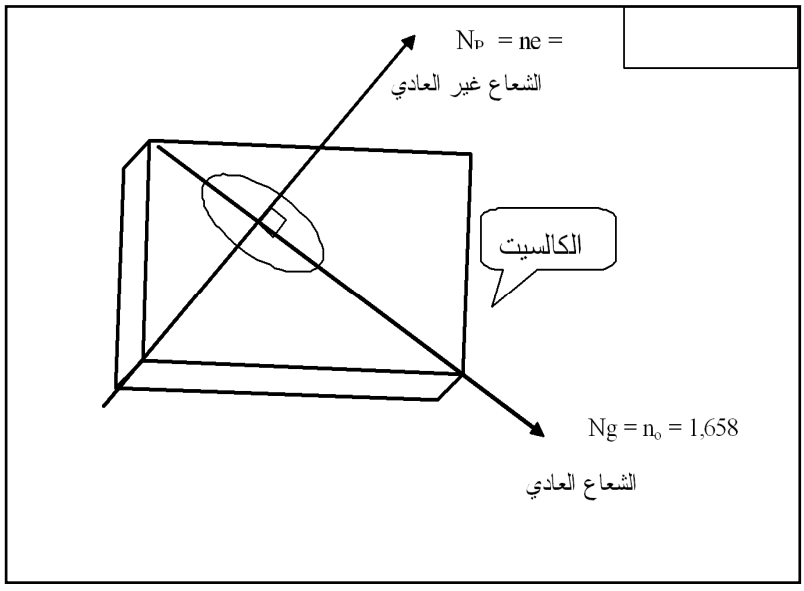
ونعرف **بتضاريس سالبة** كل معدن له تضاريس أقل من تضاريس بلزم كندا n = 1.537.
ونعرف **بتضاريس إيجابية** كل معدن له تضاريس أكبر من تضاريس بلزم كندا.

2. 3 الإنكـــسار المـــزدوج biréfringence–double réfraction

كما ذكرنا سابقا، عند مرور الضوء من خلال عدد كبير من المعادن الشفافة، فإنه يتعرض لإنكسار مزدوج إلى حزمتين ضوئيتين تتذبذبان من خلال مستويات تكون تقريبا متعامدة على بعضها ومن بين المعادن الغير متماثلة الخواص نذكر مثلا الكالسيت الشفاف.



إذا رسمنا على ورقة دائرة بداخلها شكل وجه ونظرنا من خلال بلورة الكالسيت (Spath d'Islande) فإننا سنشاهد الرسم مزدوجاً. يتم ذلك بسبب تذبذب الأمواج حسب المحورين المكونين للبلورة. تتكون الصورة الأولى من أمواج تتذبذب حسب المحور الطويل للبلورة وهو الشعاع العادي. والصورة الثانية تتكون من أمواج تتذبذب حسب المحور القصير للبلورة وهو الشعاع غير العادي. إن شعاع الضوء المار من خلال البلورة قد انكسر إلى شعاعين مختـــلفين في القياس، الأول ذو معامل انكسار كبير موازي للمحور الطويل (الشعاع العادي) والثاني ذو معامل انكسار صغير موازي للمحور القصير (الشعاع غير العادي) وهو موازي لمحور الضوء



الشعاع العادي = المحور الطويل ng =1.658.

الشعاع غير العادي = المحور القصير np =1.615. موازي للمحور الضوئي (Axe optique).

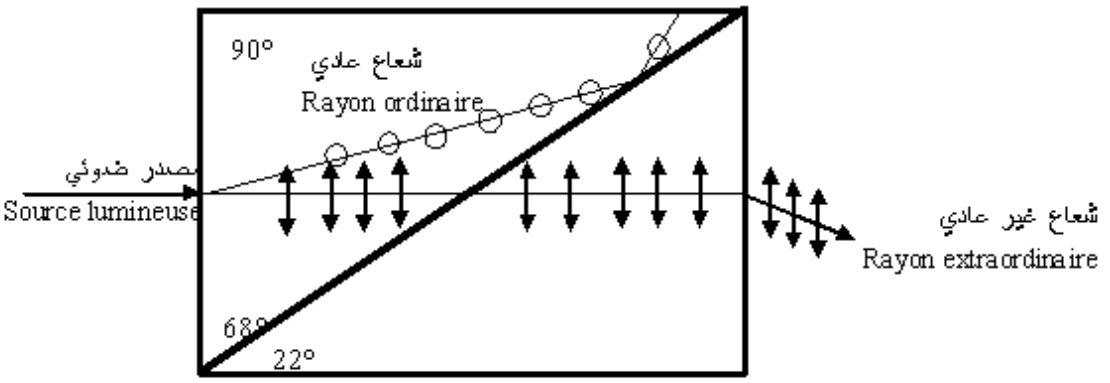
نستنتج أن كل معدن يتميز بقيمة معينة لمعاملي انكسار **ng** و **np** و يكون الفرق بينهما كبيرا كما هو الحال في الكالسيت(la calcite) **Δn = ng -np = 1.658-1.516 = 0.142** أو صغيرا كما هو الحال في الكوارتز (le quartz) **Δn = ng -np = 1.553-1.544= 0.009**

ملاحـــظة: ــ تخص هذه القيم القصوى المقاطع الموازية للمحور الضوئي كما ذكرناه سابقا.

ــ لا نلاحظ الإنكسار المزدوج عندما ننظر إلى بلورات الكالسيت أو الكوارتز أو إلى معدن آخر في اتجاه المحور البلوري الرئيسي (محور C) الذي يكون أيضا موازيا لإتجاه المحور الضوئي متماثل الخواص وفي هذا الإتجاه يصبح الإهليج دائرة **(ng = np)** وفي أي إتجاه آخر يكون المعدن غير متماثل الخواص.

4.2 مـــوشور نيـــكول Le prisme de Nicol

يتكون موشور نيكول من جزئين من الكالسيت النقي ملصقين ببلزم كندا " Le baume de Canada ". كل جزء متكون من مثلث قائم وتساوي زواياه 22 و68 درجة يوجد في المجهر المستقطب موشوران، الأول فوق المنبع الضوئي (المستقطب) والثاني فوق الشريحة (المحلل).



عندما يمر الضوء من خلال الموشور الأول ينقسم إلى شعاعين واحد عادي والثاني غير عادي، مع العلم أن معامل إنكسار بلزم كندا يساوي 1.537 ومعامل إنكسار الشعاع غير العادي مقارب جدا له. نلاحظ عند اصطدام الشعاعين بالمستوى اللاصق لبلزم كندا أن الشعاع العادي لا ينـــكسر من خـــلال بلزم كـــندا وإنما ينعكس داخل الموشور نفـــسه، بيـــنما الشعاع الغـــير العادي (ne = 1.516) ينكسر من خلال بلزم كندا داخل الموشور بقليل من الإنحراف ويستقطب **ويتذبذب في مستوى واحد** وبالتالي يخرج الضوء من الموشور مكونا من الشعاع الغير العادي مستقطب في مستوى واحد .

3. ألوان التداخل بين موشوري نيكول المتعامدين بالضوء المتوازي

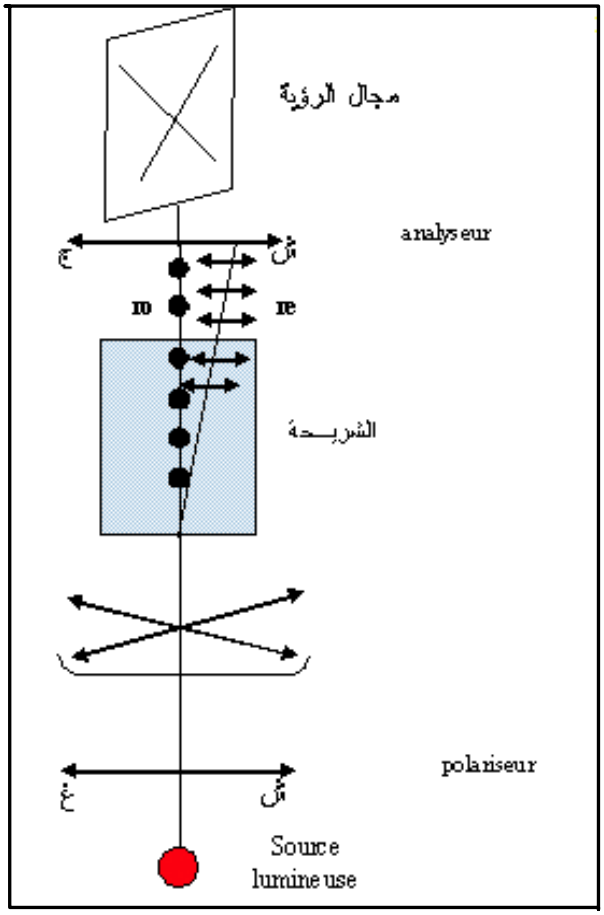
Les lumières d'interférences entre nicols croisés en lumière parallèle

1.3 مسار الأشعة الضوئية بين موشوري نيكول المتعامدين

يوضع موشور Nicol الثاني فوق العدسة الشيئية وهو المحلل (Le polariseur) يمكن إدخاله في نظام المجهر كما يمكن إخراجه حسب نمط الدراسة المراد القيام بها. في حالة إدخاله في النظام، يصبح متعامداً مع الموشور الأول ويمكن ملاحظة ذلك بتعتيم تام عندما تكون القاعدة غير مشغولة أو بها شريحة فيها معادن متماثلة الخواص والتي تتبلور في النظام المكعب أو المعادن الزجاجية (غير المتبلورة) و كذلك بلزم كندا.

