البلورات والخواص البلورية للمعادن

Crystallograghy

تعريف

علم البلورات هو ذلك العلم الذي يختص بدراسة البلورات والمواد المتبلورة. والمعروف أن المواد المتبلورة توجد في الطبيعة إما في حالة حبيبات منفردة أو مجموعات. ويمكن تعريف البلورة بأنها عبارة عن جسم صلب متجانس يحده أسطح مستوية تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة. والأسطح المستوية التي تحدد البلورة تعرف باسم أوجه البلورات.

والأوجه البلورية في الحقيقة هي تعبير وإظهار للترتيب الذري الداخلي للمادة المتبلورة. والعملية التي تنتج لنا بلورات تعرف باسم عملية التبلور ، وهي عملية تحدث أمام أعيننا إذا تبخر ماء البحر أو المحاليل المشبعة ، أو برد مصهور ببطء أو تكثف غاز إلى الحالة الصلبة مباشرة. وفي البلاد الباردة يتجمد ماء المطر بسبب انخفاض درجة الحرارة وتتكون بلورات الثلج سداسية الشكل.

فإذا فحصنا أي بلورة منفردة من هذه البلورات الناتج نجد أن التي نمت بحرية دون عائق يحد من حريتها في النمو ، لها أسطح مستوية أو أوجه ، تكونت طبيعيا أثناء نمو البلورة. أم الأسطح التي نراها مصقولة على قطعة من الزجاج ، ومرتبة في شكل هندسي جميل ، وتباع كجواهر مقلدة ، فإنها لا نسمي أوجهها بلورية كما أن الزجاج نفسه لا يسمى بلورة ، فبالإضافة إلى أن هذه الأسطح المستوية صناعية التكوين ، فإن المادة نفسها وهي الزجاج ينقصها النباء الذري الداخلي المرتب.

ويستخدم علم البلورات الآن باستمرار وباطراد مستمر في حل كثير من المشاكل الكيميائية والفيزيائية وفي دراسات وأبحاث التعدين والمواد الحرارية والادوية والدراسات البيولوجية (الحيوية.(

ويمكن تقسيم البلورات حسب إستكمال الأوجه البلورية إلى ثلاثة أقسام:

-1بلورات كاملة الأوجه وذلك حينما تكون جميع الأوجه البلورية موجودة.

-2ناقصة الأوجه ، وذلك حينما يكون جزء من الأوجه متكون فقط والباقي غير موجود.

-3عديمة الأوجه ، وفي هذه الحالة يكون المادة المتبلورة عبارة عن حبيبات لا يحدها أوجه بلورية ، وغالبا ما توجد هذه الحبيبات في هيئة مجموعات.

وتشترك هذه الأنواع الثلاثة (كاملة الأوجه – ناقصة الأوجه – عديمة الأوجه) ، في أن لها بناءا ذريا داخليا منتظما. أو بمعنى آخر أن المواد المكونة لها سواء أكانت ذرات أم أيونات .. توجد مرتبة في نظام هندسي. وعلى هذا الأساس يتبين لنا أنه ليس من الضروري بتاتا ان نجد الأوجه البلورية تحدأ المادة المتبلورة ، إذ أن تكون هذه الأوجه رهن بالظروف المحيطة بالمادة المتبلورة أثناء عملية التبلور. وعلى ذلك فإننا نعرف كل مادة صلبة ذات بناء ذري داخل يمنظم باسم مادة متبلورة ، فإذا كانت هذه المادة المتبلورة ذات أوجه طبيعية مرتبة في نظام هندسي ، ويمكن رؤية هذه الأوجه بواسطة العين المجدرة ، أو عدسة مكبرة ، سميت باسم بلورة.

