محاضرات في علم البلورات والمعادن

(اختياري تخصص)

الفرقة الاولي تربية برنامج اعدادي ثانوي
شعبة علوم بيولوجية

د/ محمود علي جاب الله

Email: m.ali@sci.svu.edu.eg

2023- 2024

المحتوي (المعادن)

- مقدمة
- دراسة الخواص الفيزيائية للمعادن

بصرية – تماسكية – حسية – خواص بصرية ميكروسكوبية

- دراسة الرواسب المعدنية (تكون المعادن)
- تكون المعادن من الصهير مجما او حمم

مرحلة الصهير القويم – المرحلة البجماتيتية - المرحلة الغازية – مرحلة المحاليل المائية الحارة – التحول السائلي او التغير الاستبدالي

- تكون المعادن من المحاليل السطحية - تكون المعادن من مواد صلبة (التحول)
- ظهور الرواسب المعدنية في الطبيعة
- تصنيف المعادن
- الخواص الكيميائية البلورية للمعادن

• مقدمة

يدرس علم المعادن المواد المتجانسة التي تتكون في الطبيعة وتتشكل منها مثل الذهب والنحاس. والهدف الرئيسي من هذا العلم هو التعرف علي المعادن وخصائصها الكيميائية والفيزيائية وتكوينها ومكان حدوثها.

يشير مصطلح المعدن إلى مادة صلبة غير عضوية تكونت بشكل طبيعي ، والتي لها تركيب كيميائي محددة "غير ثابتة" وبنية بلورية فريدة او مميزة (على سبيل المثال ، الكوارتز والهيماتيت والكالسيت).

سؤال هنا هو هل أي مادة يمكن وصفها بأنها معدنية؟

بالتأكيد ، لا يجب استيفاء بعض الشروط في المادة المراد اعتبارها معدنا .

1- صلبة

حيث المواد غير الصلبة (السوائل السائلة أو الغازية تفتقر إلى التركيب الذري المنتظم ، أي أنها غير متبلورة مثل الهيدروكربون و / أو الزجاج.

2- تكونت بشكل طبيعي (غير عضوي)

لم تكن المعادن كائنات حية ، ولكن بعض المعادن التي تحتوي على الكربون هي استثناء من ذلك ، مثل الماس ، الذي ربما كان في السابق من أصل عضوي ، وكذلك الجرافيت. الكالسيت ، وهو مكون من بعض أصداف البحرية ، مثل القواقع والمحار ، هو نتاج العمليات العضوية. ومع ذلك ، إذا تبلورت هذه المعادن وتصلب ، فإنها تقع في إطار تعريف المعادن.

3- ذات تركيب كيميائي محدد

كل معدن يشكل عنصرا كيميائيا واحدا أو أكثر من عنصر واحد على سبيل المثال

Si+o2= sio2 “quartz”

التركيب الكيميائي لمعظم المعادن غير ثابت كمادة نقية.

4 - لها بنية بلورية مميزة

يجب أن يكون لها بنية بلورية محددة جيدا ؛ أو ، بشكل عام ، ترتيب ذري مرتب ومنتظم . تتضمن هذه الخاصية العديد من الخصائص الفيزيائية ، مثل الشكل البلوري والصلابة والانقسام.

الروتيل TiO2

البروكيت TiO2

اناتاس TiO2

التركيب الكيميائي لقشرة الأرض

في صورة عناصر		في صورة اكاسيد	
عنصر	%	الاوكسيد	%
الاكسجين Oxygen (o)	46.71	-	-
السليكون Silicon (si)	27.69	sio2	59.08
الالومنيا Aluminum (Al)	8.07	Al2o3	15.23
الحديد Iron (Fe)	5.05	Feo Fe2o3	6.81
الكالسيوم Calcium (Ca)	3.65	Cao	5.10
الصوديوم Sodium (Na)	2.75	Na2o	3.71
البوتاسيوم Potassium (K)	2.58	K2o	3.11
المغنيسيوم Magnesium (mg)	2.08	Mgo	3.45
Total	98.58		96.48

بناء على هذه المعلومات يمكننا استنتاج هاتين الحقيقتين

1- 8 عناصر تشكل ما يقرب من 99٪ في الوزن من القشرة الأرضية والعناصر الأخرى بما في ذلك الذهب والنحاس والرصاص والزنك تشكل 1٪.

2- الأكسجين هو العنصر الأكثر شيوعا في القشرة الأرضية ، لكنه لا يعني أن الأكسجين حر، ولكنه مرتبط كيميائيا بالصخور.

تشير الدراسات الكيميائية السابقة إلى أن العناصر عبارة عن معادن باستثناء الأكسجين. يمكن اعتبار السيليكون معدنا، ولكن يمكن أيضا أن يكون بين المعادن وغير المعادن. تعمل العناصر ال 7 مع الأكسجين لتشكيل أكاسيد

(إنستايت) MgO + sio2 = mgsio3

(أورثوكلاز) k2o + al2o3 + 6sio2 = 2KALsi3o8

الخصائص الطبيعية او الفيزيائية للمعادن

تتوقف على التركيب الكيميائي والتركيب الذري الداخلي إذا كان متبلورا

1- الخواص البصرية او الضوئية : تعتمد على الضوء مثل اللون – المخدش– البريق – التضوء (تفر –فسفرة) – الشفافية

اللون

ينتج لون المعدن عن قدرته على عكس نوع معين من موجات الضوء وامتصاص الموجات الأخرى التي تشكل الضوء الأبيض العادي.- يظهر لون المعدن باللون الأحمر إذا كان يعكس موجات حمراء- يظهر المعدن باللون الأسود إذا لم يعكس الضوء - يظهر المعدن باللون الأبيض إذا كان يعكس جميع موجات الضوء. بعض المعادن لها لون ثابت وتسمى إيديوكروماتيك مثل الكبريت له لون أصفر ، الملكيت "لون أخضر" ، أزوريت "لون أزرق"

Sulfur

malachite

Quartz mineral

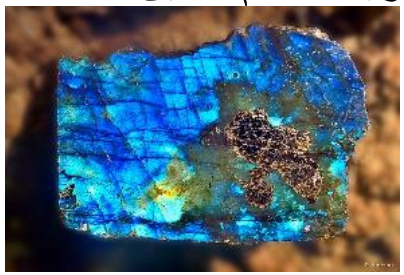
في بعض الأحيان يتغير اللون في أنواع مختلفة من معدن واحد ويسمى اللوكروماتيك allochromaticهذا بسبب أصباغ أو شوائب مثل الكوارتز الذي هو عديم اللون، ولكن في بعض الأحيان هناك بعض الأنواع الملونة مثل الكوارتز الوردي بسبب أكاسيد الحديد الأحمر والكوارتز الأرجواني (الاميسيثت) بسبب أكسيد المنجنيز أيضا الكوارتز الدخاني. في بعض الأحيان تنتشر الالوان بشكل غير منتظم في المعادن أو كبقع مثل الكوارتز الأرجواني. أيضا ، تحدث كطبقات أو حلقة أو أحزمة مثل العقيق والتورمالين. في بعض الأحيان يكون التغير في لون أحد المعادن ناتجا عن تغير في التركيب الكيميائي مثل الاسفالأريت من الاصفر البني الي الأسود.

تلاعب الالوان " عرض الالوان "

تتوقف هذه الظاهرة على قدرة المعدن في خاصية انتشار الضوء"dispersion " وتعزي هذه الخاصية الي انقسام الاشعة الضوئية العادية البيضاء الي مكوناتها الملونة عند دخولها وخروجها من المعدن مثل الماس الذي يتلاعب بالالوان او يقوم بعرضها عند تغيير وضعها بالنسبة للعين .

التغير اللوني

هذه الميزة تشبه خاصية تلاعب الالوان . الا انها تنتج عن تداخل أشعة الضوء المنعكسة من أسطح مستويات متوازية التي تحتوي على صفائح رقيقة من المعادن الأخرى دخيلة مثل اللابرادوريت الذي يعطي الألوان الزرقاء والخضراء والصفراء من جوانب مختلفة أو عند تحريكه امام العين.



اللألأة " خاصية الاوبال "

مظهر لؤلؤي أو لبني لبعض المعادن مثل الأوبال . ومنه اشتق اسم هذه الخاصية. وتنتج عن انعكاسات ضوئية من داخل المعدن ، حيث لا تزال هناك جزيئات في ترتيبات مختلفة ، مما يعطي خصائص بصرية مختلفة. وتظهر لؤلؤية او باهرة اللون مثل حجر القمر.

التلون الطيفي

يتم تلوين بعض المعادن بألوان الطيف الزاهية بسبب تداخل أشعة الضوء في الشقوق الصغيرة التي يحدها الهواء أو الأغشية السائلة وتظهر داخل المعدن مثل بعض أنواع الكوارتز والكالسيت والميكا.

اللون البراق او خاصية عين الهر

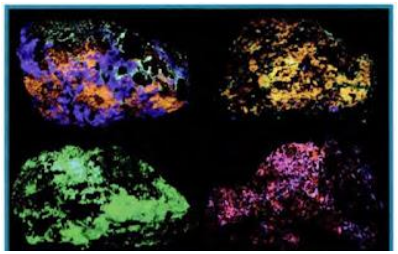
خاصية المعادن التي تظهر بلون براق متموج يخطف البصر يختلف باختلاف الطريقة التي تنظر بها إليها ، مثل الحرير المتموج (شانجان) .ينتج هذا اللون البراق عن الاختلاف في انعكاسات الضوء على سطح المعادن الليفية النسيج ، تشبه بريق عين القط مثل الجبس الليفي (معدن ستانسبار) .

التصدؤ

هو تغير سطحي في لون المعدن بسبب تحلل طبقته الخارجية بسبب عوامل التجوية المختلفة، لذلك يظهر لونه مختلفا عن لونه الأصلي مثل النحاس والبورنيت.

التضوء

إنها خاصية لبعض المعادن التي لها القدرة علي الاشعاع الضوئي عند تعرضها لطاقة أخرى ، مثل مثل الطاقة الاحتكاكية أو الحرارية أو الكهربائية أو الأشعة فوق البنفسجية. وبالتالي تظهر المعادن لامعة وهاجة ذو لون باهر قد يختلف عن لونها الأصلي. مثل معدن الفلوريت عند وضعه على قرص حديدي ساخن ، وأيضا قطعتين من الكوارتز عند احتكاكهما مع بعضهما البعض في الظلام ، ومعدن الكالسيت عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية. هناك نوعان من التضوء



أ- التفلور

يضيء المعدن فقط عندما يتعرض لتأثير خارجي ، ويختفي عندما يختفي التأثير. هذه الميزة تسمى وفقا لمعدن الفلوريت والتي تعكس بوضوح هذه الخاصية أيضا الكالسيت ،شيليت , سكابوليت , الاتونيت .

ب- الفسفرة

يتضوأ المعدن قبل وبعد تعرضه لتأثير خارجي ، ويمكن استخدامه للتحقق من نقاء بعض المعادن مثل الماس والياقوت وبعض المعادن الاخري التي تتالق بوضوح عند تعرضها لاشعة اكس.

المخدش

لون مسحوق المعدن. في بعض الأحيان يختلف لون المسحوق عن لون المعدن على سبيل المثال لون معدن البايرايت أصفر نحاسي بينما مخدشه أسود. يمكن التعرف على المخدش عن طريق خدشه على لوحة خزفية غير مصقولة.

البريق

هو مظهر سطح المعدن في الضوء المنعكس. ويتوقف بريق المعدن في نوعه وشدته علي نوع ومقدار الانعكاسات الضوئية علي سطحه ويعتبر من الخواص الاساسية البصرية وهو انواع

أ- البريق الفلزي

وهو البريق العادي للفلزات مثل الذهب والفضة وكذلك المعادن القاتمة ذات المظهر الفلزي مثل معدن البيريت – الجالينا , وتوجد معادن ذات بريق فلزي ضعيف " تحت فلزي " مثل الكروميت . وغالبا ما تكون المعادن ذات البريق الفلزي قاتمة اللون ثقيلة الوزن.

ب- البريق اللافلزي

يظهر هذه البريق في المعادن الفاتحة اللون الشفافة ويشمل الانواع التالية

- بريق زجاجي : يشبه بريق الزجاج كما في معدن الكوارتز وبعض المعادن لها بريق زجاجي ضعيف " تحت زجاجي " مثل الكالسيت.

- بريق صمغي "راتنجي " : يشبه بريق الصمغ كما في معدن الاوبال

- ومعدن العنبر ومعدن السفالرايت
- بريق لؤلؤي : يشبه بريق اللؤلؤ كما بريق التلك

- بريق حريري : ويظهر علي سطح المعادن الليفية النسيج مثل احد انواع الجبس ستانسبار وعينات الاسبستوس المعروفة باسم اميناتوس
- بريق ماسي : وهو بريق باهر نتيجة كبر معامل الانكسار الضوئي في المعدن مثل بريق معدن الماس وتوصف شدة البريق بالنسبة لمقدار الضوء المنعكس علي سطح المعدن بانه باهر عندما يعكس سطح المعدن الاشعة بوضوح مثل بعض عينات معدن الهيماتيت

الشفافية

تعتمد هذه الخاصية على قدرة المعدن على انفاذ الضوء او ارساله. المعادن التي تسمح للضوء بالمرور من خلالها توصف وتسمح برؤية الاجسام خلالها توصف بأنها شفافة مثل الكوارتز والسيليبنيت وتوصف بأنها ضعيفة الشفافية " تحت شفاف " او شبه شفاف اذا كان يسمح بانفاذ الضوء يدرجة اقل بحيث يسمح يرؤية الاجسام خلاله بغير وضوح تام. وتوجد بعض المعادن القادرة علي انفاذ الضوء خلالها ولكنها لا تسمح برؤية الاجسام خلالها فتسمي نصف شفافة مثل معدن العقيق المكسيكي. ويعرف المعدن بانه معتم اذا لم يكن قادرا علي انفاذ الضوء حتي من شرائحة الرقيقة .