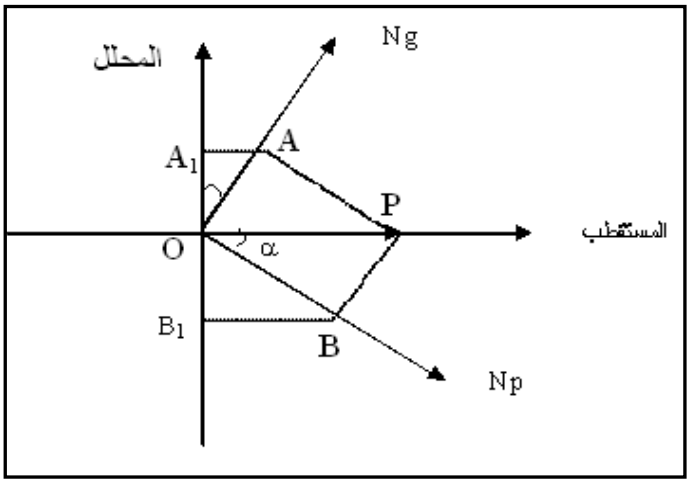
تظهر المعادن التي تتبلور في الأنظمة الستة المتبقية غير متماثلة الخواص في معظم الأوضاع بألوانها أو شفافة من خلال المجهر وعند تعامد الموشورين بإدخال المحلل تعطي **ألوانا متداخلة أو ألوان التداخل.**

عندما يمر الضوء عبر موشور نيكول الأول (المستقطب) يتذبذب في مستوى واحد ويكون في حالة مجهر من نوع (Zeiss) في اتجاه شرق – غرب. يصطدم الضوء بالسطح السفلي للشريحة وبداخلها ينقسم إلى شعاعين متعامدين عادي وغير عادي حيث ينتشر كل منهما بسرعة مختلفة من خلال معدن ما. عندما تعبر المجموعتان السطح العلوي للشريحة تكونان متعامدتين وتكون قد انتشرت مجموعة أبعد من الأخرى ولكن دائما في حالة متعامدة. عند إدخال المحلل (الموشور الثاني) فإنه يقوم بتحليل الشعاعين إلى مستوى واحد حيث يخرجان من المحلل متذبذبين في نفس المستوى ويكونان في وضع تداخل.



2.3 شدة الضوء الخارج من المحلل L'intensité lumineuse après l' analyseur

يبين الشكل محوري المستقطب (شرق- غرب) والمحلل (شمال – جنوب) متعامدين ومحوري البلورة غير متماثلة الخواص Ng و Np متعامدين فيما بينهما أيضا. في حالة إدارة القاعدة الدوارة فإن البلورة تدور حول نقطة تقاطع الشعرتين المنطبقتين على محوري موشوري نيكول (المستقطب والمحلل) اللذان يبقيان ثابتين. أما محوري البلورة المتعامدين فيدوران حول نقطة تقاطع الشعرتين.



إذا كانت الزاوية بين المستقطب والمحور Np تساوي α فإن الإهتزاز OP الخارج من المستقطب يتفكك إلى OA على Ng و إلىOB على Np اللذين ينتشرين في المعدن بسرعة مختلفة. عند إدخال المحلل في النظام فإن OA وOB يسقطان على المحلل وفق OA_1 و OB_1 نلاحظ أن - = OA_1 OB_1 ويتذبذبان في نفس المستوى.لكن بين OA_1 و OB_1 تأخر يساوي $\delta = e(ng-np)$ وفرق الطور بينهما " différence de phase " يساوي :$\phi=2\pi\delta/\lambda$. e = سمك الشريحة

في الشكل 14 نلاحظ :

$$OA = OP\sin\alpha \Rightarrow OA_1 = OP\sin\alpha\cos\alpha = OP\sin 2\alpha/2$$

$$OB = OP\cos\alpha \Rightarrow OB_1 = OP\sin\alpha\cos\alpha = OP\sin 2\alpha/2$$

$$\mathbf{OA_1 = -OB_1 = OP\sin 2\alpha/2}$$

الإهتزازان OA_1 وOB_1 يتداخلان وبينهما فرق الطور $pd2=f/\lambda$ كما يلي :

$$\mathbf{OA_1 = OP\sin 2\alpha/2.\ Coswt}$$

$$\mathbf{OB_1 = OP\sin 2\alpha/2\ .\ cos(wt-\phi)}$$

تصبح شدة الضوء :

$$\mathbf{I = OA_1+OB_1 = OP\sin 2\alpha/2[coswt - cos(wt-\phi)]}$$

$$\mathbf{I = I_0\sin^2 2\alpha\sin^2\phi/2}$$

$$\mathbf{I = I_0\sin^2 2\alpha\sin^2\delta\pi/\lambda}$$

<u>دراسة شدة الضوء المارة عبر مختلف المعادن</u>

سوف ندرس كل جزء منها على حدا.

الجزء الأول من المعادلة : $\sin^2 2\alpha$ تتراوح قيمته ما بين 0 و 1.

الحالة الأولى: عندما تكون المعادلة $\mathbf{Sin^2\ 2\alpha = 0}$ أي شدة الضوء **I** منعدمة يدل على أن . $\mathbf{k\pi/2 = \alpha}$

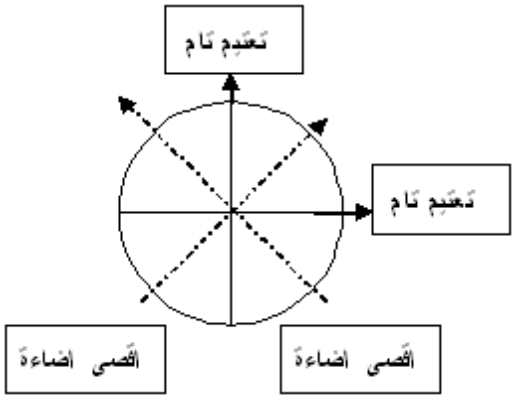
هذا يعني أن : $\mathbf{\alpha = 0\ ،\ \pi/2،\ \pi،\ 3\pi/2}$.

حيث نحصل على تعتيم تام عندما **I =0** و منه نحصل على أربعة أماكن متتالية عند دوران القاعدة. هذه الحالة واضحة عندما ينطبق Ng **و** Np أي محوري المعدن مع محوري المستقطب والمحلل

الحالة الثانية : عندما تكون المعادلة: $\mathbf{Sin^2\ 2\alpha = 1}$ أي شدة الضوء **I** قصوى

هذا يعني $\alpha =$ $\pi/4$, $3\pi/4$, $5\pi/4$, $7\pi/4$

حيث نجد أربع أماكن ذات أقصى إضاءة وبين التعتيم التام والإضاءة القصوى زاوية تساوي 45°.



3.3 مجموعة الألوان المتداخلة أو سلم نيوتن Les couleurs d'interférence ou l'échelle de newton

الجزء الثاني $\mathbf{I/\ dp^2sin = I\ /(e(ng- np)}$: $\mathbf{p\ ^2sin}$ تتراوح قيمته ما بين 0 و 1

الحالة الأولى: عندما تكون المعادلة:

$\mathbf{sin^2}\ \pi\ e(ng- np)/\ \lambda = 0$ يعني $k\lambda = e(ng-np\ )$ ما عدا في الحالة الأولى التي تخص ng-np =0

والمقطع الدائري العمودي على المحور الضوئي حيث نحصل أيضا على التعتيم التام عندما يكون e(ng-np) مضاعف لـــ λ يعني الضوء أحادي اللون Lumière monochromatique. ولكن في المجـــهر الإستـــقـــطابي يستعمل الضوء المتعدد الألوان Lumière polychromatique. لهذا السبب عندما تنطفئ إحدى الموجات، تبقى الموجات الأخرى محفوظة وتعطي ما يسمى بألوان التداخل لنيوتن. ولذلك باستعمال الضوء المتعدد الألوان لا نحصل على التعتيم التام مهما كانت قيمة λ..

.

الحالة الثانية: عندما تكون المعادلة:

$\sin^2 \pi\, e(ng- np)/\lambda = 1$ يعني $e(ng-np) = \lambda.\ (2k+1)/2$.

نحصل على أقصى إضاءة عندما يكون $e(ng-np)$ مضاعف لـــ $\lambda/2$.

تنقسم عادة ألوان التداخل إلى أربعة أدوار ينتهي كل دور باللون البنفسجي.

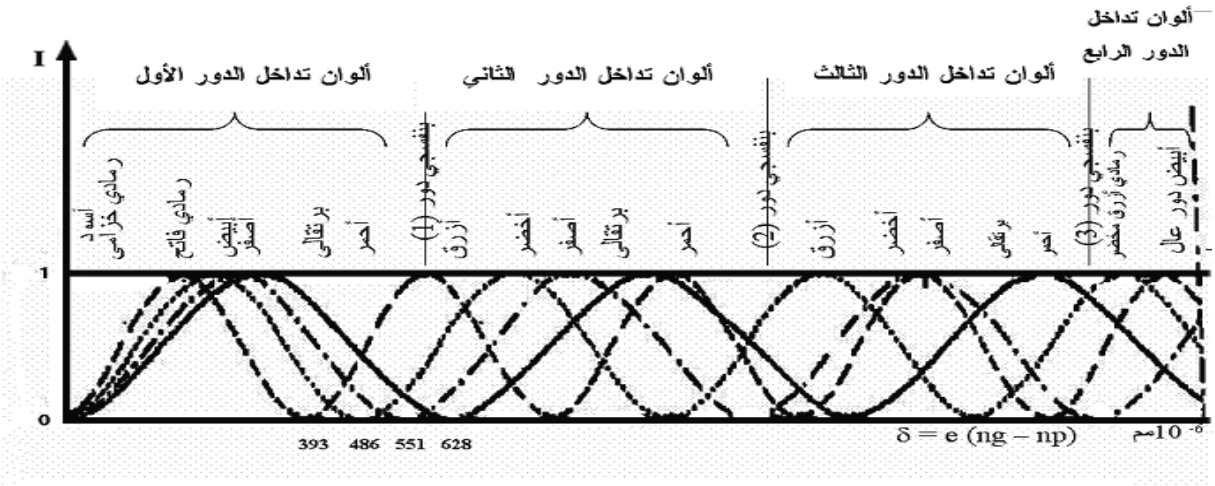
في البداية، I=0 تعتيم تام وفي مجال الموجات القصيرة ويتغير اللون تدريجيا إلى أبيض الدور الأول وينتهي الدور الأول بالبنفسجي الأول . كلما يزداد $\delta = e(ng-np)$ تتباعد المنحنيات عن بعضها البعض، حيث ينعدم البعض منها ويبقى البعض الآخر، فتصبح الألوان زاهية وحية في الدور الثاني. ونجد في الدور الثالث نفس الألوان التي تتميز باتساع أكبر. تتباعد المنحنيات أكثر فأكثر عن بعضها البعض في الدور الرابع ونلاحظ خليطاً في الألوان يصعب تمييزها ونحصل على الأبيض ذي دور عال :

- **الدور الأول 0 <ng- np> 0.009** ممثلة بالألوان التالية: أسود، رمادي داكن، رمادي فاتح، رمادي خزامي، أبيض، أصفر، برتقالي و بنفسجي أول.

- **الدور الثاني 0.009 <ng- np> 0.018** فيها الألوان التالية: الأزرق، الأخضر، الأصفر، البرتقالي، الأحمر، البنفسجي الثاني وهي ألوان زاهية وواضحة.

- **الدور الثالث 0.018 <ng- np> 0.027** فيها نفس ألوان الدور الثاني ولكنها أقل وضوحا وهي الأزرق، الأخضر، الأصفر، البرتقالي، الأحمر، البنفسجي الثالث.

- **الدور الرابع ng- np >0.027** تضم نفس ألوان الدور السابق و لكن خليط الألوان الثلاثة (أزرق +أخضر + أصفر) يعطي لوناً يشبه اللون الأبيض ذي دور عال (Blanc d'ordre supérieur).



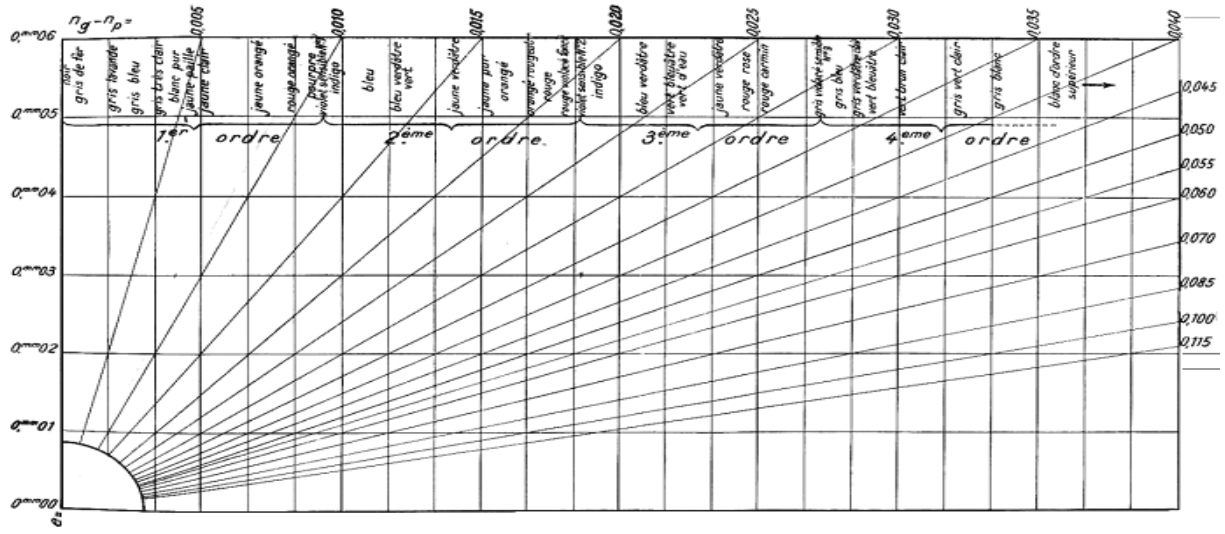
الشكل 17: علاقة بين فرق مسار δ و λ/ $I = \sin^2 2\delta\pi$ وفق أربع قيم لـــ λ

4.3 قياس تطبيقي للانكسارالمزدوج باستعمال لوحة ميشال ليفي ولاكروا.

تتمثل لوحة ميشال ليفي ولاكروا في محورين وخطوط مستقيمة. يمثل المحور العمودي قيمة سمك الشرائح ويمثل المحور الأفقي القيم القصوى لـــ ng-np لكل معدن والألوان الموافقة لها. بالإضافة إلى خطوط مستقيمة أفقية تناسب تغير السمك وأخرى مائلة تربط بين نقطة تقاطع المحورين وقيم ng-np المناسبة لسمك 0.06 ملم. فنقطة التقاطع بين الخطوط الأفقية للسمك و المائلة لـــng-np تعطي لنا لون التداخل للمعدن.

علماً أن سمك الشرائح المستعملة في المخابر يساوي عامة 0.03 مم تقريباً، يصبح من السهل استنتاج لون التداخل لكل معدن. و العكس ممكن أيضاً، بحيث يمكن استنتاج قيمة ng-np عندما نحدد اللون.

ملاحظة : حسب الشكل، نلاحظ أنه في حالة معدن ذي سمك س = 0.06 مم و فرق معامل انكسار



ng-np = 0.09، يكون له لون تداخل بنفسجي أول، عندما يصبح سمكه س = 0.03 مم يصبح لون تداخلـــه أبيضا. فالكوارتز مثلاً، إذا كان سمكه س = 0.03 مم يظهر بلون تداخل أبيض أو رماد أبيضـــاي ويصبـــح لون تداخلـــه أصفر أو برتقالي إذا كان سمكه أكبر من ذلك مثلاً: س = 0.04 أو 0.05 مم.

1 .4 تعريف معادن أحادي المحور:

تشمل مجموعة أحادي المحور المعادن ذات الأنظمة التالية: رباعي، سداسي, ثلاثي وتتميز بوجود محور ضوئي واحد

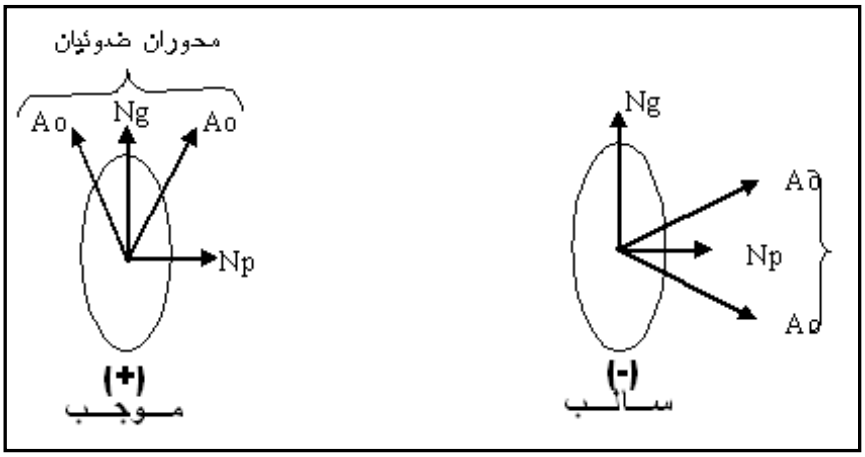
- **أحادي المحور موجب** عندما يكون المحور الضوئي منطبقاً مع Ng للمعدن.
- **أحادي المحور سالب** عندما يكون المحور الضوئي منطبقاً مع Np للمعدن.