2- الخواص التماسكية

تتوقف هذه الخاصية على نوع التركيب البلوري اي الترتيب الذري الداخلي وقوي الربط بين الايونات والذرات او الجزيئات المكون للمعادن لذلك تختلف هذه الخواص من معدن الي اخر . واهم هذه الخواص

الصلابة

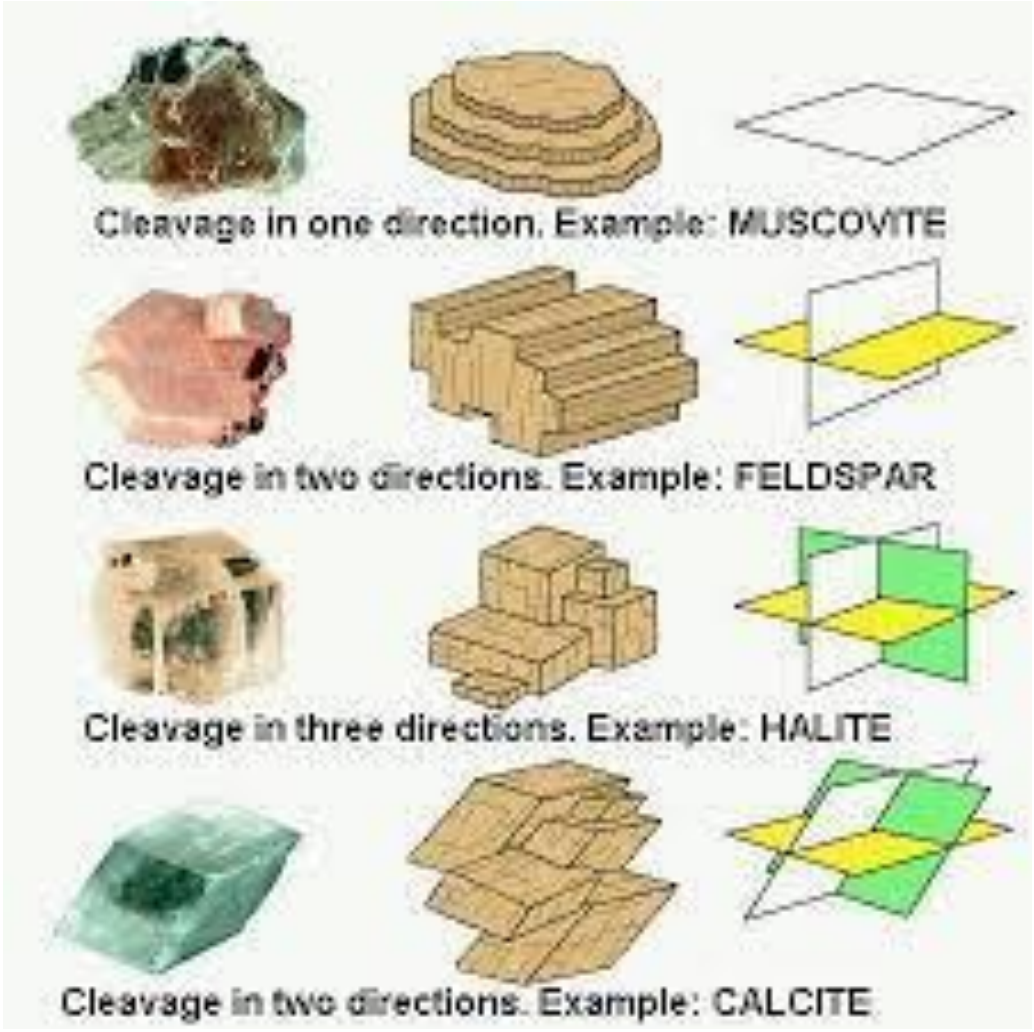
وتعرف الصلابة بانها مقاومة المعدن للخدش او الكشط او التفتت والتآكل وتختلف صلابة المعادن عن بعضها البعض ويتم تعيينها باستخدام مقياس موه للصلابة

- وتستعمل لقياس صلابة المعدن مجموع من الاقلام تسمي اقلام الصلابة وهي عبارة عن مواسك تثبت في نهاية كل منها جزء مخروطي الشكل من احد مجموعة المعادن القياسية للصلابة وتثبت احيانا هذه الاقلام حول حلقة تعرف بعجلة الصلابة و يستخدم بائعو الاحجار الكريمة احيانا مبرد صلب للتفريق بين المقلد والحقيقي.

التشقق او الانفصام

هي خاصية تفتت وانقسام بعض المعادن في اتجاه مستويات منتظمة متوازية اذا ما طرقت طرقا خفيفا وتعرف هذه المستويات بمستويات التشقق واو الانفصام وهي ترتبط ارتباطا وثيقا بالتركيب البلوري فتكون دائما موازية لوجه بلوري معين او عدة اوجه في المعدن القابل للانفصام . وينتج الانفصام عن كيفية رص الذرات ونوع الروابط بينها ففي مستويات الانفصام تكون الذرات كثيفة ومتماسكة فيما بينها بقوة بينما يكون رص الذرات مباعدا في الاتجاه العمودي اي ان قوي الربط تكون ضعيفة وقد يوجد اكثر من اتجاه لمستوي انفصام في المعدن الواحد . وبالنسبة الي درجة اكتماله اي مدي سهولة الانفصام علي سبيل المثال معدن الجالينا وملح الطعام الهاليت تتشق في مستويات موازية لفصيلة المكعب فيسمي تشقق مكعبي ويوجد انفصام معيني في معدن الكالسيت حيث تتوزاي المستويات لفصيلة المعيني القائم .

ويوصف التشقق كذلك بدرجة تمامه وسهولته فيقال ان المعدن كامل التشقق او غير كامل , او واضح التشقق – او جيد او غير واضح – ضعيف



الانفصال

هي ظاهرة انفصال المعدن او تجزؤه عند مستويات ضعف غير متوازية في اتجاهات غير ثابتة وغير مميزة . وتنتج عن تاثير عوامل خارجية بعد تكون المعدن بسبب تعرضها لعوامل ضغط او تكسير او عوامل اخري

الفرق بين الانفصال والانفصام:

الانفصال	التشقق (الإنفصام)
التشققات ليس لها علاقة بالتركيب الذري الداخلي او بالتركيب البلوري للمعدن	ترتبط التشققات بعلاقات وثيقة بالتركيب الذري الداخلي او بالتركيب البلوري للمعدن
تنتج مستويات الانفصال نتيجة عوامل خارجية حدثت للمعدن بعد تبلوره مثل الضغط أو التوأمة او غيرها من العوامل التي تخل بكيان المعدن	مستويات التشقق تتكون طبيعيا اثناء نمو البلوره فهو يرتبط بالنمو البلوري وترابط الذرات.
لا يتواجد الانفصال في جميع عينات المعدن الواحد ولكنها توجد فقط في تلك البلورات التي تعرضت لعوامل الإخلال.	يتواجد في جميع بلورات المعدن الواحد
المسافات بين مستويات الانفصال تكون غير منتظمة	المسافات بين مستويات الانفصال تكون منتظمة في بعدها عن بعضها البعض
لا تنطبق مستويات الانفصال في المعدن مع مستويات تماثل المعدن ولاتخضع لها	تنطبق كل مستويات التشقق في المعدن مع مستويات تماثل المعدن وتخضع لها
تشاهد معظم عمليات الانفصال كخطوط غير مكتملة	تظهر كخطوط مستقيمة و متوازية ممتده علي طول الاوجه البلورية

المكسر

هو شكل او هيئة سطح المعدن عندما ينكسر في اتجاهات غير تلك التي يتشقق او ينفصل فيها فالمعادن التي لا تتشق يتكون لها أسطح انكسار بسهولة وذلك يظهر بوضوح في المواد غير المتبلورة التي لا تتشقق فيظهر لها أسطح انكسارية إذا ما تعرضت للخبط ومن انواع المكسر

مكسر محاري: حيث يتقوس السطح المنكسر ويظهر ع شكل خطوط مقوسة وتتلاشي تدريجيا كلما بعدن عن المركز وأحيانا يظهر المكسر المحاري ضعيفا فيوصف تحت محاري مثل مكسر معدن الكوارتز والفلنت

مكسر مستوي: يظهر السطح المنكسر مستوي تقريبا مثل معدن الشيرت

مكسر غير مستوي: ينكسر المعدن في أسطح غير مستوية خشنة نتيجة وجود بروزات او نتوءات مثل معدن الرودونايت

مكسر مسنن : يظهر ع شكل اسنان حادة مثل النحاس

مكسر ارضي : ياخذ السطح المنكسر مظهرا غير مستوي مثل أسطح المواد الارضية كالطباشير

Fracture is the characteristic mark left when a mineral chips or breaks
Conchoidal
Fracture resembling a semicircular shell, with a smooth, curved surface
Uneven
Fracture that leaves a rough or irregular surface.
Hackly (Jagged)
Fracture that resembles broken metal, with rough, jagged, points.
Splintery
Fracture that forms elongated splinters. All fibrous minerals fall into this category
Crumbly (Earthy)
Fracture of mineral that crumbles when broken
Subconchoidal
Between conchoidal and even

التماسك

هو خاصية المعدن عند محاولة كسرها او قطعها او شدها او خبطها او بمطرقة او ثنيها وتتوقف علي درجات تمساك الجزيئات المكونة لها واهم انواع التماسك هي

قابل للكسر (هش) : صفة المعدن الذي ينكسر او ينقصف او ينسحق بسهولة ولا يمكن قطعه الي شرائح عند ضغطه او طرقه مثل معدن البايريت – الاباتيت – الفلوريت – الكوارتز.

قابل للقطع او التشريح : وهي المعادن التي يمكن قطعها بسهولة بسكين الي شرائح مثل معدن الجبس والجرافيت

قابل للطرق : وهو المعدن الذي يمكن طرقه الي صفائح رقيقة وفردها وتشكيلها مثل الذهب والنحاس

قابل للسحب : المعدن الذي يمكن سحبه وتشكيله علي هيئة اسلاك مثل النحاس والفضة

قابل للالتواء (للانثناء) : حيث يمكن ثني الطبقات رقيقة او صفائح من المعدن دون ان تنكسر وتظل ملتوية حتب بعد ازالة الضغط مثل التلك والسيلينيت

مرن : صفة المعدن القابل للانثناء او الالتواء دون ان ينكسر ولكن يرجع الي حالته فور ازالة المؤثر مثل الميكا

الخواص الحسية

المذاق : وهو عند ازابة المعدن في الماء قد يكون ملحي مثل الهاليت – قلوي مثل البوتاش والصوديوم – مرطب مثل نترات الصوديوم – مر مثل كبيريتات المغنسيوم المائية " ابسوميت"

الرائحة : لبعض المعادن رائحة خاصة مميزة عند خبطها او حكها او تسخينها واهمها روائح طينية مثل الكاولين – قطرانية مثل الاسفلت – رائحة كبريتية – رائحة زنخة –

الملمس : هو التأثير الذي نشعر به عند لمس المعدن فقد يكون ملمس بارد مثل النحاس والفضة – ملمس شحمي او صابوني مثل التلك – ملمس خشن مثل الطباشير – ملمس ناعم مثل السيبيولايت.

الخواص الحرارية : قابلية المعدن للانصهار

الخواص المغناطيسية : يتميز المجنيتيت بخواص مغناطيسية عالية – الهيماتيت والكروميت لهما خاصية الانجذاب الي المغناكيس وتسمي بارامغنطيسية – اما معادن تتنافر مع المعناطيس تسمي دايمغناطيسية مثل الكالسيت

خواص اشعاعية : تنتج من احتواء المعدن ع عناصر مشعة مثل اليورانيوم والثوريوم

الخواص الفيزيائية باستخدام اجهزة خاصة

الخواص البصرية الميكروسكوبية

يقوم الميكروسكوب بعملية تكبير تصل من 20 الي 100 قوة تكبيرتبعا لقوة العدسات العينية والشيئية . يختلف المكروسكوب اليولوجي عن البيولوجي بان له مسرح يتحرك دائريا 360 درجة حول محور الميكروسكوب

كذلك يوجد ميكروسكوبات مستقطبة للضوؤ وعدسات اضافية حتي يتناسب مع دراسة المعادن والصخور يستخدم الميكروسكوب في التعرف ع الخواص التفصيلية التي يصعب معرفتها بالعين المجردة مثل هيئة البلورة – الانفصام او التشقق - التضاريس والحدود البصرية - المكتنفات والتتحلل ونواتجه – التوأمة – الوان التداخل – الانطفاء

دراسة المعان باستخدام الميكروسكوب المستقطب ذو الضوء النافذ

الضوء المستقطب : هو الضوء الذي يتذبذب في اتجاه واحد ويكون اتجاه الذبذبة متعامد علي خط انتشار الموجة

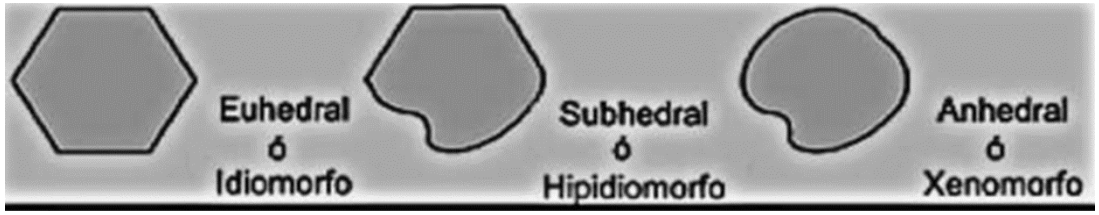
الخواص البصرية في وجود المستقطب فقط

الضوء المستقطب : هو الضوء الذي يتذبذب في اتجاه واحد ويكون اتجاه الذبذبة عمودي علي اتجاه انتشار الموجة

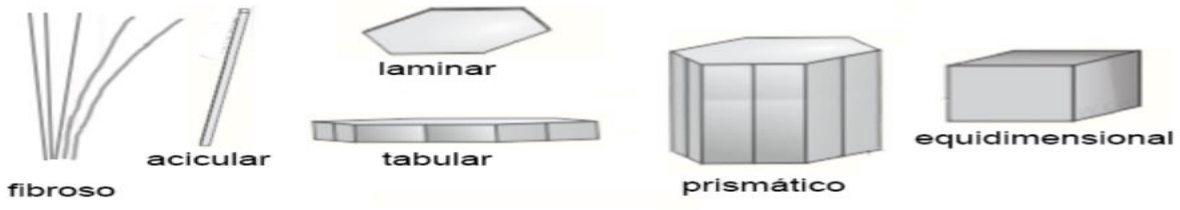
اللون : هو احد الخواص المميزة للمعدن ويختلف لون العينة اليدوية عن لون القطاعات حيث يبلغ سمك القطاع 30 ميكرون 0.03 ملم ويكون اما ملون او عديم لون

التغير اللوني : تغير لون المعدن عند دوران المسرح بسبب عدم تساوي امتصاص الضوء في الاتجاهات المختلفة

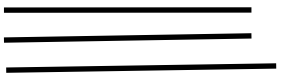
الشكل البلوري والهيئة : توصف البلورة من ناحية الشكل بانها كاملة الاوجه – ناقصة الاوجه – عديمة الاوجه

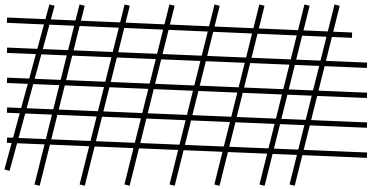


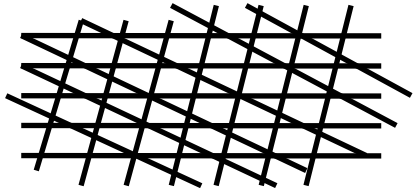
اما من حيث الهيئة فتوصف منشورية – شعاعية – عمدانية – صفائحية – ابرية

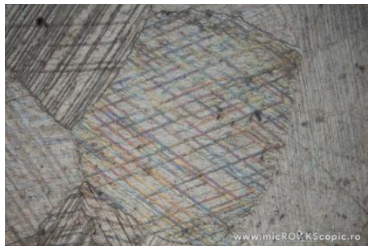


التشقق: وهو عبارة عن مستويات ضعف لها علاقة بالتركيب الذري الداخلي وتظهر علي شكل خطوط متوازية والمسافات بينها متساوية ويوصف المعدن بانه ذا اتجاه واحد – اتجهان – ثلاث اتجاهات



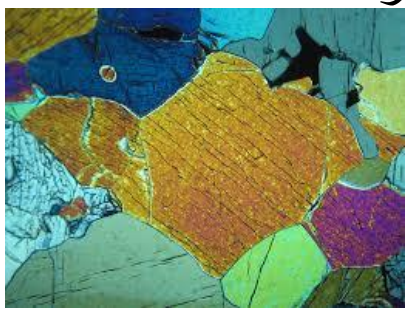




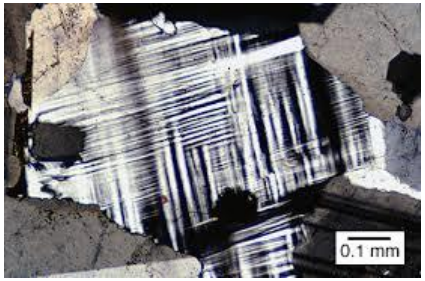


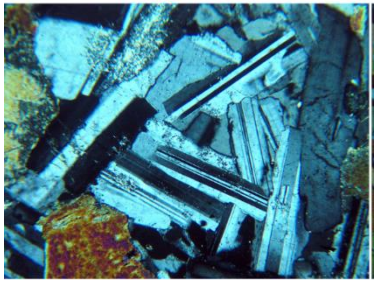
خواص في وجود المستقطبين المتعامدين المستقطب والمحلل