2.4 تعريف معادن ثـــنائي المحـــور:

تشمل هذه المجموعة الأنظمة البلورية التالية: أحادي الميل, ثلاثي الميل ومُعيَّـــن مستقيم وتتميز بوجود محورين

ثنائي المحور موجب عندما يكون Ng منصف المحورين.

ثنائي المحور سالب عندما يكون Np منصف المحورين.



الخواص العامة للمـــــعــادن

Caractéristiques générales des minéraux

تتم دراسة المعادن المكونة للصخور بتحضير شرائح زجاجية مصنوعة من الصخر المراد التعرف عليه إذ نتعرف على المعادن بدراسة بعض خواصها بدون محلل أولاً ثم بواسطة المحلل.

1. دراسة المعادن بدون محلل :

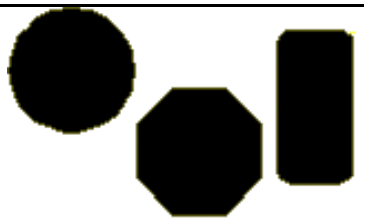
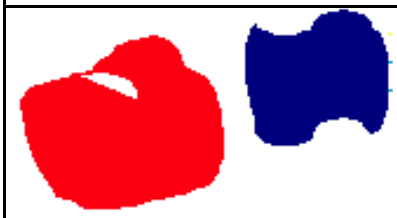
من بين الخواص التي يمكن دراستها بدون المحلل ما يلي :

1.1 التضاريس Le relief :

يتوقف وضوح حدود المعدن على الفرق بين معامل انكسار المعدن والمعدن المجاور له أو مع بلزم كندا. نقول أن معدنا ذا تضاريس عالية إذا كانت حدوده واضحة جدا، متوسطة إذا كانت تظهر قليلا وضعيفة إذا كانت لا تظهر جيدا أو مختفية.

2.1 الشـــكــل La forme :

حسب ظروف نشأة المعدن فإنه يأخذ أشكالا متعددة من بينها (الشكل 34A) :

كـــامل الشـــكل automorphe	نـــاقص الشـــكل Sub-automorphe	عـــديم الشـــكل xénomorphe
كل الأضلاع مستقيمة أو دائرية الشكل.	جزء من الأضلاع مستقيم	لا نجد ضلعا مستقيما
		

3.1 اللـــون : التبدل اللوني أو البليوكروييزم le pleochroïsme

نلاحظ أن هناك بعض المعادن ملونة بصفة طبيعية وتظهر هذه الألوان الطبيعية بالعين المجردة. تتميز مثلا مجموعة الهورنبلاند الخضراء بلونها الأخضر والبيوتيت بلونها الأسمر وعندما نرى هذه المعادن الملونة تحت المجهر بضوء مستقطب بدون محلل نجد نفس الألوان التي لاحظناها بالعين المجردة : بني للبيوتيت وأخضر للهورنبلاند. تظهر بعض المعادن عديمة اللون وأخرى ملونة. وعند إدارة القاعدة الدوارة تبقى ألوان بعض المعادن ثابتة لا تتغير، بينما هناك معادن أخرى تتـــغير ألوانها حسب اتـــجاهها أو حسب الإنفصام مع مستوى المستقطب.

يخص التبدل اللوني المعادن الملونة غير متماثلة الخواص فقط. لا توجد هذه الظاهرة في المعادن المتماثلة الخواص وفي المقاطع الدائرية للمعادن غير متماثلة الخواص.

فمثلا يتغير لون البيوتيت من بني داكن إلى بني فاتح فيرجع هذا التبدل اللوني إلى عدم تجانس توزيع الذرات داخل المعدن يعني أن تركيز الذرات في المعدن ليس ثابتا في كل الاتجاهات وهو مرتبط باتجاه المحاور الرئيسية Np و Ng للمعدن. لهذا السبب يحدث امتصاص الضوء داخل المعدن حسب اتجاه Np و Ng للمعدن بالنسبة للمستقطب. تسمى هذه الظاهرة بالتبدل اللوني أو البليوكروييزم (le Pléochroïsme)

ومن أهم المعادن التي لديها تبدُل لوني **البيوتيت** ((Biotite حيث يكون لونها بنيا داكنا عندما يكون الإنفصام أو المحور Ng موازيا للمستقطب ويصبح بنيا فاتحا إلى مصفر في اتجاه عمودي على المستقطب أو موازيا للمحور Np ويسمى بالبليوكروييزم المباشر بخلاف معادن أخرى لديها **بليوكروييزم معاكس** كالتورمالين (la tourmaline) مثلاً.

إذا وضع طول المعدن موازيا للمستقطب يظهر بلون رمادي أو بني فاتح وإذا وضع عموديا على المستقطب بإدارته يظهر بلون بني داكن.

هناك أيضا معادن أخرى تتميز بتبدُل لوني كالكلوريت، الهورنبلاند السمراء، البيروكسان والبيستاشيت.

ملاحظة: في المجهر من نوع "(Zeiss)"، يكون اتجاه مستوى المستقطب شرق – غرب وقد يكون في مجاهر أخرى في الاتجاه شمال – جنوب.

لا يجب خلط هذه الألوان مع تلك التي تُرى بالمحلل والتي تسمى بألوان التداخل.

4.1 الفرق بين التبدل اللوني وألوان التداخل:

التبدل اللوني

- يلاحظ بدون محلل.
- يخص فقط بعض المعادن الملونة طبيعيا غير متماثلة الخواص.
- يتغير هذا اللون الطبيعي للمعدن من فاتح إلى داكن نتيجة امتصاص الضوء وفقا لاتجاه المعدن بالنسبة للمستقطب.

ألوان التداخل:

- تُلاحظ باستعمال المحلل.
- ليست طبيعية وليس لها علاقة مع لون المعدن.
- تخص كل معدن غير متماثل الخواص سواء كان عديم اللون أو ملونا.
- مرتبطة فقط بسمك الشريحة و ng-np.
- لا تتغيرنوعيتها عند إدارة القاعدة الدوارة.
- تنقسم إلى أربعة ادوار تنتهي كل منها باللون البنفسجي.
- مغطاة باللون الطبيعي للمعدن إن كان ملونا ويصعب عندئذ تحديدها.

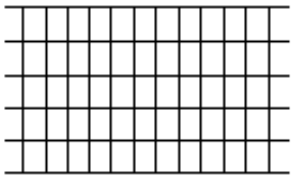
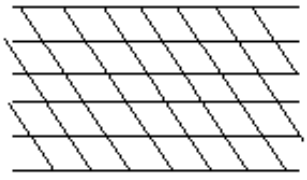
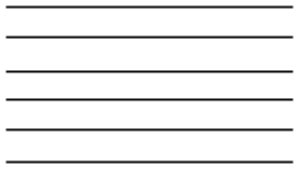
5.1 مستويات الإنفصام في المعادن les plans de clivage dans les minéraux :

تتميز بعض المعادن بوجود مستويات انفصام أو تشققات سواء كانت في اتجاه واحد أو في اتجاهين بينهما زاوية تساوي تقريبا 56° أو 90° أو ثلاث اتجاهات

أمـــثـــلة : معادن البيوتيت، الكلوريت و المسكوفيت لها انفصام واحد.

الأنفيبول له انفصامان بينهما زاوية تساوي 56 درجة تقريبا.

البيروكسان (الأوجيت) له إنفصامان بينهما زاوية تساوي 90 درجة تقريبا.

- **قياس زاوية الإنفصام α**

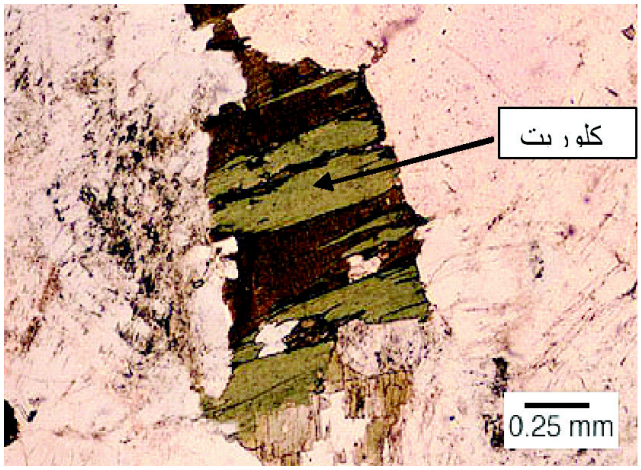
نبحث عن معدن له انفصامان فنجعل أحدهما موازياً للشعرة (شمال جنوب) في العدسة العينية، عندئذ نأخذ القاعدة الدوّارة ونقرأ عليها زاوية القياس α_1 المقابلة لرقم الصفر الثابت، ثمّ ندير القاعدة في الاتجاه المناسب بزاوية أصغر من 90 درجة حتى يصبح الا نفصام الثاني موازياً للشعرة (شمال جنوب) فنقرأ الزاوية الجديدة α_2 والفرق بين α_1 و α_2 يعطينا زاوية الانفصام $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$.