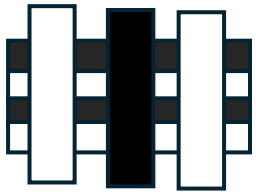
الوان التداخل : وهي الالوان التي تظهر وتوصف بانها رتبة اولي رمادية او صفراء وتوصف بانها رتبة عالية اذا كانت الوان الازرق البنفسجي الاخضر



التوأمة : ظهور مناطق معتمة تتناوب مع مناطق مضيئة للمعدن عند دوران 360 درجة وتوصف بانها توأمة بسيطة كما في معدن الاورثوكليز – متعددة كما في معدن البلاجيوكليز –وشبكية كما في معدن الميكروكلين







• دراسة الرواسب المعدنية

أصل المعادن وتجمعاتها وظهورها في الطبيعة

تبحث هذه الدراسة في طريقة تكوين الرواسب المعدنية من حيث الاصل والنشأة والتواجد في الطبيعة

اولا من حيث النشأة والتكوين

1- من المجما او الحمم (اللافا)

الصهير سائل صخري منصهر معقد التركيب موجود علي اعماق كبيرة من سطح الارض بينما الحمم يظهر ع سطح الارض متدفقا من فوهات البراكين يتكون الصهير بصفة عامة من

أ- مكونات غير طيارة

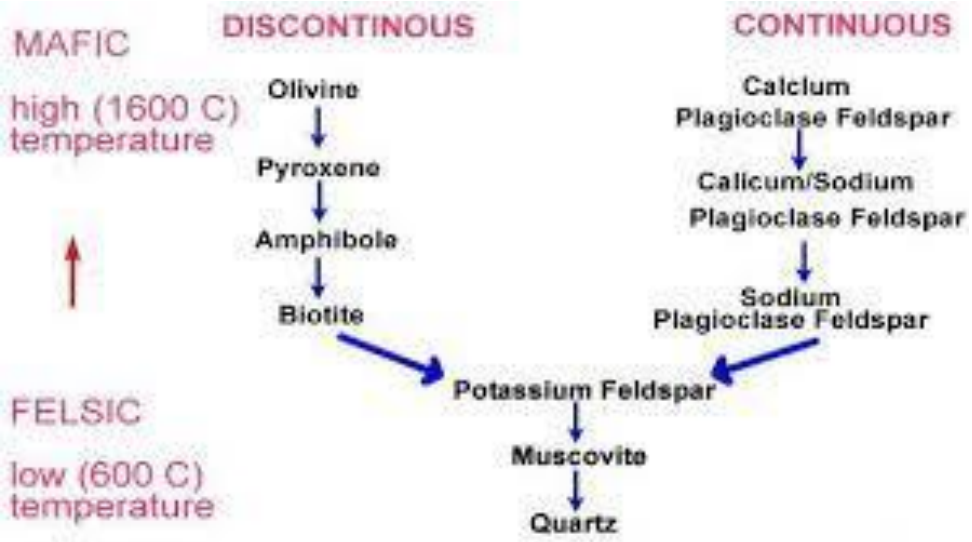
درجة انصهارها تزيد عن 1000تتكون 99%من سبعة اكاسيد أحدها حامضي وهو ثاني اكسيد السليكون (35-75) باقي الاكاسيد قاعدية اكاسيد الومنيوم حتى 25 اكاسيد حديدوز وحديديك حتى 20 واكسيد مغنسيوم وكالسيوم .

- ب- مواد طيارة
- مثل الفلور –الكلور- البورون- كبريت- بخار الماء – ثاني اكسيد كربون توجد بنسبة قليلة ولكنها تزاد في مرحلة تصلد الصهير وتكون حوالي 1% مع المواد غيرالطيارة الاخري
- عندما يتصلد الصهير يتحد الاكاسيد القاعدية مع السيكا تحت ظروف من الضغط ودرجة الحرارة ليكون معادن السليكا ويتوقف نوع المعادن ع تركيب الصهير فيكون الغني بالسليكا والالومنيوم والقلويات معادن الفلسبارات وكوارتز وفلسبارات اما الغني بالقلويات وفقير بالسليكا فيكون معادا الفيلثباثويد متل النيفيلين واللوسيت

تصلد الصهير

1- مرحلة الصهير القويم

تبدأ بتمايز معادن الفلزات والاكاسيد والكبريتيدات الفلزية لذلك يحدث تركيز للمعادن ذات الاهمية الاقتصادية مثل الذهب والبلاتين- اكاسيد حديد مثل المجنيتيت وهذه المعادن تعرف بالمعادن الاضافية بينما تسمي المعادن السليكاتية بالمعادن الاساسية لانها تكون 99% من الصهير. مع انخفاض درجة حرارة الصهير تبدأ المعادن الاساسية في التبلور – حسب سلسلة بوين التفاعلية



- مرحلة بيجماتيتية

يتكون الصهير في هذه الحالة من الجزء السائل يزداد فيه تركيز بعض المعادن الاقتصادية يحدث نمو للبلورات في احجام كبيرة تسمح باستغلالها

يغزو السائل البيجماتيتي الشقوق والفراغات والكسور ويتسرب الي اماكن بعيدة فتقل حرارته وتبدأ مكوناته في التبلور ببطئ فتنمو بلورات ذات حجم كبير مثل فلسبار ميكا ومعادن الزينة مثل التوباز او الزمرد –ابتيت وتورمالين

3- المرحلة الغازية

مرحلة الغازات المتبقية بعد المرحلتين السابقتين وتتكون من غازات وابخرة حارة نشطة ومواد طيارة قوية – وتتسرب باحثة عن منفذ بين الشقوق والفواصل والفوالق في الصخور المحيطة بالصهير فتتعرض للبرودة وتتفاعل مع بعضها ومع الصخور المحيطة او مع المعادن التي سبق تكوينها وتكون معادن اخري مثل

أ- الكاسيتريت

يتفاعل الفلور مع القصدير مكونا فلوريد القصدير snf4وهذه مادة طيارة سهل التسرب ثم تتفاعل مع الماء في درجة حرارة منخفضة وتكون الكاسيتريت sno2 وحمض هيدروفلوريك الذي يتفاعل مع الصخور الجيرية مكونا معدن الفلوريت .

ب- معادن التيتانيوم

يتفاعل الكلور مع تيتانيوم وينتج ticl4الذي يتفاعل بدوره مع الماء وينتج اكسيد تيتانيوم كالروتيل tio2وحمض الهيدروكلوريك

ج- معادن الفسفور كالاباتيت ومعادن التورمالين

4- مرحلة المحاليل المائية الحارة

وهي اخر مرحلة في تصلد الصهير حيث يصبح الجزء المتبقي منه محلولا مائيا حارا ذات نشاط كيميائي – لذلك فهي قادرة على اذابة وحمل معظم المركبات الفلزية ذات القيمة الاقتصادية. وتتسرب الي الشقوق والفواصل وتبدأ في عملية ترسيب ما تحمله من معادن نتيجة انخفاض الضغط ودرجة الحرارة وتنقسم الي

أ- رواسب عالية الحرارة

تترسب من محاليل ذات درجة حرارة عالية من 300 ل 500 درجة – وضغط كبير حيث تترسب ع اعماق بعيدة مثل معادن موليبدينيت- كاسيتريت – ولفراميت- جارنت -- اباتيت - توباز

ب- رواسب متوسط الحرارة

درجة حرارة من 200 ل300 - عمق متوسط فيكون الضغط متوسط واهم المعادن هي معادن كبريتيدات فلزات كالكالكوبيريت – سفالرايت – جالينا

ج - رواسب منخفضة الحرارة

درجة حرارة من 50 ل 200– عمق منخفض فيكون الضغط منخفض امثلة هي معادن الكبريتيدات مثل السينابار – ماركازيت ومن الكربونات الكالسيت ومن الهالوجينات الفلورايت ومن السليكا كوارتز – اوبال

التحول السائلي او التغير الاستبدالي

لا يقف نشاط محاليل الصهير الحارة علي الترسيب للمعادن ولكن قد يحدث تفاعل لها مع الصخور المحيطة او التي تمر بها. فقد يتم استبدال او احلال جزئي او كلي لبعض عناصر المحاليل الحارة محل عناصر اخرها مشابهة لها او متقاربة منها موجودة في صخور المكان فتنتج معادن اخري جدية ويعرف هذا التغيير في التركيب المعدني لصخور المكان الناتج من احلال بعض مكونات المحاليل الحارة محل بعض مكونات الصخور المكان التي تمر بها او متواجدة بها بالتحوال السائلي كمثال تكون رواسب الحديد في امريكا حيث حلت كربونات الحديد feco3محل كربونات الكالسيوم caco3 نتيجة احلال عنصر الحديد محل عنصر الكالسيوم في الصخور الجيرية مما ادي الي تكون معدن سيديرايت feco3 وكذلك الخشب السيليسي في الغابة المتحجرة بالقاهرة نتج من احلال السليكا محل السيليلوز المكون للخشب.

تكون المعادن من المحاليل السطحية

تشمل المحتويات الذائبة في مياه البحار والمحيطات والانهار والمياه الارضية الناتجة من الامطار التي قد تتسرب خلال الشقوق والفواصل والمسام في الصخور المختلفة وتترسب معادن هذه الطريقة وتسمي تجمعهاهتها بخامات المعادن الرسوبية وتتكون بطريقتين

أ- بخر السائل المذيب

تتركز الاملاح الذائبة في البحار نتيجة تبخر المياه بدرجة تسمح بتبلور بعض المعادن في ترتيب يتوقف على درجة ذوبان العناصر المكونة لهذه المحاليل فتترسب اولا املاح الكربونات، ثم كربونات كالسيوم كالكالسيت ،ثم مغنيسيوم مثل ماجنيزيت ثم كبريتات كالسيوم الجبس ثم الكلوريد كالهاليت

ب- بخر الغاز المساعد علي الاذابة

قد يذوب ثاني اكسيد الكربون في مياه الامطار ويكسبها خاصية الحمض الضعيف (الكربونيك) فتذيب بعض الصخور الجيرية التي تتسرب خلالها وتنتج بيكربونات الكالسيوم (cah2(co3)2) وهو مركب قابل للذوبان في الماء وغير مستقر فمبجرد يفقد co2 فيتحول الي كربونات كالسيوم غير قابلة للذوبان فتترسب مكونة معادن كالسيت والارجوانيت ويحدث في الكهوف والمغارات التي توجد في المناطق ذات الصخور الجيرية التي تتميز بغزارة الامطار حيث تترسب كربونات الكالسيوم علي شكل اعمدة مخروطية تتدلي من اسقف الكهوف وتسمي الهوابط ستلاكتيت stalactite وتتساقط كذلك نقط المحاليل الجيرية علي ارضية الكهوف وتفقد ثاني اكسيد الكربون وتترسب كربونات الكالسيوم في اعمدة مخروطية ترتفع علي قاع الكهوف وتسمي الصواعد ستلاجميت stalagmite

تكون المعادن من المواد الصلبة

قد تتكون بعض المعادن من مواد صخرية صلبة تحت تاثير الحرارة الشديدة او الحرارة المصحوبة بضغط منخفض فتتغير المعادن تغير كلي او جزئي وقد تتنج الحرارة من تداخل مواد الصهير او محاليل مرتفعة الحرارة في صخور المكان ويحدث ان تنصهر الصخور في منطقة التلامس فتتحول المعادن الاصلية الي معادن اخري تلائم الظروف الجديدة فمثلا تتحول معادن الحديد الي رواسب غنية بمعادن الهيماتيت والمجنيتيت في منطقة التماس وتسي ب رواسب الخامات التماسية اما اذا كانت الحرارة ناشئة من تداخل محاليل حارة فينشأ بينهما عملية احلال واستبدال وتنشا معادن جديدة وتسمي هذه العملية بالتحول السائلي الحار pyrometasomatesim

ظهور الرواسب المعدنية في الطبيعة

أ- رواسب معدنية معاصرة

هي التي تتكون في نفس الوقت الذي تتكون فيه الصخور الحاوية لها او المحيطة بها وتظهر منتشرة مبعثرة فيها من امثلتها المعادن التي تظهر في مرحلة تمايز الفلزات واكاسيدها في مرحلة الاولي للصهير القويم في نفس الوقت الذي تتبلور فيه معادن السليكات فوق القاعدية (ظهور معدن الكروميت في اصخور الفوق قاعدية وكذلك بعض الرواسب المعدنية الطبقية التي تتكون في وقت معاصر لتكون الصخولر الرسوبية)

ب- رواسب معدنية غير معاصرة

تتكون معادن هذه الرواسب بعد ظهور المعادن الحاوية لها وغالبا ما توجد في الشقوق والشروخ والفواصل لذلك تتشكل بشكل هذه الفراغات وعادة ما تظهر ع هيئة عروق قد تمتد لسافات طويلة وأحيانا تترسب المعادن في المسافات البينة للصخور وتسمي وتعرف هذه التجمعات بالرواسب المتسربة.

تعرف الرواسب التي تظهر في نفس المكان الذي نشأت فيه برواسب اولية اما الرواسب التي تنقلها الرياح فستمي رواسب ثانوية او منقولة او رواسب الرواقد مثل رواسب الذهب التي قد تتواجد مع رواسب المجنيتيت والكروميت

الخواص الكيميائية البلورية للمعادن (العلاقة بين التركيب الكيميائي والبناء الذري)

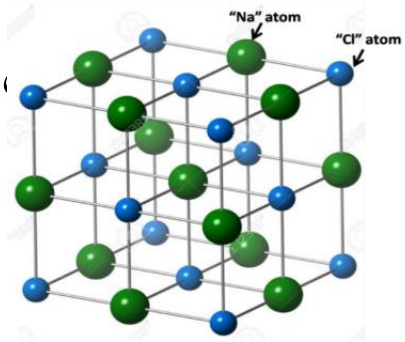
تتداخل بلورات بعض المعادن اثناء نموها لتكون بلورات نطاقية على الرغم من اختلاف التركيب الكيميائي لهذه البلورات المتداخلة في كل من الشكل والبناء الذري , ومعني ان هذه الذرات لو مختلفة من الناحية التركيبية الا انها متشابهة في حجمها وفي مواضعها داخل البلورة وبذلك يمكن ان تحل محل بعضها مما يدل على وجود علاقة بين التركيب الكيميائي والبنائ الذري.

البناء الذري للمعادن

يقصد بالبناء الذري للمعادن ثلاث بنود وهما

1 - الترتيب الهندسي في الفراغ للذرات والجزئيات والايونات التي تكون وحدات البناء في المادة : توجد هذه الوحدات البنائية مرتبة داخل البلورة في نظام هندسي يخضع لعناصر تماثلية معينة ويعكس الترتيب الداخلي نفسه في الخارج في هيئة الاوجه البلورية (7 انظمة اوفصائل بلوريةوهي الاعلي تماثلا (كاملة) ولكن يوجد انظمة اخري اقل تماثلا ليكون مجموعها 32 نظام بلوري)

2 – درجة التقارب بين هذه الوحدات البنائية وطريقة رصها وتعبئتها في المادة : حيث ان المادة المتبلورة تتميز بترتيب ثابت للايونات او الذرات في الابعاد الثلاثة ويمكن تمثيل الترتيب الفراغي للايونات باشكال تخطيبية حيث تمثل الروابط الخد



3 – نوع القوي الكهربائية التي تربط بين هذه الوحدات البنائية وخو

التشابه الشكلي

- هناك بعض المواد التي تختلف في تركيبها الكيميائي، ولكنها تتشابه في التركيب البلوري. وبالتالي فهي تتشابه أيضافي خواصها الطبيعية والكيميائة والبلورية ولها تقريبا نفس الزوايا بين الوجهين ، وتعرف هذه المواد المرتبطة بهذه الظاهرة بالمواد متشابهة الاشكال مثال ع هذه الظاهرة .
- وتتشابه المواد المتشابهة الاشكال في بنائها الذري كما انا بلوراتها تتداخل مع بعضها فاذا حللنا بلورة سترونشانيت فنجد كمية من الكالسيوم والباريوم والتي حلت محل جزء من الاسترانشيوم ويعرف هذه ب تشابه شكلي استبدالي او احلالي

- ولا يحدث الاستبدال او الاحلال بين عنصريين الا إذا تقاربا في الحجم – اما الاحلال الجزئي مثل احلال الحديد محل الزنك في معدن الاسفالرايت , اما الاحلال الكلي فيظهر بوضوح بين طرفي معادن مجموعة الفلسبارات البلاجيوكليزية وهما الالبيت والانورثيت حيث محل الصوديوم والسيليكون احلالا كاملا محل كالسيوم والمونيوم.

التعدد الشكلي

- وجود أكثر من مادة لها نفس التركيب الكيميائي وتختلف في البناء والشكل البلوري مثال علي ذلك الماس والجرافيت لهما نفس التركيب الكيمياء (الكربون) ولكن يختلفان عن بعضهما في الخواص الطبيعية كالصلابة والوزن النوعي والنظام البلوري. مثال اخر كربونات كالسيوم يمكن ان تتبلور تحت ظروف خاصة لتعطي بلورات معينة الاوجه تابغة لفصيلة الثلاثي وتحت ظروف اخري تعطي بلورات معينية قائمة هي معدن الكالسيت والارجوانيت وكلاهما له خواص طبيعية مختلفة عن الاخر , ويطلق على المواد التي توجد في شكليين بلورين مختلفين اسم ثنائية الشكل مثل كربون وكربونات كالسيوم اما وجدت في ثلاث اشكال تعرف ثلاثية الشكل ثاني اكسيدالسيليكون الذي يتواجد في ثلاث اشكال هي الكوارتز (فصيلة الثلاثي)- التريديميت (معيني قائم)- الكريستوباليت (فصيلة رباعي).

الخداع اشكلي

إذا حدث تعديل تعديل للبلورة بحيث يتغير بناءها الذري الداخلي دون ان يحدث اي تغيير على الشكل الخارجي (اي انها تحتفظ بشكلها الخارجي) فتوصف في هذه الحالة بشكل خادع او كاذب . وفي البلورة الخادعة الشكل يتبع التركيب الكيميائي والبناء الذري معدنا معينا بينما يتبع الشكل الخارجي معدنا اخر

مثال علي ذلك معدن البيريت الذي يتغير ويعطي معدن الجوثيت الذي يظل محتفظ بالشكل الخارجي المكعبي للبيريت (شكل كاذب لمعدن الجوثيت ناتج من البيريت)

تتكون الاشكال الكاذبة نتيجة

1- تغير شكلي دون حدوث تغير في التركيب الكيميائي

2- تغير شكل مع حدوث تغير كيميائي نتيجة عملية احلال او استبدال (كوارتز يحل محل كالسيت) او نتيجة التحلل ويكون اما باضافة مادة جديدة مثل الجبس يتكون من انهيدريت بالاضافة للماء او ازالة مادة اخري مثل الهيماتيت نات من مجنيتيت بعد ازالة الحديد او باضافة وازالة بعض المواد (جوثيت يتكون من بيريت بازالة الكبريت واضافة الماء)

تصنيف المعادن

1- مجموعة المعادن العنصرية الحرة Native Element

هي المعادن التي توجد آعناصر حرة غير متحدة مع غيرها فى الطبيعة

معادن عنصرية فلزية مثل الذهب Au والفضة Ag

معادن عنصرية لافلزية مثل الكبريت – الماس – الجرافيت

2- مجموعة معادن الأكاسيد Oxide Minerals

اكاسيد فلزات لامائية مثل مجنيتيت – هيماتيت

اكساييد فلزات مائية مثل ليمونيت - جوثيت

3- مجموعة معادن الكبريتات – كرومات – موليبدات – تنجستات

الكبريتات لامائية مثل انهيدريت – باريت

الكبريتات مائية مثل الجبس

الكرومات مثل كروكوزيت – مولبيدات مثل وولفينيت – تنجستات مثل ولفراميت

4- مجموعة معادن الفوسفات – فانادات- زرنيخيات

هى معادن رسوبية عضوية ومن أشهرها

الفوسفات مثل اباتيت – فاندات مثل فاندانيت – زرنيخيات مثل كارنوتيت

5- مجموعة معادن الكبريتيدية والاملاح الكبريتية

المعادن الكبريتيدية التى تتكون نتيجة لإتحاد الكبريت مع عناصر أخرى ومن أمثلتها

السفاليريت- الجالينا- البيريت

الاملاح الكبريتية هي كبريتدات مزوجة تنتنج من اتحاد فلز مع وشبه فلز مع الكبريت

6- مجموعة معادن الهالوجينات (الهاليدات)

هي المعادن التي تتكون نتيجة لاتحاد الكلور أو الفلور أو البروم أو اليود مع العناصر الأخرى ومن اشهرها:

ملح الطعام Halite (NaCl)

الفلوريت Fluorite (CaF_2)

7- مجموعة معادن الكربونات- النيترات - البورات

هي المعادن التي تتكون نتيجة لاتحاد أيون الكربونات مع العناصر الأخرى ومن أكثرها انتشاراً :معدن الكالسيت – الدولوميت

8- مجموعة معادن السيليكات Silicate Minerals

علم البلورات

المحتوي

- مقدمة
- اجزاء البلورة
- هيئة البلورة
- تماثل البلورة
- الشكل البلوري
- المحاور البلورية
- الفصائل البلورية
- النسبة المحورية
- التجمعات البلورية
- المعاملات والبارامترات

البلورة

- هي جزء من وسط صلب متجانس التركيب الكيميائي محدود باسطح او مستويات ملساء طبيعية بينها علاقات تماثل محددة
- تسمي كاملة الاوجه euhedral- ناقصة الاوجهsubhedral – عديمة الاوجه anhedral
- قد يتناهي حجم البلورة في الصغر بحيث يصعب رؤيتها بالعين المجردة او تبلغ في ابعادها بضع سنتيمترات ويتوقف ذلك على الظروف الطبيعية والكيميائية السائدة اصناء نمو البلورة
- وتسمي عملية تكوين البلورة بالتبلور وتتكون عموما البلورات اما من محلول solution– او منصهر fusion- الحالة البخارية vapor
- معظم المواد الصبة التي تكون في الطبيعة تكون متبلورة وقليل منها ما هو غير متبلور مثل الزجاج والاوبال والجيلاتين الغروي وحتى هذه المواد تتبلور مع مرور الزمن
- بالاضافة الي الاسطح المستوية التي تحد البلورة فان خاصية التجاهي او عدم تساوي الخواص الطبيعية في جميع الاتجاهات anisotropy من الخواص الهامة التي تميز المادة المتبلورة عن الغير متبلورة anisotropicاي ان خواصها الطبيعية لا تتغير مع تغير اتجاه القياس

- اجزاء البلورة elements
- ألاوجه البلورية faces

هي االسطح أو الأوجه التي تحدد الشكل الخارجي للبلورة .وتحدد هذه الوجه البلورية النظام الذري الداخلي

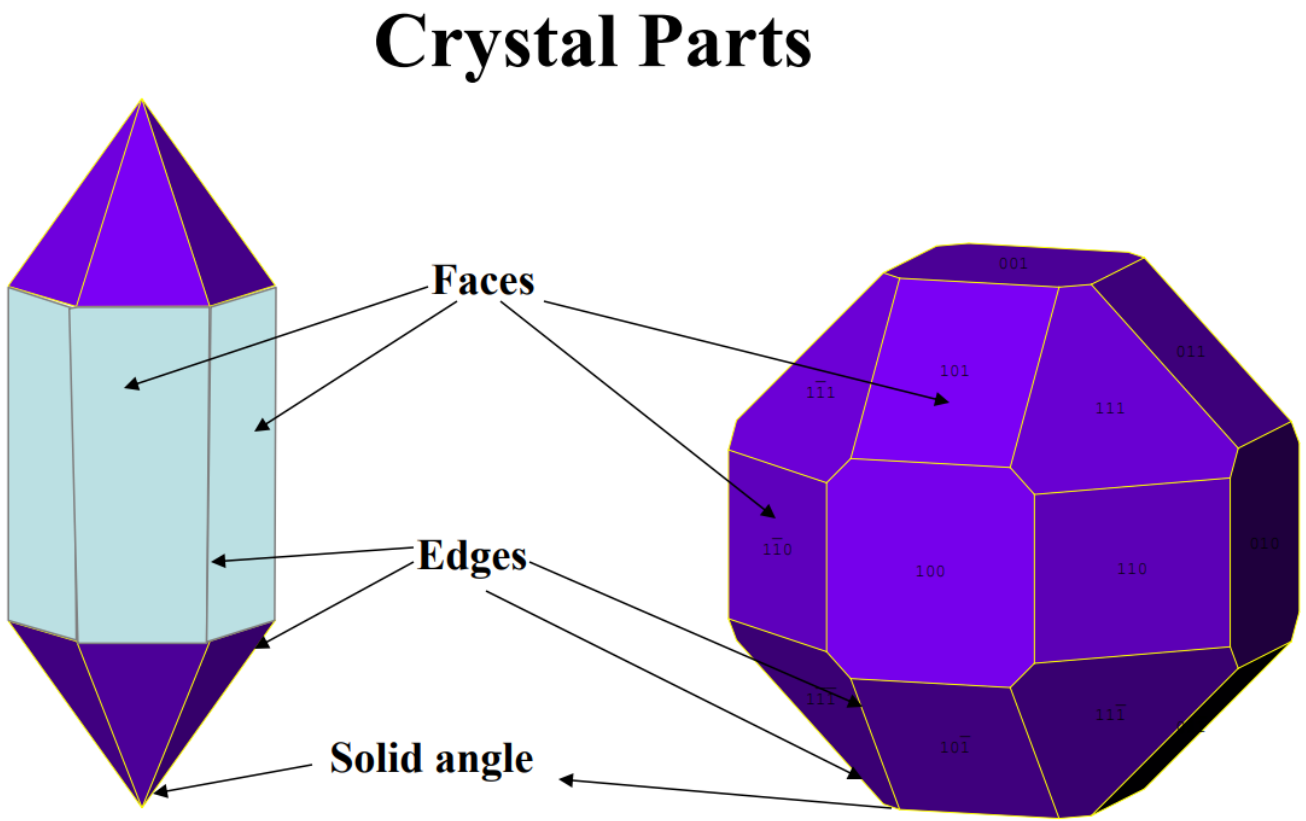
- أحرف البلورة Edges

هي الحدود الخارجية للبلورة وتنتج عن تالقي وجهين بل ورريين متجاورين

- الزوايا بين الوجهية :Angles Facial Inter
- هي الزوايا الناتجة عن تالقي أي وجهي ن بلوريين متجاورين , ويمكن التعرف على كثير من المعادن من خلال معرفة قيمة هذه الزوايا للمعدن. وتختلف بلورة المعدن الواحد في الطبيعة من ناحية مظهرها الخارجي، إلا أن الزوايا بين الوجهية تبقي ثابتة ، فمثال بلورة المكعب توجد في الطبيعة بشكل المكعب أو المنشوري أو االلبري، ولكن في جميع الحاالت تبقي الزوايا بين الوجهية ثابتة القيمة.
- الزوايا المجسمة solid angles

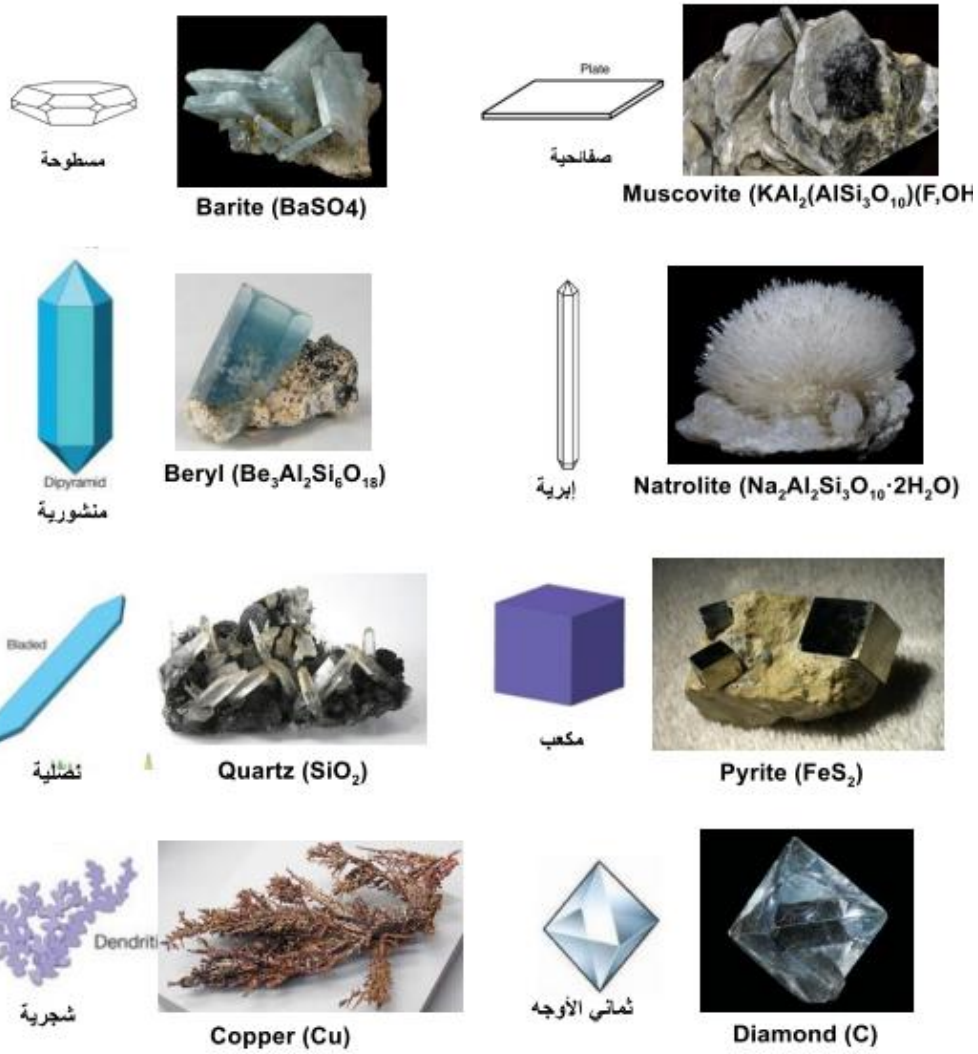
هي الزوايا الناتجة عن تالقي أكثر من وجهين في البلورة

- لقياس الزوايا بين الوجهين يتم باستخدام منقل التماس او المنقل العاكس
- قانون ثبات الزوايا بين الوجهين قام نيكولاس 1669 بقياسات دقيقة للزوايا بين الوجهين لعينات مختلفة من بلورات الكوارتز وغيرها وقد وجد ان الزاوية بين الوجهية لكل وجهين متناظرين في بلورة المعدن الواحد ثابتة مهما كان شكل او حجم البلورة وظروف نموها مما يدل انها نتيجة ترتيب داخلي منتظم. ساعد هذه القانون علي تمييز المعادن المختلفة



- هيئة البلورة crystal habit

- علي الرغم من ان الزوايا بين الوجهية للوجه المتناظرة في بلورات المعدن الواحد نجد ان الهيئة التي تتبلور بها متعددة ويتوقف ذلك علي ظروف نمو البلورة مثل نوع السائل الذي تنمو فيه ودرجة نقاؤه ومعدل التبريد اثناء التبلور مثال علي ذلك الهاليت الذي تنمو في هيئة مكعب في المحلول النقي تتبلور في هيئة ذي الثمانية الاوجه اذا احتوي المحلول علي 10 % من اليوريا .
- يمكن تعريف هيئة البلورة بانها الشكل الناتج عن تجمع عدد معين من الاوجه فيها ومدي نمو هذه الاوجه بالنسبة لبعضها البعض وقد توصف هيئة البلورة بانها
- بلورة مسطوحة Tabular- بلورة صفائحية Platy- بلورة منشورية Prismatic- ابرية acicular- نصلية bladed-