6.1 المحتويات Les inclusions :

تحتوي بعض المعادن بداخلها على معادن أخرى صغيرة الحجم تدعى المحتويات، مثال على ذلك معدن الزركون الذي نجده غالباً بداخل معدن البيوتيت، أو معدن الكوارتز بداخل معدن الصفاح أو بداخل معدن الغرونا وأيضا معدن الصفاح بداخل الكوارتز.

7.1 التغير (الفساد) L'altération :

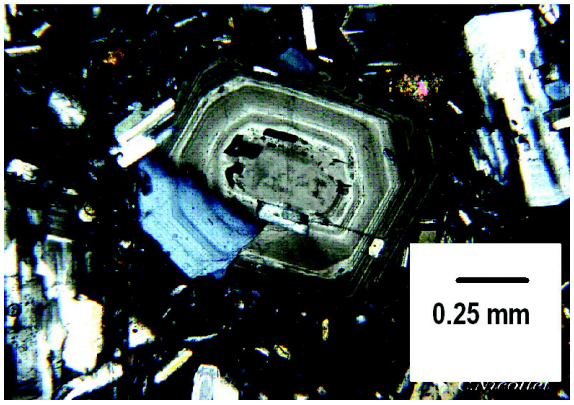
تتغيّر بعض المعادن إلى معادن أخرى نتيجة لعوامل التجوية التي تتعرض لها الصخور، وهذا التغير(الفساد) يمسّ عادة، في بادئ الأمر، حواف المعادن لينتقل بعد ذلك إلى مستويات الانفصام والكسور ثم ينتشر في الأخير كلّياً في المعدن. مثال على ذلك تغير البيوتيت إلى الكلوريت وأكاسيد الحديد، أو الأليفين إلى الإدانكسيت والسربنتين أو الصفاح إلى الكاولينيت (الطّين) والسيريسيت(ميكا بيضاء).



تغير البيوتيت إلى الكلوريت

8.1 النـــطـــاق Le zonage :

نجد في بعض المعادن عدّة أكاليل متتالية (حلقات دائرية) تدعى بالنّطاق، وهذا يرجع إلى التبريد السريع للمعدن كالصفّاح والبيروكسين والأليفين.



2. دراسة المعادن باستعمال المحلل:

في معظم الحالات، يكفي فحص المعادن بدون محلل لتعريف المعادن ولكن من الضروري أن نكمل الدراسة بالمحلل.

بعد إدخال المحلل في النظام، نتحقق من أن كل معدن غير متماثل الخواص له أربعة أماكن أو أوضاع مظلمة تماماً وأربعة أماكن مضيئة عند دوران القاعدة الدوارة ولكن يبقى بلزم كندا دائماً مظلما. في حالة عدم الحصول على التعتيم التام، فإن المحلل والمستقطب غير متعامدين، ومن الضروري أن ندرس بالمحلل بعض الخواص كالتوأمة, زاوية التعتيم وبعض الخواص التي تدرس بالمستقطب فقط كالتغير والنطاق.

1.2 التـــوأمـــة La macle :

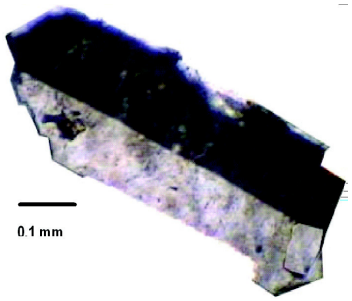
هي وضعية معقدة ناتجة عن التصاق بلورتين من نفس النوع وينجم عن دوران جزء من البلورة بالنسبة للآخرى بزاوية قدرها 180°. عند إدخال المحلل وإدارة القاعدة الدوارة، بعض المعادن كالصفاح مثلاً لها توأمة داخل المعدن نفسه: عنـــدما يضيء جزء من المعدن، يبقى الآخر عاتماً ويحدث العكس عند دوران القاعدة.

نميز ثلاث أنواع من التوائم:

- **التوأمة البسيطة أو توأمة كارلسباد Macle Carlsbad**

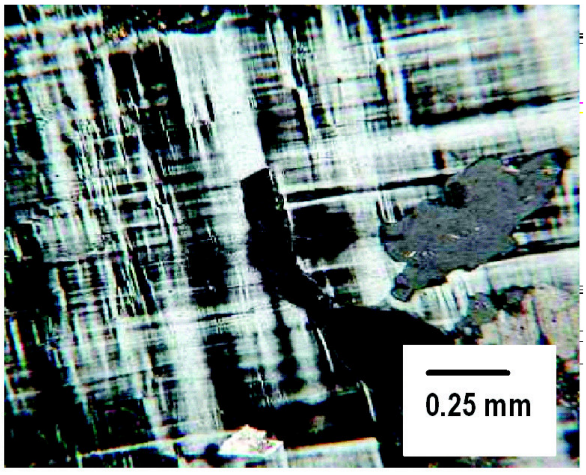
تخص معادن الصفاح من نوع أورتوز (Orthose) والساندين (Sanidine).

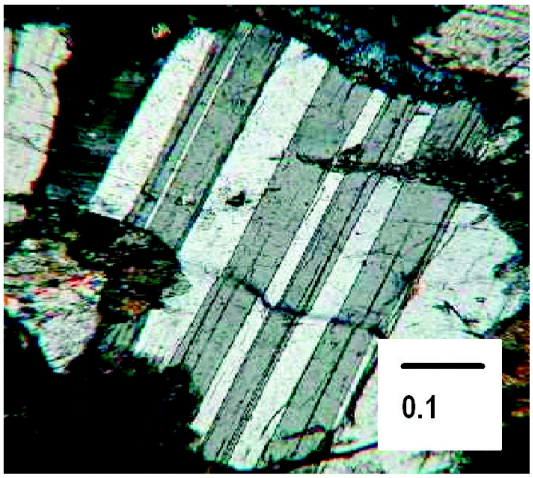
ينقسم الأورتوز إلى قسمين يضيئان وينطفئان على التوالي.عند إدارة القاعدة يحدث دوران إحدى البلورتين



- **التوأمة الشبكية**

تخص معادن الصفاح من نوع ميكروكلين Microcline وتظهر بشكل أشرطة متوازية ومتعامدة وتسمى أيضاً بشكل نسيج اسكتلندي (Tissu écossais).





- **التوأمة المركبة أو المتكررة أو توأمة الألبيت**

تخـــص الصفاح من نوع البلاجيوكليز. في نفس المعدن تظهر عدة أشرطة موازية مضيئة ومظلمة على التوالي

2.2 قياس زاوية التعتيم بالنسبة لطول أو انفصام المعدن :

Mesure de l’angle d’extinction par rapport à l’allongement ou au clivage du minéral

يتميز كل معدن بأربعة أماكن عاتمة تماماً وذلك عند دوران القاعدة بدورة كاملة ويحدث ذلك التعتيم عندما تكون محاور المستقطب والمحلل موازية للمحاور Ng وNp للمعدن. فإذا وجدنا في المعدن معلماً واضحاً مثل الانفصامات أو التطاول، من الممكن أن نقيس الزاوية الحادة بين المعلم وأحد المحورين Ng أو Np.

طريقة القياس

نبحث بدون محلل على معدن له معلم واضح, نضع هذا المعلم موازياً للشعرة شمال– جنوب.
بعد ذلك ندخل المحلل في النظام فهنا نرى حالتين :

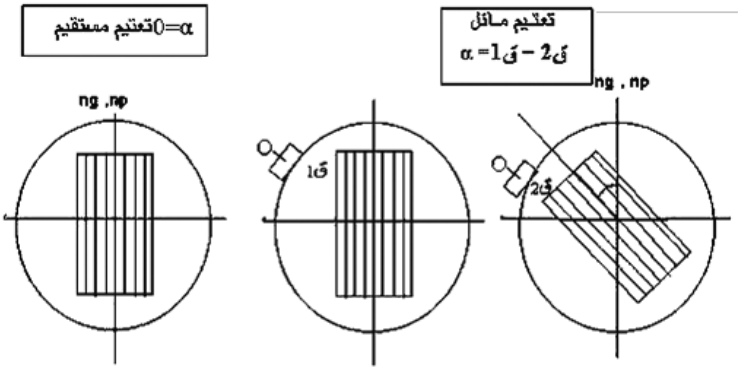
الحالة الأولى : التعتيم المستقيم

يظهر المعدن في وضع تعتيم تام بدون دوران القاعدة. هذا يشترط أن يكون Ng و Np متطابقان مع الاتجاهين شرق – غرب للمستقطب وشمال–جنوب للمحلل. فنستنتج في هذه الحالة تعتيماً مستقيماً وزاوية التعتيم تساوي صفراً.

الحالة الثانية: التعتيم المائل :

لا نرى في هذه الوضعية التعتيم التام عندما يكون معلم المعدن موازيا للشعرة شمال–جنوب ويظهر المعدن مضيئاً جزئياً فنقرأ الزاوية ق$_1$ المقابلة للصفر الثابت على حافة القاعدة ثم ندير القاعدة حتى نحصل على التعتيم التام فنقرأ من جديد الزاوية ق$_2$ المقابلة للصفر الثابت والفرق بين ق$_1$ و ق$_2$ يعطينـــا زاوية التعتيم α = ق$_2$ – ق$_1$.