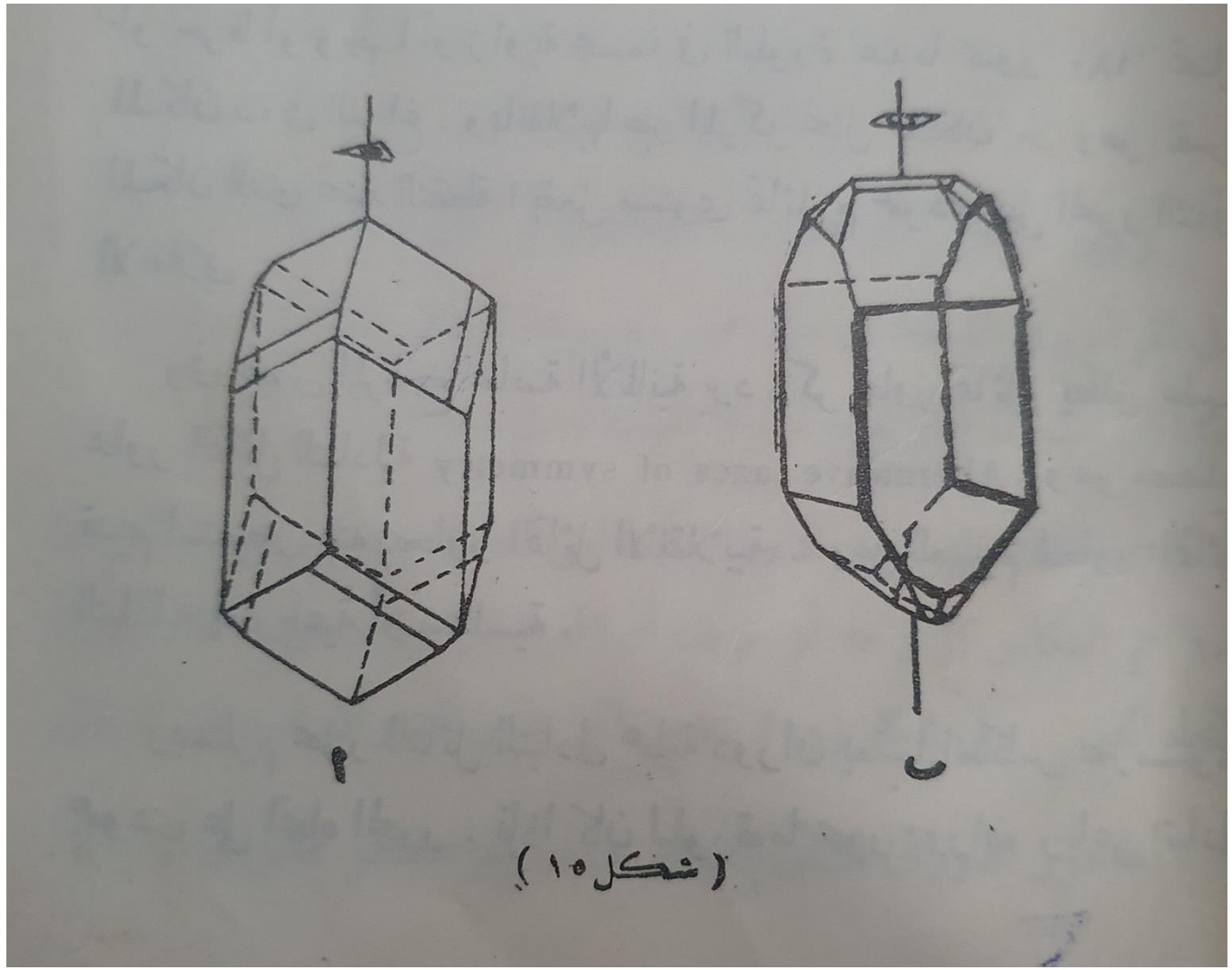


- The term "crystal habit" is used to identify the shape, size and appearance of a crystal's unique growth characteristics, or "Crystal Forms".
- A particular mineral may exhibit several different habits, all of which are influenced by the following factors:
- Crystal Twinning (two individual crystals share some of the same crystal lattice points)
- Growth Conditions (heat, pressure, and space)
- Trace Impurities (present during crystal formation)

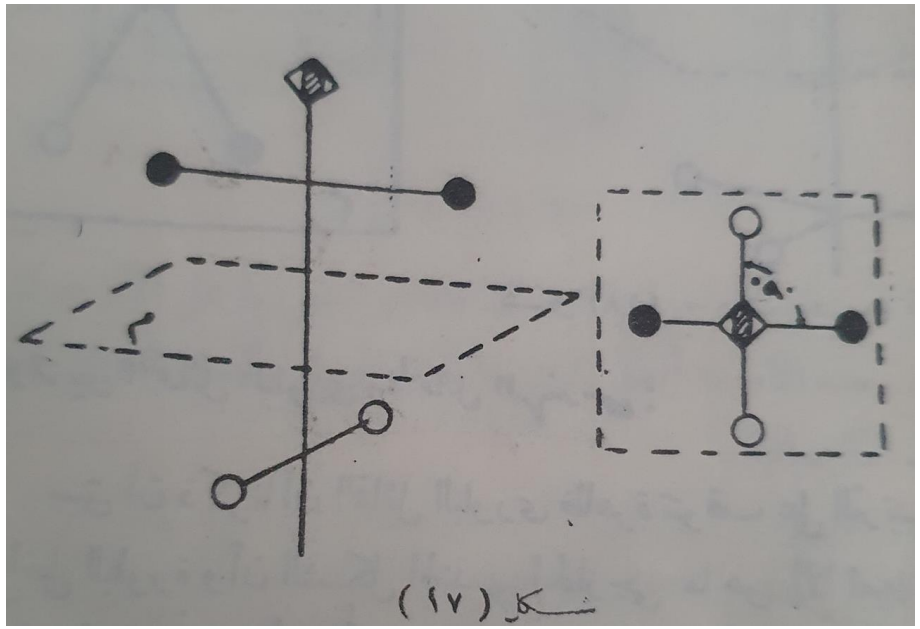
- تماثل البلورة crystal symmetry
- شكل البلورة ما هو الا تعبير صادق عن كيفية الترتيب الداخلي لمادة البلورة وان الذرات او الجزيئات التي تتكون منها لابد ان يكون لها ترتيب منتظم في الفراغ وان هذا الترتيب يكون وحدات تتكرر بذاتها في الفراغ لتكون البلورة
- عند اختبار اوجه البلورة لاحد المعادن او المركبات الكيميائية بالعين المجردة او بواسطة المنقل نجد انها مرتبة وفقا لنظام خاص خول محور مستقيم مار بمركز البلورة وتحدد درجة الترتيب هذه خاصية في البلورة تسمي خاصية التماثل crystal symmetryوتختلف درجة التماثل من بلورة معدن لاخر وعلي اساس هذه التماثل يمكن تقسيم البلورات ال فصايل او نظم وللتماثل عموما ثلاث عناصر crystal elements هي
- 1- مستوي التماثل Plane of symmetry
- 2- محور التماثل Axis of symmetry
- 3-مركز التماثل Centre of symmetry

- مستوي التماثل plane of symmetry
- يقسم البلورة الي نصفين متساووين ومتشابهين بشرط ان يكون احد النصفين صورة المرآة للنصف الاخر . يلاحظ ان كل نقطة او حرف او وجه او زاوية مجسمة عي احد جانبي مستوي التماثل يناظرها نقطة او حرف او وجه او زاوية ع الجانب الاخر من المستوي مثال علي ذلك بلورة الهاليت بها تسع مستويات تماثل.
- محور التماثل axis of symmetry
- هو مستقيم وهمي مار بمركز البلورة اذا اديرت حوله دورة كاملة اي 360 درجة بدون ازاحة فانها تحتل نفس الوضع في الفراغ او تكرر نفسها من حيث الشكل عددا من المرات بحيث لا يمكن التفريق بينها وبين وضعها الاصلي واي من الاوضاع الجديدة
- غالبا ما يكون عموديا علي احد اوجه البلورة ويوازي حرفا فيها وتحدد درجة التماثل بعدد المرات التي تتكرر فيها البلورة وضعها في الدورة كاملة فاذا تكرر وضع البلورة مرتين في الدورة الكاملة اي 180 فان محور الدوران هذه ثنائي ويرمز له بالعلامة ⬭ ويكتب باختصار 2 واذا تكرر ثلاث مرات في الدورة الكاملة اي كل 120 فانه محور تماثل ثلاثي ويرمز له بالرمز ▲ وهناك محور دوران رباعي ▬ ومحور تماثل سداسي ⬢

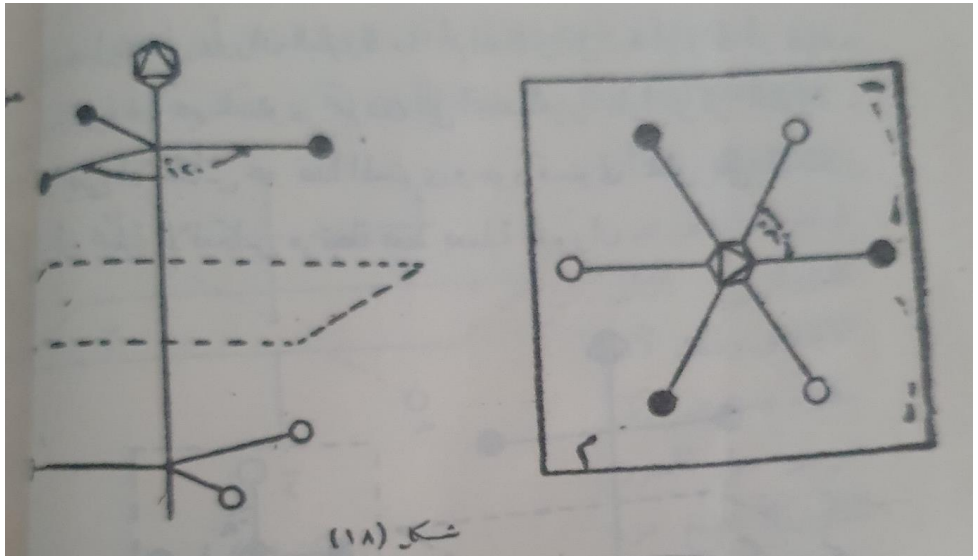
- مركز التماثل
- هو نقطة وهمية متوسطة في البلورة تتميز بان اي وجهين او حرفين او زاويتين مجسمتين يتناظران عبرهما بمعني ان الوجه الموجود علي جانب منها ويبعد عنها مسافة معينة يقابلها علي الجانب الاخر وعلي نفس المسافة وجه مماثل
- معظم البلورات لها مركز تماثل بجانب احتوائها علي مستويات ومحاور تماثل وقد يكوت مركز التماثل هو العنصر الوحيد الموجود في البلورة وقليل جدا من المغادن تخلو بلوراتها من عناصر التماثل
- ملاحظات
- بالاضافة الي عناصر التماثل الاساسية المذكورة سابقا هناك ايضا نوع اخر من محاور التماثل يسمي محاور تماثل دورانية انقلابية rotation inversion symmetry axes وفيها تصطحب عملية الدوران المذكورة سابقا عملية انقلاب مركز التماثل في البلورة
- فاذا كانت البلورة لها محور دوران ثنائي انقلابي فانه يلزم دوران البلورة بزاوية 180 اولا ثم انقلاب كل حرف او سطح او زاوية مجسمة فيها عبر مركز التماثل التي تحتل البلورة نفس وضعها في الفراغ.
- اما اذا سبق عملية الانقلاب عبر المركز دوران البلورة 120-90-60 درجة لتعود البلورة الي مكانها الاصلي كان محور الدوران انقلابي ثلاثي three fold inversionويرمز له بالرمز ▲ ويكتب $\bar{3}$ وهكذا



(شكل ١٥)



شكل (١٧)



شكل (١٨)

- في بعض المراجع خاصة الالمانية يردد ذكر محاور تماثل تبادلية alternative axes of symmetry
- وهو مصطلع قديم استخدم بدلا من محاور التماثل الانقلابية وتكون محاور التماثل التبادلية رباعية او سداسية . ويستلزم محور التماثل التبادلي عملية دوران يعقبها انعكاس عبر مستوي عمودي علي اتجاه المحور . فاذا لبلورة ما محور دوران رباعي تبادلي فان هذه يتضمن دوران البلورة 90 ثم انعكاس كل ذرة او وجه او حرف او زاوية فيها عبر مستوي عمودي علي اتجاه المحور مارا بمركز البلورة ولا يعني الانعكاس عبر هذا المستوي وجود مستوي تماثل علي الاطلاق اذ ان عملية الانعكاس مرتبطة فقط بعملية الدوران
- كذلك فان محور الدوران السداسي التبادلي يتضمن دوران البلورة 60 ثم انعكاس كل وجه او حرف او زاوية عبر مستوي عمودي علي اتجاه المحور
- اما محور لدوران الثنائي التبادلي فيعادل مركز تماثل في البلورة

- الشكل البلوري Crytal form

كل مجموعة من الاوجه المتشابهة في الشكل والمساحة والخواص الطبيعية والكيميائية والناتجة عن مجموعة من عناصر التماثل بالشكل البلوري .

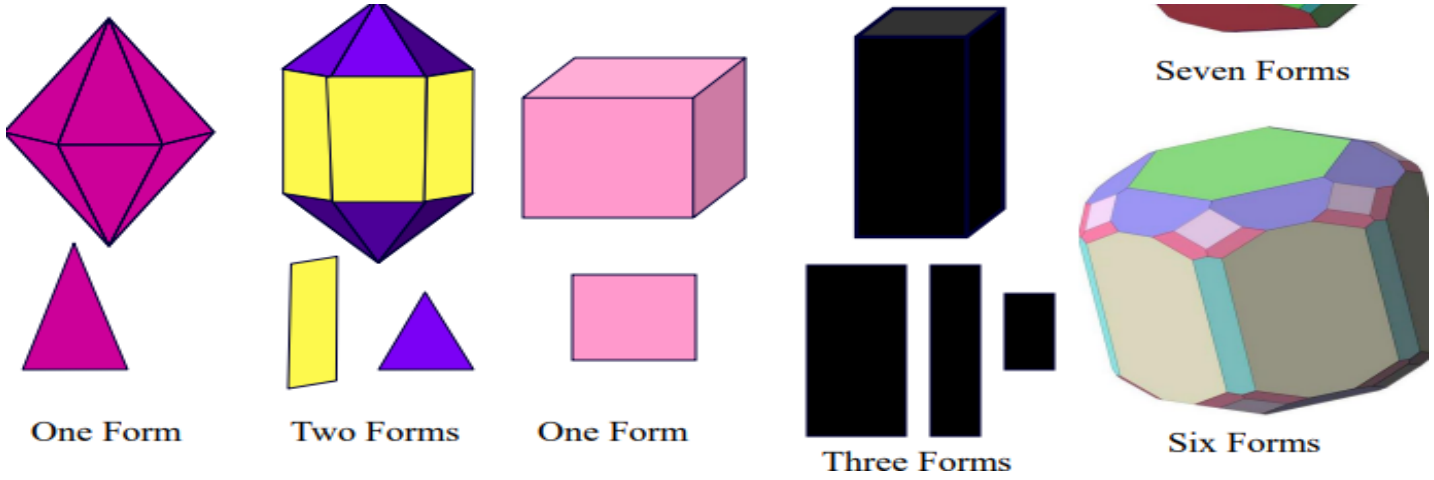
بعض خصائص الشكل:

1- يستخدم للدلالة على المظهر الخارجي العام للبلور.

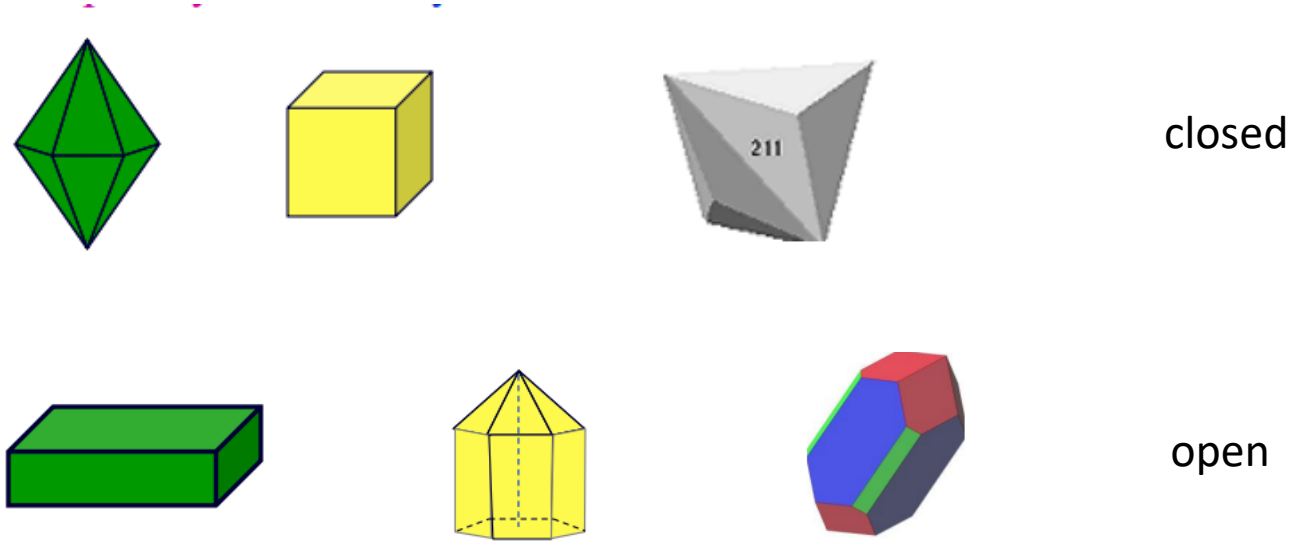
2- توجد علاقة كبيرة بين الشكل وعناصر التماثل.

3- بناء بعض البلورات على شكل آخر بأكثر من شكل.

4- الحد الأدنى للوجه هو واحد والحد الأقصى 48 وجه.



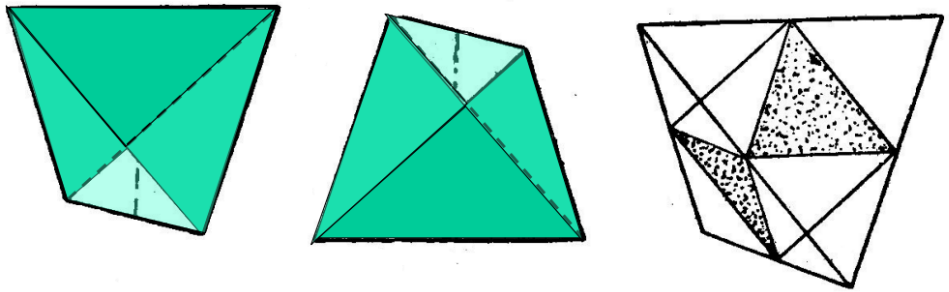
- قد تتكون البلورة من شكل بلوري واحد وتسمي بلورة بسيطة simpleاو تتكون من عدة اشكال بلورية مجتمعة وتسمي مركبة compoundاو تجمع combination
- الشكل الذي يحدد حيزا من الفراغ يسمي شكل مقفلا closed اي يكون الشكل البلوري مقفلا اذا كان وحده مكونا لجميع اوجه البلورة اما الشكل الذي لا يحدد حيزا من الفراغ فيسمي مفتوح openوهو لا يمكن ان يوجد بمفرده بل لا بد ان يشترك مع شكل بلوري اخر او اكثر في تكوين البلورة.
- ويسمي الشكل البلوري المكون من وجه واحد pedion والشكل المكون من ثمانية واربعين وجها يسمي hexoctahedron



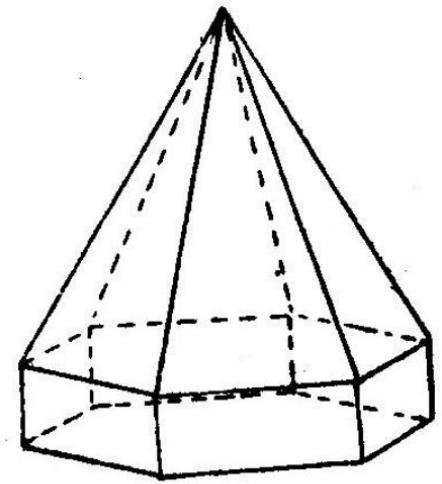
- الشكل كامل الاوجه والشكل النصف وجهي Holohedral and hemihedral forms
- يقال ان الشكل البلوري كامل الاوجه او البلورة كاملة الاوجه عندما يكون لها اكبر درجات تماثل الفصيلة التي تنتمي اليها. ففي فصيلة المكعب اذا وجدت البلورة علي هيئة مكعب توصف بانها كاملة الاوجه holohedral وكذلك وجدت علي هيئة ذات الثمانية اوجه octahedron. ويوصف الشكل البلوري الذي يحتوي نصف او ربع الاوجه العادية له بلانه شكل نصف وجهي hemihedralاو ربع وجهي tetrahedral
- نصف الشكلية Hemimorphism

يوجد بعض البلورات ليس لها بها مركز تماثل وانما تتميز بمحاور تماثل قطعي polar يضم بنهايتيه اوجه غير مشابهة. ويكون اتجاه المحور القطبي هذه هو نفس اتجاه احد المحاور البلورية وتوصف بانها نصف شكلية

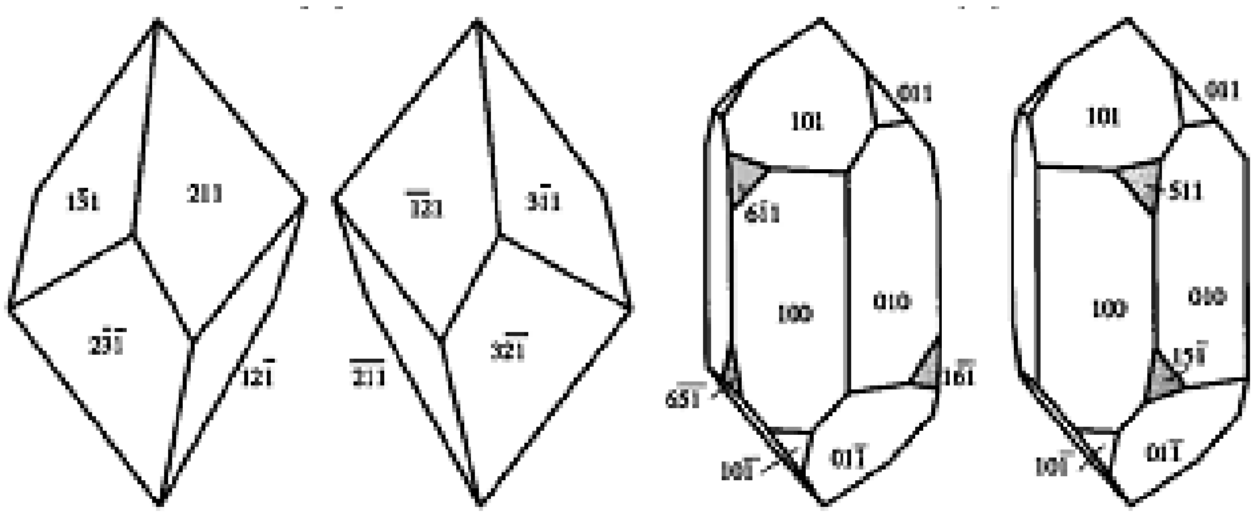
- الاشكال البلورية المتعاكسة Enantiomorphism
- بعض الاشكال البلورية التي ليس بها مركز تماثل او مستوي تماثل يمكن ان تتبلور في هيئتين احدهما صورة المراة للاخري وتوصف بانها متعاكسة او ان احدها يمينية right handedوالاخري يسارية left handed

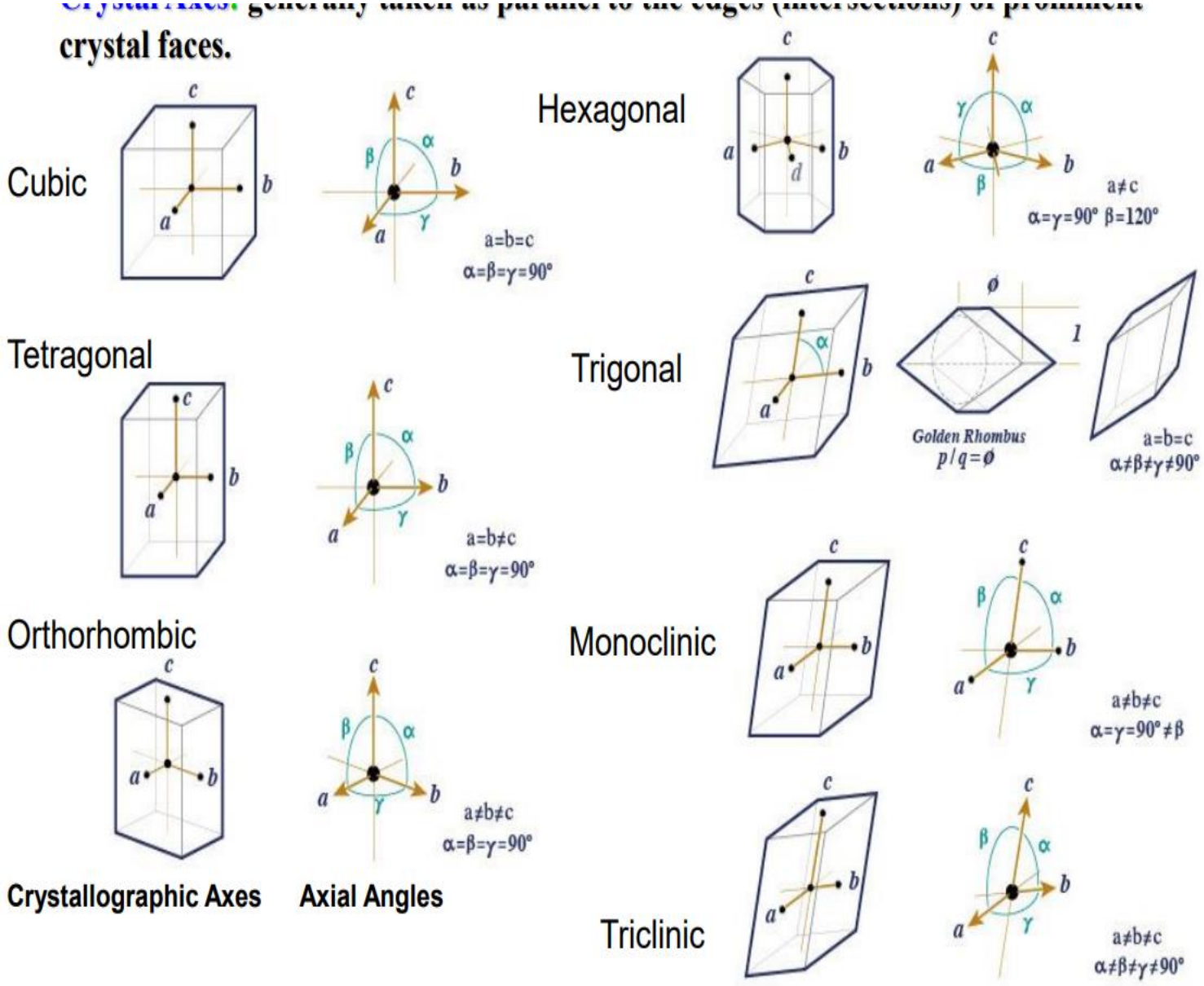


Holohedral and Hemihedral Forms



Hemimorphism





- المحاور البلورية crystallographic axes

- الاوجه البلورية كي يحدد وضعها في الفراغ تسند عادة الي مجموعة من المحاور 3 او 4 تتقاطع عند مركز البلورة وبتقاطع هذه المحاور يتكون ما يعرف بالصليب المحوري axial cross
- المحور أ a-axis ممتد في اتجاه س اي من الامام للاخلف
- المحور ب b-axisممتد في اتجاه ص اي من اليمين لليسار
- المحور ج c-axis ممتد في اتجاه الراسي من اعلي لاسفل

- الفصائل البلورية crystal systems
- استنادا إلى اختلاف أطوال المحاور البلورية، والزوايا التي تكونها في الو حدة البنائية، فقد وجد ان هناك سبعة انظمه بلوريه كل نظام يأخذ شكال هندسيا معينا،

النظام البلوري	حافات الخلية	زوايا الخلية
المكعبي cubic	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$
رباعي tetragonal	a = b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$
المعين القائم orthorhombic	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$
أحادي الميل monoclinic	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \gamma = 90^{\circ}$ $\beta \neq 90^{\circ}$
ثلاثي الميل triclinic	a ≠ b ≠ c	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{\circ}$
سداسي hexagonal	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \beta = 90^{\circ}$ $\gamma = 120^{\circ}$
ثلاثي trigonal	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^{\circ}$

- النسبة المحورية axial ratio
- تسمي النسبة بين اطوال المحاور البلورية (أ:ب:ج) لاي مادة متبلورة وهذه النسبة ثابتة ومميزة لبلورات المركب الواحد او المعدن الواحد. ويتخذ طول المحور ب لحساب هذه النسبة . فالبنسبة لفصيلة المكعب تكون 1:1:1وتتميز بلورة المعدن الذي ينتمي لهذه الفصيلة بطول احد هذه المحاور فقط .
- النسبة المحورية لبلورة الكبريت المعيني القائم = 1.9034:1:0.8131
- بالنسبة لفصيلة الرباعي والسداسي حيث أ=ب تكون النسبة المحورية في هذه الحالة هي أ:ج فالنسبة المحورية لمعدن الزيركون = 0.6404:1ولمعدن الكوارتز السداسي = 1.099:1
- في بلورات الميل الواحد يلزم ذكر قيمة الزاوية Bبجانب النسبة المحورية للبلورة كمثال بلورة الجبس احادية الميل لها نسبة محورية = 0.4133:1:0.6896 , ´58 °98=B .
- في حالة الميول الثلاثة تذكر قيم الزوايا α,γ,β مع النسبة المحورية كقيم مميزة لبلورة المعدن فمثلا النسبة المحورية لبلورة كبريتات النحاس هي 0.5575:1:5715والزوايا المحورية α=´82 °16
- ´40 °102 =γ , ´26 °107=B