ملاحظة : لا تؤخذ بعين الاعتبار إلا الزاوية α الأقل من 45 °. عندما نجد α أكبر من 45° نكرر العملية بقياس الزاوية ق$_2$ و ق$_1$ في اتجاه معاكس.



الشكل 35 : كيفية قياس زاوية التعتيم

3.2 : قياس إشارة التطاول

الهدف منها تعيين أحد المحورين Ng أو Np منطبق مع المعلم أو الانفصام.

لا تقاس إشارة التطاول إلا على مقاطع بلورية ذات معلم واضح (انفصام، طول، توأمة بسيطة).

يكون التطاول موجبا عندما ينطبق Ng مع انفصام أو طول المعدن.

يكون التطاول سالبا عندما ينطبق Np مع انفصام أو طول المعدن.

يستلزم لهذا القياس معوضات ذات سمك ثابت.

معوضة الجبس : المرموز لها بِـــ λ ذات لون تداخل بنفسجي أول.

معوضة الميكا : المرموز لها بـــ λ/4 ذات لون تداخل رمادي مصفر.

قياس إشارة التطاول في حالة التعتيم المستقيم: طريقة العمل:

- نضع المعدن في حالة تعتيم تام، يكون معلم المعدن موازيا للشعرة شمال – جنوب وبالتالي Ng أو Np موازي للمعلم.
- ندير القاعدة الدوارة بِـــ 45° إلى اليمين حتى تظهر إضاءة قصوى في الربع 1 و3.
- ندخل المعوضة المناسبة في النظام، فيتغير اللون الإستقطابي الناتج إمَا بالصعود أو النزول في سلَم نيوتن.
- إذا صعد اللون في الربع 1 و3 هذا يعني أنَ **Ng المعدن موازي لِـــ N′g المعوضة.**

- إذا نزل اللَون في الربع 1 و3 هذا يعني أنَ **Np المعدن موازي لِـــ N′g المعوضة.**
- نلاحظ لون التداخل المتحصل عليه فنجد حالتين :

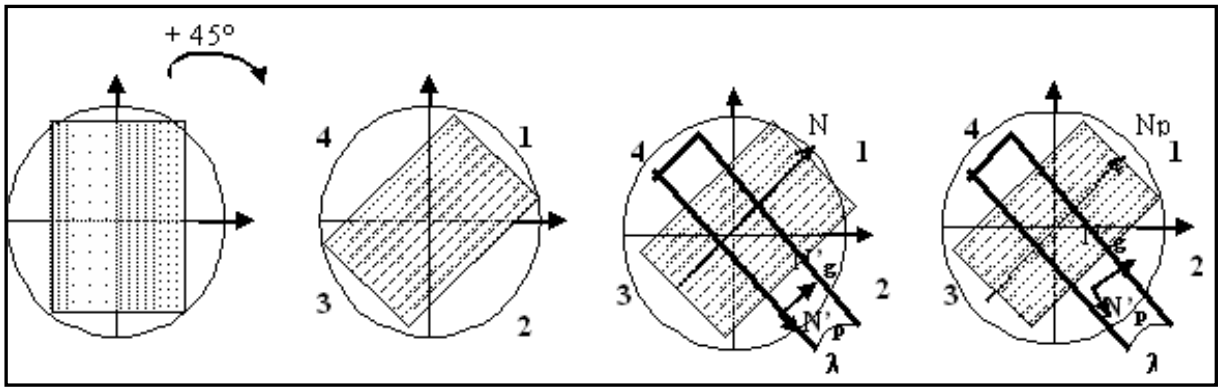
- حالة معدن ذي انكسار مزدوج ضعيف : استعمالλ

في هذه الحالة يتراوح لون التداخل للمعدن من الرمادي حتى أصفر الدور الأول، نستعمل عندئذ المعوضة λ (معوضة الجبس) ثمَ نقارن صعود أو نزول لون التداخل الناتج **بالنسبة للَون البنفسجي للمعوضة λ.**

إذا كان لدينا معدن ذو لون تداخل أصفر الدور الأول، عند إدخال المعوضة λ نتحصل على حالتين بالنسبة للربع 1-3.

- **صعود في اللَون:** يصبح لَون التداخل الجديد أزرق الدور الثاني، أي أنَه صعد مقارنة باللون التداخل البنفسجي في سلَم نيوتن، فنستنتج أنَ **Ng المعدن موازي لِـــ N'g المعوضة** وبالتالي يكون المعدن ذا تطاول موجب.

- **نزول في اللَون** : يصبح لَون التداخل الجديد برتقالي الدور الأول، أي أنَه نزل مقارنة بلون التداخل البنفسجي في سلَم نيوتن، نستنتج أنَ **Np المعدن موازي لِـــ N'g المعوضة** وبالتالي يكون المعدن ذا تطاول سالب.



- حالة معدن ذي انكسار مزدوج متوسط و كبير: استعمال4/λ

في هذه الحالة يتراوح لون التداخل للمعدن من أصفر الدور الأول حتى ألوان التداخل الدور الثالث، نستعمل عندئذ المعوضة λ/4 (معوضة الميكا) ثمَ نقارن صعود أو نزول لون التداخل الناتج بالنسبة **للَون_التداخل الأصلي للمعدن.** مثال : إذا كان لدينا معدن ذو لون تداخل أزرق الدور الثاني، عند إدخال المعوضة λ/4 نتحصل على حالتين بالنسبة للربع 1-3.

- **صعود في اللَون :** يصبح لَون التداخل الجديد أخضر الدور الثاني أي أنَه صعد مقارنة بلون التداخل الأزرق الأصلي للمعدن في سلَم نيوتن. نستنتج أنَ **Ng المعدن موازي لِـــ N'g المعوضة** وبالتالي يكون المعدن ذا تطاول موجب.

- **نزول في اللَون :** يصبح لَون التداخل الجديد برتقالي الدور الأول، أي أنَه نزل مقارنة بلون التداخل الأزرق الأصلي للمعدن في سلَم نيوتن، نستنتج أنَ **Np المعدن موازي لِـــ N'g المعوضة** وبالتالي يكون المعدن ذا تطاول سالب.

- إذا كان لدينا معدن ذو لون تداخل أصفر المجموعة الأولى بإمكاننا إستعمال إمَا المعوضة λ أو المعوضة λ/4
- إذا كان لدينا معدن ذو لون تداخل قوى أكبرمن الدور الثالث مثل معدن الكالسيت نستعمل في هذه الحالة معوضة الكوارتز ذات السمك المتغيَر.

قياس إشارة التطاول في حالة التعتيم المائل

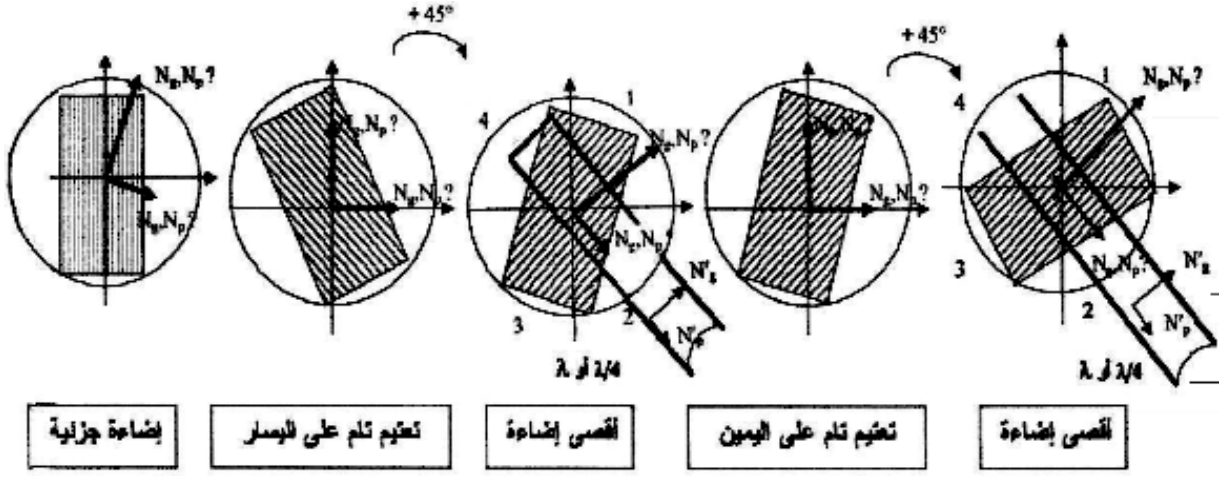
نطبق نفس الطريقة مع جعل في البداية المعدن في وضع تعتيم تام ثم في وضعية إضاءة قصوى ندخل المعوضة المناسبة λ أوλ/4 في النظام ونكرر العملية مثلما قمنا به في التعتيم المستقيم. نضع أولا المعدن في الربع 1 و 3 ثم نختبر النتيجة في الربع 3 و 4.