- التجمعات البلورية crystal aggregates
- تنمو بلورات المعادن او المواد الكيميائية اما علي هيئة بلورات مفردة singleاو علي هيئة مجاميع . وقد تكون المجموعة متجانسة homogeneous اذا كانت بلوراتها ذات تركيب كيميائي واحد اي من مادة او معدن واحد . او تكون غير متجانسة heterogeneous اذا كانت مكونة من بلورات مختلفة التركيب الكيميائي اي من معادن مختلفة
- وتنقسم كيفية نمو بلورات المعادن المكونة لهذه التجمعات تبعا لترتيب هذه البلورات الي الاقسام الاتية
- 1- مجموعات غير منتظمة النمو irregular aggregates
- في هذه المجموعات لا توجد اي علاقة بين اتجاهات البلوررات المكونة للمجموعة . اي ان تجمع البلورات يكون في غير انتظام وقد يحدث هذه النمو في المجموعات المتجانسة او غير المتجانسة
- 2- مجموعات متشاكلة النمو isomorphous growth
- يحدث في مجموعات البلورات المختلفة ويكون النمو علي شكل مناطق متحدة المركز zonal growthاذ تمثل كل منطقة معدن واحدا وتكون بلورات المعادن المكونة لهذه المجموعات عادة متشاكلة isomorphousومتشابهة من حيث الترتيب الداخلي isostructuralلذلك يكون لها اشكال بلورية متقاربة ويحدث هذا النمو التشكلي نتيجة لقدرة بعض العناصر ان تحل محل عنصاصر اخري وقد يكون هذه الاستبدال كليا كما في مجموعة معادن البلاجيوكليز

- 3- مجموعات منتظمة النمو regular aggregates
- تكون بعض المحاور او الاوجه البلورية متوازية كما في بعض حالات نمو بلورات معدن الروتيل والميكا معا بحيث يوازي المحور الرباعي للاولي المحاور الافقية للثانية. واذا كانت البلورات مكونة لمعدن واحد فانها تنمو بحيث يكون لهذه البلورات اتجاه واحد اي ان محاورها البلورية والاوجه والاحرف والزوايا المجسمة المتناظرة فيها تكون متوازية ويسمي بالنمو المتوازي pararllel وقد يحدث احيانان تتحد بلورتان عند مستوي بلوري مشترك
- 4- المجموعات الليفية fibrous aggregates
- تشترك جميع بلورات المعدن الواحد في اتجاه احد محاورها البلورية فقط مع استطالتها بوضوح وليس من الضروري ان تتوازي فيها باقي المحاور
- 5- مجموعات البلورات التوأم twinned crystal
- في هذه المجموعات تنمو بلورتان من معدن واحد سويا بحيث يتوازي جزء فقط من وجهمها او احرفهما المتشابهة وتسمي ببلورة التوأم. وظاهرة التوأمة شائعة في البلورات ويترتب عليها زيادة درجة التماثل
- يسمي المستوي المشترك الذي يثسم البلورة التوأم الي قسمين احدهما صورة لاخر twin plane كما يسمي محور الدوران بمحور التأم twin axis ويكون عادة اتتجاه محور التوأم منطبقا علي اتجاه احد المحاور البلورية او عموديا علي احد اوجه البلورة كما ان مستوي التوأم غالبا ما يوازي وجها بلوريا اساسيا

• يمكن تقسيم التوأمة الي

أ- توأمة تماسية contact twinning

وهي نوع من التوامة البسيطة حيث تتكون البلورة من نصفين متماثلين بالنسبة لمستوي التركيب الذي هو نفسه مستوي التوأم كمثال الارثوكليز

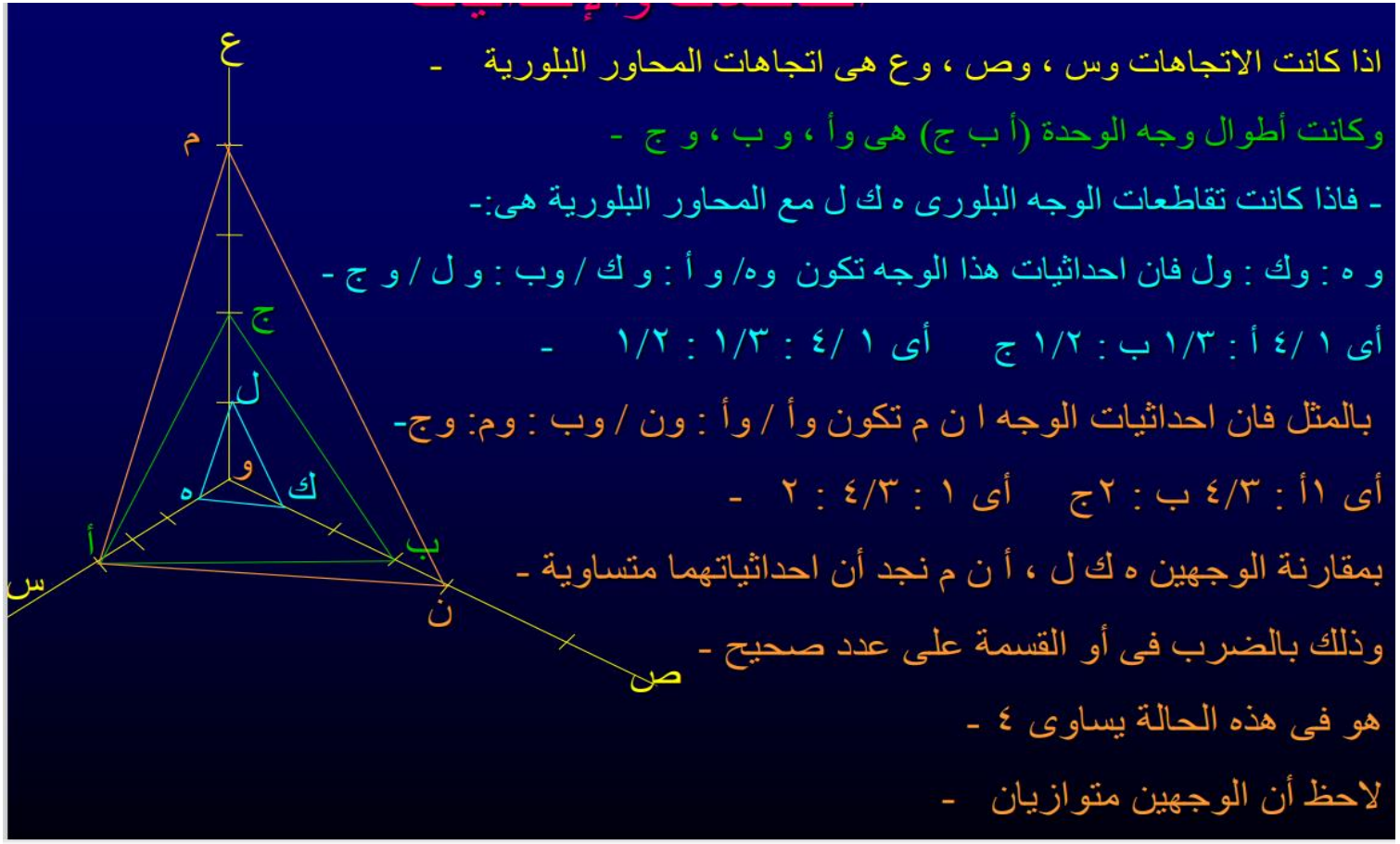
ب- توأمة متداخلة penetration twinning

في هذا النوع تتغلل بلورتان او اكثر في بعض وتظهر البلورة التوأم كما لو كانت نتيجة لاختراق بلورتين او اكثر لبعضهما البعض ولا يكون هناك مستوي تركيب حيث يحدث الالتصاق عند سكح غير مستوي ولذلك يصعب فصل اجزاءها ويكون لجزئي التوأم في هذه الحالة مركز واحد مشترك هو المركز المحوري لكل منهما .مثال لهذا النوع بلورة الفلورايت

ج- توامة متعددة multiple twinning

حيث تتكون البلورة من اكثر من بلورتين . قد يكون مستوي التركيب لاي جزئين متتاليين في البلورة التوأم المتعدد ثابت الاتجاه وتسمي عديدة التركيب polysynthetic او يكون مائلا وغير ثابت وتسمي cyclic. مثال توأمة الالبايت المتعددة ويلاحظ فيه ان مستوي التوأم المنطبق علي مستوي التركيب هو المسطح pinacoid كما ان مستويات التركيب بين الاجزاء المتتالية متوازية ولما كانت الوحدة المكونة لبلورة التوأم المتعدد في هذه الحالة صفائحية فان التوامة في هذه الحالة تسمي صفائحية lamellar

- البارامترات والمعاملات parameters and indices
- يتحدد وضع اي وجه او مستوي بلوري عادة بالنسبة للمحاور البلورية وتسمي اطوال الاجزاء التي يقطعها من المحاور البلورية الثلاث باحداثيات الوجه او المستوي . وتقدر اطوال الاجزاء المقطوعة علي المحاور البلورية بدلالة اطوال المحاور البلورية نفسها



- معاملات ميلر miller indices
- معاملات او ادلة وجه او مستوي بلوري هي قيم مشتقية اساسا من بارمترات هذا المستوي وهناك طرق متعددة لاشتقاق هذه البارمترات واكثرها استخداما هي طريقة ميلر وفيها لا يتم ذكر قيم المحاور البلورية التي هي اساسا وحدات الاطوال في الاتجاهات وانما تشتق معاملات ميلر للوجه البلوري من بارمترات هذا الوجه وذلك باخذ مقلوب هذه البارمترات وازالة الكسور اذا لزم الامر فالنسبة البارمترية للمستوي ه ك ل هي $\frac{1}{4}$و$\frac{1}{3}$و$\frac{1}{2}$ وتكون معاملات ميلر $\frac{4}{1}$و$\frac{3}{1}$و$\frac{2}{1}$ وتكتب 234 وتنطق اربعو تلاتة اتنين
- والنسبة البارمترية للمستوي أ ن م هي 1و$\frac{4}{3}$و2 وتكون مقلوب البارمترات هي 1و$\frac{3}{4}$و$\frac{1}{2}$ وبازالة الكسور تكون المعاملات 432 وتنطق اربعة تلاته اتنين
- عندما يكتب معامل ميلر بين قووسين فان ذلك يدل علي مصطلح ميلر للشكل البلوري المناظر . وعندما يكون معامل ميلر للشكل البلوري هو (111) اي تقطع اوجه المحاور البلورية عند وحدة الاطوال ويسمي ذلك وحدة الشكل البلوري unit crystal formوعندما يكون معامل ميلر هو (ه ك ل) اي تقطع اوجه وحدات المحاور الثلاث ع ابعاد غير متساوية يسمي ذلك الشكل البلوري العام general formونظرا لان فصيلة السداسي لها اربع محاور بلورية فان معامل الشكل البلوري العام فيها (ه ك و ل)

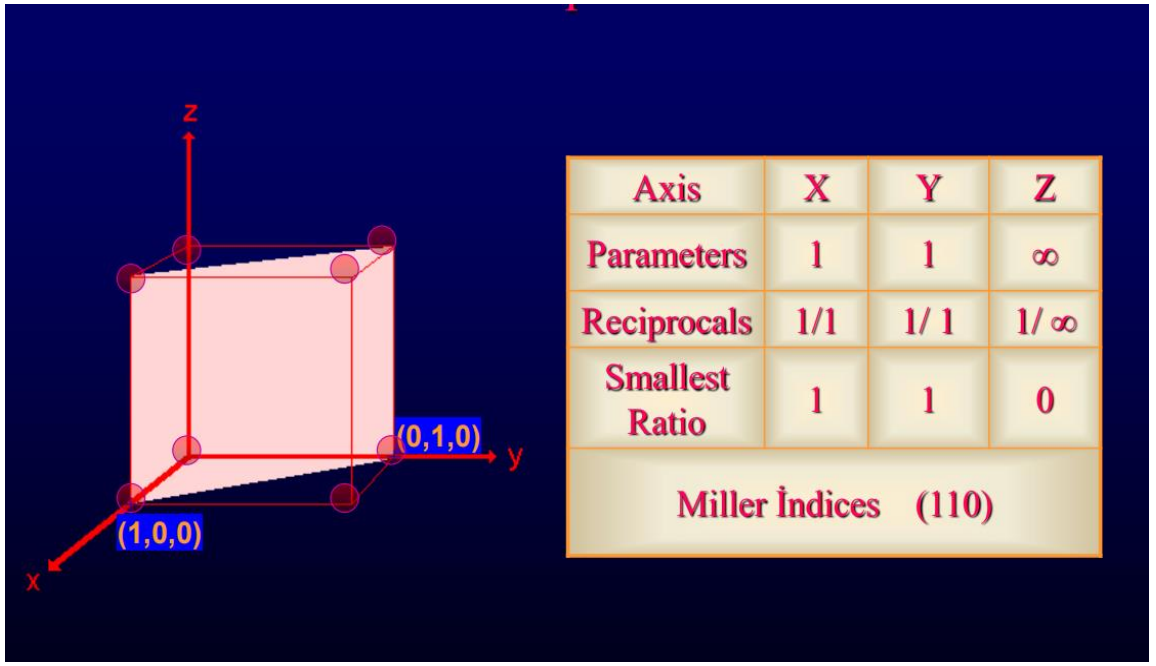
- وتعطي معاملات ميلر اشارة سالبة اذا كانت الاجزاء المقطوعة من المحاور البلورية في الاتجاه السالب وتكتب عادة(هـ,ك,ل) ولتوضيح العلاقة بين معاملات ميلر المناظرةواحداثيات الاوجه نذكر الامثلة الاتية

- الاحداثيات معاملات ميلر

- $\frac{1}{2}$ أ : $\frac{1}{2}$ ب :1 ج

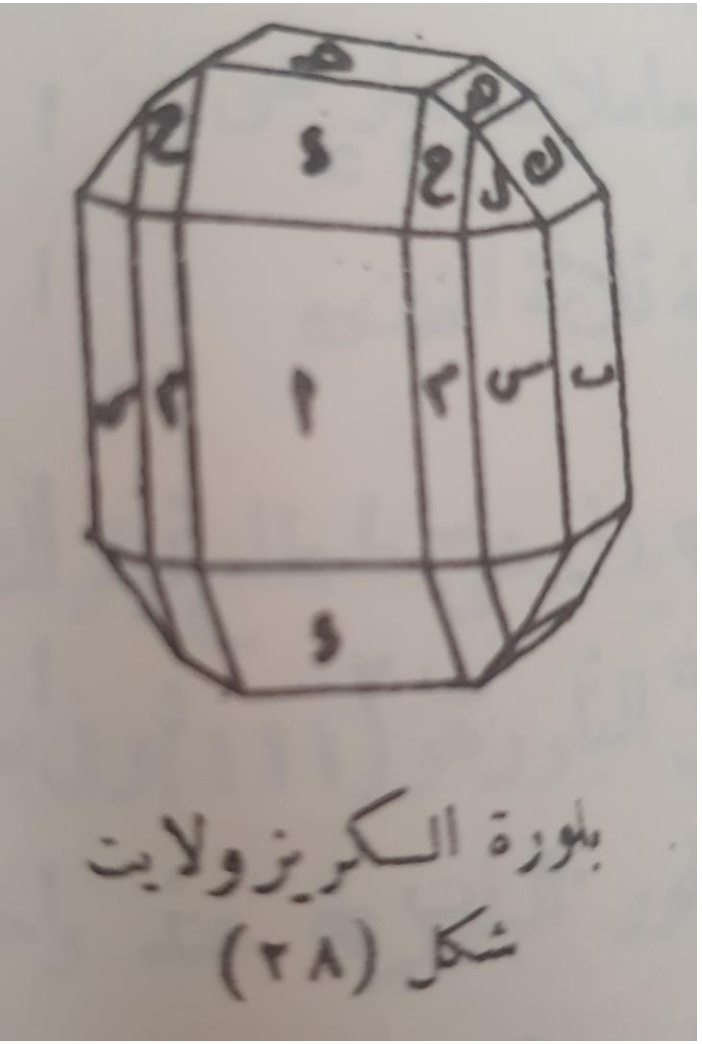
- 1أ :1ب :2ج

122= $\frac{1}{1}:\frac{2}{1}:\frac{2}{1}$



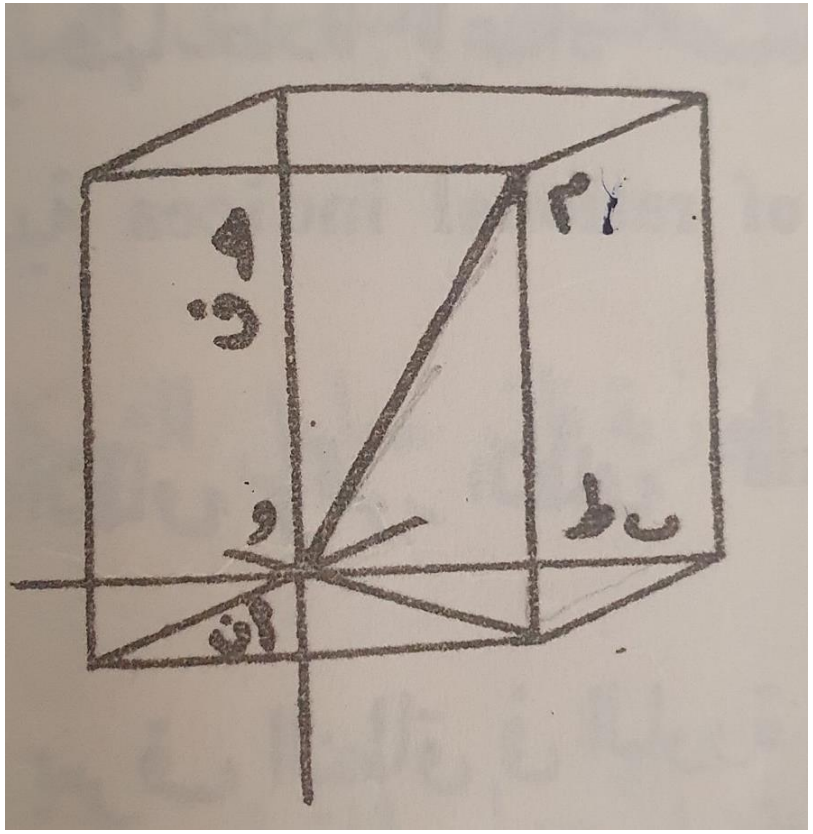
- ويتضح من الامثلة ان النسب بين الاجزاء المقطوعة على المحاور البلورية نسب عددية بسيطة اي ان معاملات الوجه يعبر عنها باعداد صحية بسيطة وهذا يعرف بقانون المعالات النسبية Law of rational indices

- النطاق ومحور النطاق zones-zone axis
- يعرف النطاق بانه اي مجموعة من من الاوجه البلورية تتقابل هي او امتدادتها عند احرف متوازية . وتوازي الاحرف الناتجة عن تقابل اوجه النطاق الواحد في البلورة اتجاها عاما يمر بمركزالبلورة ويسمي هو بمحور النطاق .

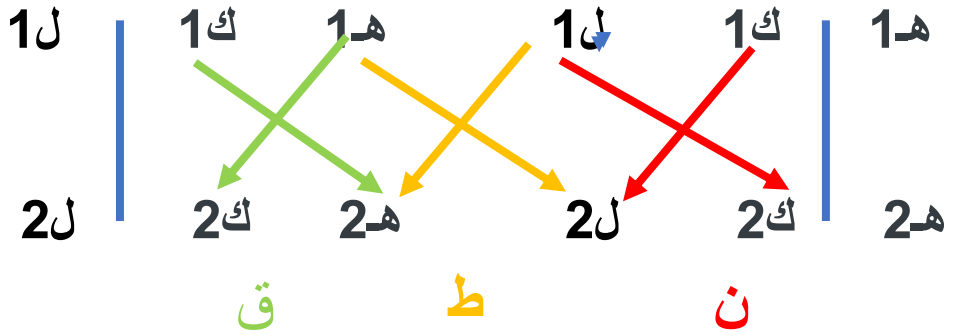


- في الشكل بلورة الكريزولايت تكون الاوجه أ (100) ,م (110) , س (120), ب (010) نطاقا راسيا يوازي محور هـ البلوري ج
- الاوجه أ(100) , د (101) , ج (001) تكون نطاقا ثانيا يوازي ب
- كذلك تكون الاوجه ب (010) , ك(120), هـ (110) , ج (100) نطاق ثالثا يوازي المحور البلوري أ
- وتكون الاوجه ج (100) , ح (111) , م (011) , نطاقا رغم ان الوجهين ج , ح غير متقابلين في حرف
- كذلك تكون الاوجه ج (001) , ل (121) , س (120) رغم انه الوجهين
- ج, ل غير متقابلين

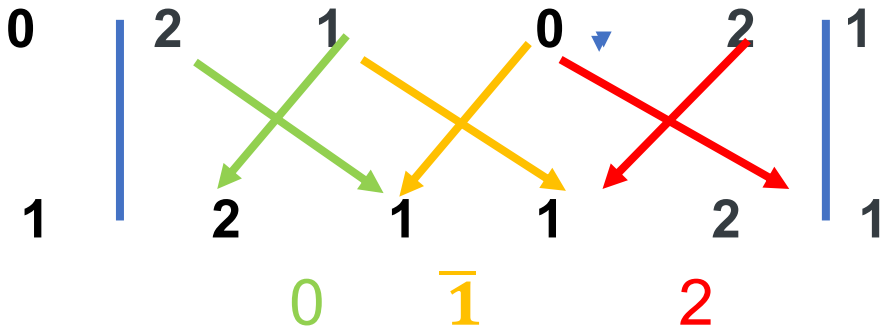
- رمز النطاق zone symbol
- في الشكل إذا فرضنا ان وم يمثل اتجاه محور نطاق في بلورة اطوال محاورها أ,ب,ج علي الترتيب وان احداثيات النقطة م الواقعة على هذا المحور هي أن , ب ط , ج ق في اتجاهات المحاور البلورية فان محور النطاق يرمز له بالرمز(ن ط ق) وجدير بالذكر ان اوجه النطاق الواحد تجمعها دائما علاقة رياضيا بسيطة تسمي معادلات النطاق



- لحساب رمز النطاق
- ن = ك1ل2 - ل1ك2
- ط= ل1 هـ 2- هـ 1ل2
- ق= هـ 1ك2 - ك1 هـ 2

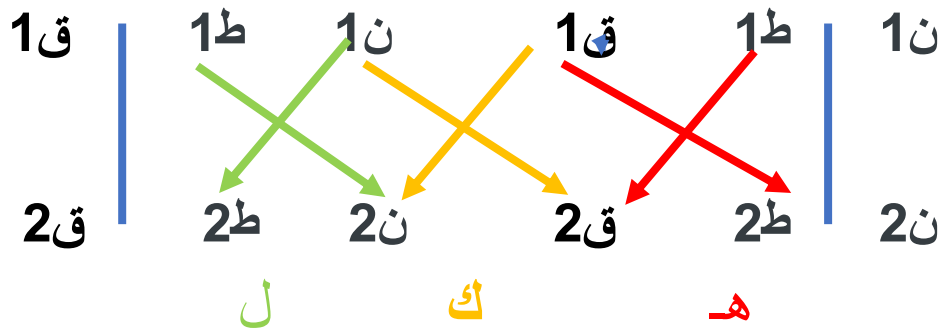


- مثال عين رمز النطاق للوجهان س (021) , ل (121)



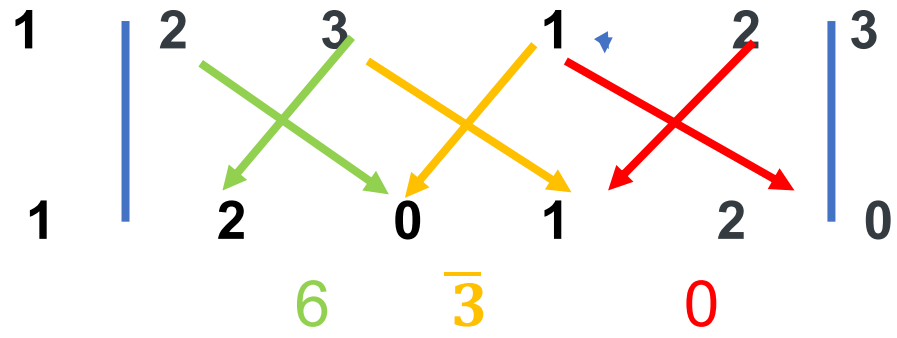
- اي ان رمز النطاق هو [0 $\bar{1}$ 2]
- وبضرب طرفي معادلات النطاق الثلاث في هـ1, ك1 , ل1 او في هـ2,ك2,ل2يمكن ان نستنتج ان
- هـ1ن+ك1ط+ل1ق= صفر كذلك هـ2ن+ك2ط+ل2ق= صفر من ذلك يتضح ان العلاقة بين معاملات ميلر هـ ك ل لاي وجه في نظاق بلوري ورمز محوره [ن ط ق] هي
- هـ ن+ك ط+ ل ق = صفر وتسمي هذه اعلاقة بقانون النطاق لفايس weiss

- كذلك يمكن استنتاج رمزمحور النطاق اذا عرفت معاملات ميلر لوجهين غير متوازيين في هذا النطاق كذلك يمكن استنتاج معاملات ميلر للوجه المشترك بين نطاقين
- هـ = ط1 ق2- ق1 ط2
- ك = ق1 ن1- ق2 ن1
- ل = ن1 ط2 – ط1 ن 2 او بتعبير اخر

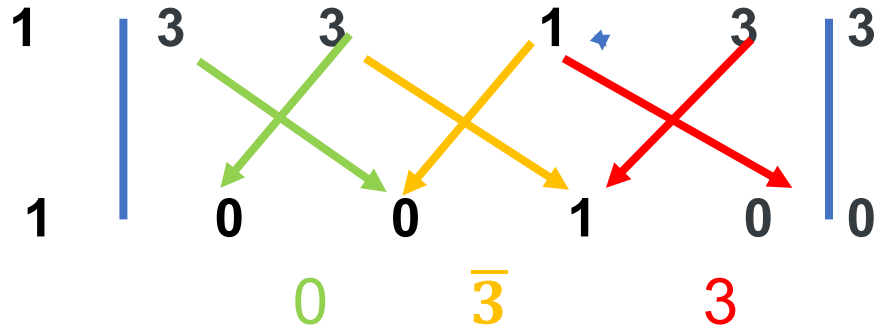


- مثال اوجد معاملات الوجه المشترك مع نطاقين [120,123] , [100,133]

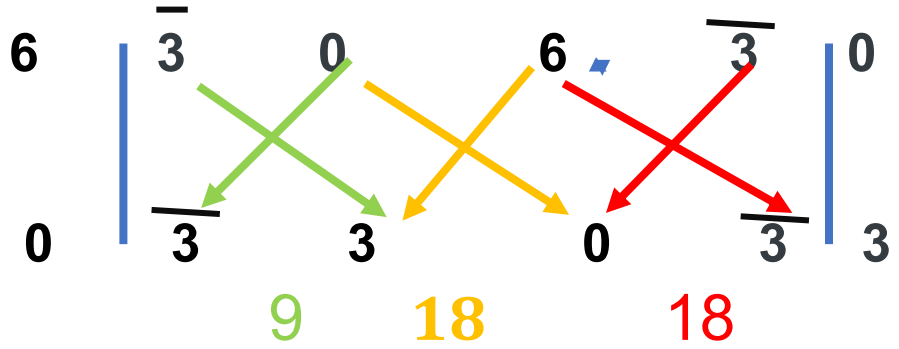
نوجد رمز محور النطاق الاول



نوجد رمز محور النطاق الثاني



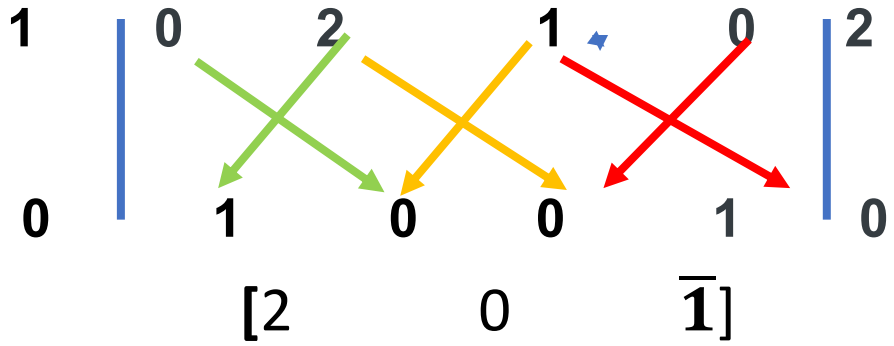
ثم نستنتج معاملات الوجه الذي يقع في هذين النطاقين من رمزيها



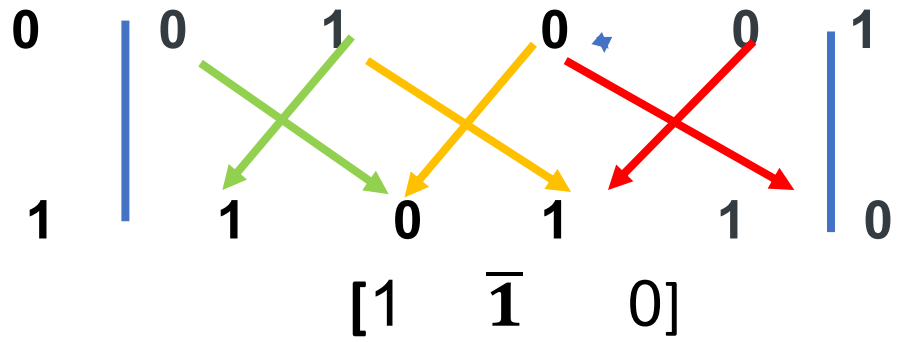
باقسمة ع 9 نجد ان الوجه المطلوب هو (122)

- وبالنسبة لفصيلة السداسي يحذف احد الرموز الثلاثة الاولي من معاملاته من اجل ذلك يكتب رمز النطاق علي النحو [ن ط ْ ق] وعند استنتاج معاملات وجه يقع في هذه النطاق تكتب معاملات الوجه (ه ك ّ ل) وهذا المعامل يمكن استنتاجه كاملا من القانون هـ +ك +و = صفر
- اوجد معاملات الوجه المشترك بين النطاقين [2 0 $\overline{1}$ 1 0 , 2 $\overline{1}$ 0], [1 0 $\overline{1}$ 0 , $\overline{1}$ $\overline{1}$ 1 0]

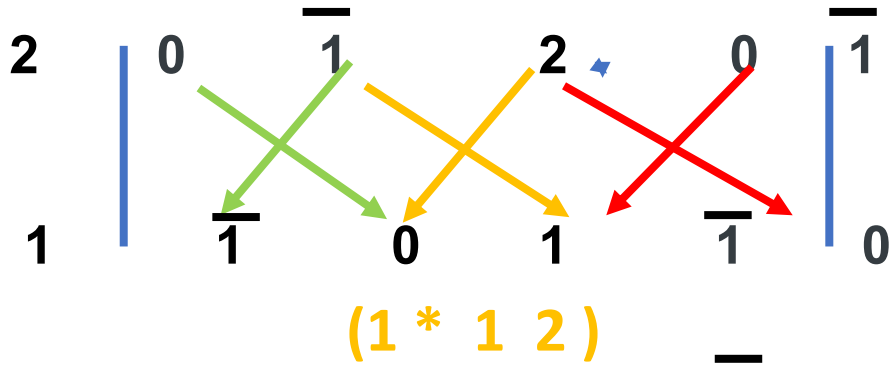
- للحل تكتب اولا معاملات الوجه كالاتي (2 0 1 *) , (0 1 0 *) - (1 0 0 *) , (0 1 1 *)
- نستنتج رمز النطاق الاول من التعبير



- نستنتج رمز النطاق الثاني من التعبير



- وعلي ذلك تكون معاملات الوجه الذي يقع في هذين الطاقين هي كما ياتي



- ويكون الرمز الكامل لهذا الوجه هو (2 1 3 1 1)

لاحظ ان محاور البلورية في السداسي
هي أ1وأ2وأ3و ج