مثال : في المثال الذي درسناه سابقاً و الذي يخص الانكسار المزدوج الضعيف و التطاول الموجب، حصلنا في اتجاه عقارب الساعة في الربع 1 و 3 على اللون الأصفر وعلى اللون الأزرق بإدخال المعوضة λ يعني صعود في اللون بالنسبة للون λ. عندما ندير المعدن بِـــ 90° في حالـــة أقصى إضاءة في الربع 2 و4 نحصل على نفس اللون الأصفر وبإدخال λ يتغير اللون إلى برتقالي الدور الأول؛ يعني هبوط في اللون بالنسبة لـــλ. في وضعية الربع 2-4 يصبح Ng للمعدن منطبقاً على N'p وليس على N'g للمعوضة كما كان الحال سابقاً في الربع 1 و3. هذا يؤدي إلى هبوط في اللون من البنفسجي إلى البرتقالي.

ملاحظة :

- كل معـــدن له **تطـــاول موجب**، يكون له **الصعود** في اللون في **الربع 1-3** و**الهبوط** في اللـــون في **الربع 2-4**. ويحدث العكس لكل معدن ذي **تطاول سالب**.

تكون اشارة التطول موجبة أو سالبة حسب انطباق Ng أو Np مع انفصام أو طول المعدن والصعود والهبوط في اللون التداخل ما هو إلا وسيلة لتحديد هذه الاشارة



1. دراسة بعض المعادن المميزة للصخور النارية

مثل الكوارتز ، الصفاح ، الميكا (بيوتيت و موسكوفيت)

1.1 الكوارتز SiO_2 Le quartz

النظام البلوري : سداسي

- **الدراســة بدون محــلل**

اللــون : عديم اللون، و هذا يميزه عن الصفاح.

الانفصام : عديم الانفصام، أحيانا نرى كسور داخل المعدن.

التضاريس : منخفضة جدا، يتراوح معامل الانكسار بين np =1.544 و ng = 1.554

قريب جدا من معامل انكسار بلزم كندا والصفاح (استعمال طريقة خط بيك).

الشكل : عادة عديم الشكل، أحيانا كامل الشكل، من الواجب تحديده.

التغير : غير قابل للتغير ولكن نجد أحيانا فجوات السوائل والغازات داخل المعدن.

المحتويات : يحتوي في غالب الأحيان على الصفاح، التورمالين والكلوريت... الخ .

الدراسة باستعمال المحلل

الانكسار المزدوج : ضعيف جدا، $\Delta n = ng - np = 0.009$، يوافق رمادي، أبيض الدور الأول.

زاوية التعتيم : $\alpha = 0$ تعتيم مستقيم، عندما يكون طول المعدن واضحاً.

التطاول : موجب، عندما يكون طول المعدن واضحاً يعني Ng للمعدن منطبق مع طوله.

التعتيم التموجي : التعتيم غير منتظم، أي أنه ليس هناك تعتيم في آن واحد بسبب خضوع المعدن لضغوط تكتونية عند تكوينه أو بعد ذلك.

شكل التداخل : أحادي المحور موجب.

المنشأ : لديه انتشار واسع النطاق في الصخور المهلية، الرسوبية والمتحولة.

2- دراسة بعض المعادن المميزة للصخور الرسوبية(كلسية أو غضارية رملية)

مثل الكالسيت

الكـــالســـيت $CaCO_3$ La Calcite

النظام البلوري : ثلاثـــي

الدراسة بدون محلل

اللون : عديم اللون وأحيانا أسمر طفيف يمتاز بوجود ألوان زاهية على طول الانفصامات.

الانفصام : عائلتان من الإنفصامات واضحتان على شكل معيّن.

التضاريس : متغـــيّرة جدّا حسب الاتجاه، ويكون معامل انكسار المعدن أقل من بلزم كندا في الاتجاه Np

(np = 1.486) وأكبر بكثير منه مع الاتجاه Ng (ng= 1.658)وهذا يعطي ما يسمّى **بالبليوكرويزم التضاريسي.**

الشكل : عادة عديم الشكل من الواجب تحديده وأحياناً يشكل معيناً.

الانكسار المزدوج : عال جدّا 0.142 =np - ng يتراوح من الألوان الشاحبة من الوردي إلى الأخضر الدور الرابع حتى الأبيض الدور العالي.

زاوية التعتيم : التعتيم متناظر بالنّسبة للانفصام.

التوأمة : عادة مكررة أو مركبة.

شكل التداخل : أحادي المحور سالب.

المنشأ : ناتج عن فساد الصفاح القاعدية، له انتشار كبير في الصخور الرسوبية وموجود أيضا في الصخور المتحولة.

3 .مجموعة معادن الصخور المتحولة

Ensemble des minéraux des roches métamorphiques

. دراسة مجموعة السليكات الألومينى بدون ماء :

الأندالوسيت – السليمانيت – الديستان أو الكيانيت

الأندالوسيت Andalousite $[SiO_4|O]\ Al_2$

من الممكن لِـــ Fe^{3+} أن يُعوض Al.

النظام البلوري : معين مستقيم

- **الدراســـة بدون محـــلل**

اللـــون : عديم اللون إلى وردى باهت وأحيانا ذو تبادل لوني طفيف يتراوح بين وردي باهت و عديم اللون.

الانفصام : في اتجاهين متعامدين و لكن غير واضح دائما.

التضاريس : متوسطة إلى عالية $1.62< n < 1.65$.

الشكل : عادة كامل الشكل :مربع إلى معين.

التغير : إلى ميكا دقيق التبلور وغني بالماء من نوع داموريت.

المحتويات : يحتوي أحيانا على معدن الكوارتز ومحتويات أخرى فحمية متوضعة في المركز أو فى الحواف على زوايا المعدن وتعطى في النهاية شكل صليب عاتم مميز

- **الدراسة باستعمال المحلل**

الانكسار المزدوج : ضعيف، 0.009 < ng-np< 0.011.

يوافق لون تداخل أصفر باهت الدور الأول.

زاوية التعتيم : $\alpha = 0$ تعتيم مستقيم.

التطاول : سالب.

شكل التداخل: ثنائي المحور سالب.

المنشأ: توجد على شكل شيستوليت في الصخور قليلة التحول وتوجد في الميكاشيست والغنايس مصاحب

مع السليمانيت، الديستان، الغرونا والتورمالين.

النـــســـيج والبنية Texture et structure

1. النسيج texture :

1.1 تعريف : يعبر عن المنظر على مستوى الصخر ذاته بالعين المجردة أو بالمجهر وهو مرتبط بالحجم والشكل والترتيب والعلاقات بين معادن الصخر. نعرَف فيما يلي ببعض الأنسجة.

الصخور الاندساسية Roches Intrusives :

النسيج الحبيبي أو المحبب (Texture grenue)

كل البلورات متبلورة جيداً وتُرى بالعين المجردة و لها تقريباً نفس القياس الذي يتراوح ما بين بعض الميليمترات و بعض السنتيمترات.

النسيج الأبليتي (Texture aplitique)

نفس تعريف النسيج الحبيبي و لكن هناك معادن صغيرة الحجم تظهر بصعوبة بالعين المجردة.

النسيج البغماتيتي (Texture pegmatitique)

هو نفس النسيج الحبيبي ولكن قياس بلوراته ضخم يفوق بعض السنتيمترات.

النسيج شبه بورفيري (Texture porphyroïde)

هو عبارة عن بلورات كبيرة محاطة بأخرى أصغر منها و لكن تُشاهد بالعين المجردة.

النسيج البرتيتي (Texture perthitique)

في هذا النسيج تتداخل خيوط أو شوائب من الألبيت داخل معدن الأرتوز أو الميكروكلين.

الصخور تحت البركانية Roches hypovolcaniques :

نسيج دقيق التحبب (Texture microgrenue)

كل البلورات متبلورة لكن لا تظهر بالعين المجردة وتظهر فقط بالمجهر.

نسيج دقيق التحبب بورفيري (Texture microgrenue porphyrique)

نفس التعريف السابق و لكن يتميز بوجود معادن كبيرة الحجم تُرى بالعين المجردة.

الصخـــور البركـــانية Les Roches volcaniques :

- نسيج ميكروليتي (Texture microlitique)

هناك بلورات مجهرية من نوع البلاجيوكليز على شكل إبري (ميكروليت) يجمعها ملاط زجاجي.

- نسيج ميكروليتي بورفيري (Texture microlitique porphyrique)

نفس التعريف السابق و لكن نجد أيضاً بلورات كبيرة تُرى بالعين المجردة.

- نسيج زجاجي (Texture vitreuse)

هناك نسبة كبيرة من المعادن مكونة من زجاج والأخرى شبه متبلورة.

- نسيج زجاجي بورفيري (Texture vitreuse porphyrique)

نفس التعريف السابق ونجد أيضاً بلورات كبيرة تُرى بالعين المجردة.

ضوء مستقطب (ض م) Lumière polarisée				ضوء مستقطب و محلل (ض م م) Lumière polarisée analysée						
إسم المعدن والملاحظات	الشكل	اللون والتبادل اللوني (ت ل)	التضاريس	الانفصام	الانكسار المزدوج ألوان التداخل	زاوية التعتيم	التطاول	التغير	شكل التداخل	المنشأ
الكوارتز تعتيم تموجي عند الضغوط	عديم الشكل وأحيانا كامل الشكل	عديم اللون	ضعيفة	منعدم	ضعيف يوافق رمادي إلى أبيض دور الأول	$\alpha = 0$	موجب	غير قابل للتغيير	أحادي المحور موجب	في كل أنواع الصخور خاصة الحامضية منها
الصفاح القلوي (أرتوز- ساندين - ميكروكلين)	كامل الشكل إلى عديم الشكل	عديم اللون، ذات اللون الرمادي في حالة التغير	ضعيفة	انفصامان ولكن لا تظهر دائما	ضعيف رمادي أبيض توأمة: – بسيطة – شبكية	$12>\alpha>3$	سالب	الكاولنيت والسريسيت	ثنائي المحور سالب	في الصخور النارية الحامضية والمتوسطة
البلاجيوكليز توأمة مركبة نطاق في الصخور البركانية	كامل الشكل إلى عديم الشكل	عديم اللون، ذات اللون الرمادي في حالة التغير	ضعيفة في الألبيت ومتوسطة في الأنورتيت	انفصامان ولكن لا تظهر دائما	ضعيف في الألبيت (رمادي) ومتوسط في الأنورتيت (أصفر)	متغير حسب نوع المعدن	متغير	الكاولنيت والسريسيت	ثنائي المحور متغير	في كل أنواع الصخور
اللوسيت توأمة مركبة	شكل متعدد الأضلاع شبه دائري	عديم اللون	ضعيفة أقل من بلزم كندا	منعدم	ضعيف جدا، المقاطع عاتمة في أغلب الأحيان	منعدمة	منعدم	إلى أنالسيم وصفاح وسريسيت	غير ممكن	خاص بالصخور الفقيرة من السيليس
النفيلين	عديم الشكل وأحيانا سداسي الشكل	عادة عديم اللون ولون مضطرب ناتج عن التغير	ضعيفة $1,54>n>1,52$	منعدم	ضعيف يعطي رمادي الدور الأول	$\alpha = 0$	سالب	يشبه تغير الصفاح	أحادي المحور سالب	في الصخور البركانية

ضوء مستقطب (ض م) Lumière polarisée				ضوء مستقطب و محلل (ض م م) Lumière polarisée analysée					
إسم المعدن و الملاحظات	الشكل	اللون والتبادل اللوني (ت ل)	التضاريس	الانفصام	الانكسار المزدوج ألوان التداخل	زاوية التعتيم	التطاول	التغير	شكل التداخل	المنشأ
الهاوين	على شكل متعدد الأضلاع، مربع أو مستطيل	عديم اللون وأحيانا ملون بأزرق باهت	ضعيفة 1,50>n>1,48	منعدم	نظام مكعب ng – np = 0	$\alpha = 0$	غير ممكن	منعدم	بدون شكل	في الصخور البركانية
البيوتيت يحتوي على زيركون، أباتيت ومعادن أخرى	كامل الشكل مستطيل إلى ناقص الشكل	تبادل لوني مباشر Ng: أسمر داكن Np: أسمر فاتح	متوسطة 1,65>n>1,56	تام في اتجاه واحد	قوي لكن ألوان التداخل مغطاة بلون المعدن	$\alpha = 0$	موجب	إلى كلوريت وأكاسيد الحديد	ثنائي المحور سالب	خاصة في الصخور الحامضية والصخور المتحولة
الموسكوفيت	كامل الشكل مستطيل إلى ناقص الشكل	عديم اللون	متوسطة 1,65>n>1,56	تام في اتجاه واحد	عال يوافق ألوان زاهية للدور الثاني والثالث	$\alpha = 0$	موجب	مقاوم	أحادي المحور سالب	خاصة في الصخور النارية وأحيانا في الصخور المتحولة والرسوبية
الكلوريت	كامل إلى ناقص الشكل ومشعة في الأشكال الدائرية	تبادل لوني طفيف Ng: أخضر مصفر Np: أخضر فاتح	متوسطة n = 1,58	تام في اتجاه واحد	ضعيف أبيض دور الأول و لكن نرى لون تداخل غير طبيعي: أزرق نيلي	$\alpha = 0$	متغير	مقاوم	متغير	ناتج عن تغير البيوتيت و الأمفيبول وموجود في الكلوريتوشيست

ضوء مستقطب (ض م) Lumière polarisée				ضوء مستقطب و محلل (ض م م) Lumière polarisée analysée						
إسم المعدن والملاحظات	الشكل	اللون والتبادل اللوني (ت ل)	التضاريس	الانفصام	الانكسار المزدوج ألوان التداخل	زاوية التعتيم	التطاول	التغير	شكل التداخل	المنشأ
الكوارتز تعتيم تموجي عند الضغوط	عديم الشكل وأحيانا كامل الشكل	عديم اللون	ضعيفة	منعدم	ضعيف يوافق رمادي إلى أبيض دور الأول	$\alpha = 0$	موجب	غير قابل للتغيير	أحادي المحور موجب	في كل أنواع الصخور خاصة الحامضية منها
الصفاح القلوي (أرتوز- ساندين - ميكروكلين)	كامل الشكل إلى عديم الشكل	عديم اللون، ذات اللون الرمادي في حالة التغير	ضعيفة	انفصامان ولكن لا تظهر دائما	ضعيف رمادي أبيض توأمة: – بسيطة – شبكية	$12>\alpha>3$	سالب	الكاولنيت والسريسيت	ثنائي المحور سالب	في الصخور النارية الحامضية والمتوسطة
البلاجيوكليز توأمة مركبة نطاق في الصخور البركانية	كامل الشكل إلى عديم الشكل	عديم اللون، ذات اللون الرمادي في حالة التغير	ضعيفة في الألبيت ومتوسطة في الأنورتيت	انفصامان ولكن لا تظهر دائما	ضعيف في الألبيت (رمادي) ومتوسط في الأنورتيت (أصفر)	متغير حسب نوع المعدن	متغير	الكاولنيت والسريسيت	ثنائي المحور متغير	في كل أنواع الصخور
اللوسيت توأمة مركبة	شكل متعدد الأضلاع شبه دائري	عديم اللون	ضعيفة أقل من بلزم كندا	منعدم	ضعيف جدا، المقاطع عاتمة في أغلب الأحيان	منعدمة	منعدم	إلى أنالسيم وصفاح وسريسيت	غير ممكن	خاص بالصخور الفقيرة من السيليس
النفيلين	عديم الشكل وأحيانا سداسي الشكل	عادة عديم اللون ولون مضطرب ناتج عن التغير	ضعيفة $1,54>n>1,52$	منعدم	ضعيف يعطي رمادي الدور الأول	$\alpha = 0$	سالب	يشبه تغير الصفاح	أحادي المحور سالب	في الصخور البركانية

ضوء مستقطب (ض م) Lumière polarisée				ضوء مستقطب و محلل (ض م م) Lumière polarisée analysée					
إسم المعدن و الملاحظات	الشكل	اللون والتبادل اللوني (ت ل)	التضاريس	الانفصام	الانكسار المزدوج ألوان التداخل	زاوية التعتيم	التطاول	التغير	شكل التداخل	المنشأ
الهاوين	على شكل متعدد الأضلاع، مربع أو مستطيل	عديم اللون وأحيانا ملون بأزرق باهت	ضعيفة 1,50>n>1,48	منعدم	نظام مكعب ng – np = 0	$\alpha = 0$	غير ممكن	منعدم	بدون شكل	في الصخور البركانية
البيوتيت يحتوي على زيركون، أباتيت ومعادن أخرى	كامل الشكل مستطيل إلى ناقص الشكل	تبادل لوني مباشر Ng: أسمر داكن Np: أسمر فاتح	متوسطة 1,65>n>1,56	تام في اتجاه واحد	قوي لكن ألوان التداخل مغطاة بلون المعدن	$\alpha = 0$	موجب	إلى كلوريت وأكاسيد الحديد	ثنائي المحور سالب	خاصة في الصخور الحامضية والصخور المتحولة
الموسكوفيت	كامل الشكل مستطيل إلى ناقص الشكل	عديم اللون	متوسطة 1,65>n>1,56	تام في اتجاه واحد	عال يوافق ألوان زاهية للدور الثاني والثالث	$\alpha = 0$	موجب	مقاوم	أحادي المحور سالب	خاصة في الصخور النارية وأحيانا في الصخور المتحولة والرسوبية
الكلوريت	كامل إلى ناقص الشكل ومشعة في الأشكال الدائرية	تبادل لوني طفيف Ng: أخضر مصفر Np: أخضر فاتح	متوسطة n = 1,58	تام في اتجاه واحد	ضعيف أبيض دور الأول و لكن نرى لون تداخل غير طبيعي: أزرق نيلي	$\alpha = 0$	متغير	مقاوم	متغير	ناتج عن تغير البيوتيت و الأمفيبول وموجود في الكلوريتوشيست