أما إذا كانت المادة ينقسها النباء الذري الداخلي المنتظم فتوصف بأنها مادة غير متبلورة ، وتكون المعادن غير المتبلورة في المملكة المعدنية قلة (وتعتبر استثناء وليست قاعدة إذا التزمنا بالتعريف الحرفي للمعدن الذي يتضمن أن المعدة مادة متبلورة) ، ومن أمثل

المعـادن غيـر المتبلـورة الأوبـال Opal (SiO2. nH2O) ، والكريزوكـولا Chrysocollaسليكات النحاس المائية). ولما كـان البنـاء الـذري فـي مثل هذه المـواد غي رالمتبولة غير منـتظم فإننـا نجـد أن تركيبهـا الكيميـائي غيـر ثابـت. وبالتـالي لا يعبـر عنه بقانون كيميائي. فمثلا تتـراوح نسبة المـاء فـي معدن الأوبـال مـا بين ٦ ، ٩ بالمائـة وقد تصل إلـى ٢٠ بالمائـة من وزن المعدن. أمـا فـي معدن الكريزوكـولا ، فـإن تركيبـه الكيميائي متغير في مدى كبير حيث نجد أن كميات النحاس والماء متغيرة وليست ثابتة.

ومن هذا يتضح لنا أن الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلوة يكون في البناء الداخليز وفإذا كانت الذرات مرتبة في نظام معين فالمادة متبلورة ، أما إذا لم تكن كذلك ، أي أن الذرات غير مرتبة ، فالمادة اذن غير متبلورة. وعنـدما لا توجـد أوجـه بلوريـة ، فإنـه لا يمكن التفرقة بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة إلا بواسطة استعمال الميكروسكوب المستقطب وفي بعض الأحياء الأشعة السينية.

ولكن إذا كانت الأوجه البلورية موجودة ، كلها أو بعضها ، فإن دراستها تسـاعدنا كثيـرا فـي التعـرف علـى المعدن ، لأن الأوجـه البلوريـة ، مـا هـي إلا تعبيـر عـن البنـاء الـذري الداخلي المميز للمعدن. و"موروفوروجيا البلورات" هو ذلك الفرع من علم البلورات الذي يختص بدراسة الخواص الخارجية للبلورات.

وقبـل أن نصـف المظهـر الخـارجي للبلـورات بشـئ مـن التفصـيل ، يجـدر بنـا أن نشـير إشارة سريعة إلى بعض الخواص الهندسية للبناء الذري الداخلي المنتظم للبلورات.

<u>البناء الداخلي للبلورات</u>

تتميـز المـواد المتبلـورة بحقيقـة أساسـية هـي الترتيـب المنـتظم للـذرات والأيونـات التـي تتكون منها. وعلى ها الأساس يجب أن نتصور البلورة كبنيان يتكون من وحـدات غايـة

في الدقة تتكرر بانتظام في الأبعاد الثلاثة. وأساس البناء البلوري هو التكرار ، الذي يمكن تشبيهه بتكرار رسم معين على ورق الزينة الذي يلصق على الحائط (ولكن مع فارق أنه في هذه الحالة الأخيرة يتكرر في بعدين فقط).

وتترتب هذه الوحدات المتشابهة عن نقاط منتظمة في الأبعاد الثلاثة بطريقة تجعل كل نقطة لها نفس الظروف المحيطة بالنقاط الأخرى ، وبتحديد هذا الترتيب بواسطة اتجاهاته الثلاثة والمسافات التي تتكر عندها النقاط في هذه الاتجاهات. وقد أوضحت المحاولات التي قام بها برافيه عام ١٨٤٨ أن هناك ١٤ نمطا فقط لهذه الترتيبات ممكنة هندسيا . وتعرف هذه الترتيبات الفراغية باسم الترتيبات الفراغية الأربعة عشر لبرافبه The 14 Barvbis space lattices.

وأبسط وحدات الترتيب الفراغي مجسم متوازي السطوح ويعرف باسم الوحدات الثنائية ، ويلاحظ أن بعض هذه الترتيبات الفراغية أو الوحدات الفراغية البدائية تحتوي الواحدة منها على نقطة واحدة (وتفسير ذلك أنه بالغرم من وجود نقاط عند الأركان الثمانية للوحدة البنائية في الترتيب الفراغي البدائي. إلا أنه نظرا لأن كل نقطة من هذه النقاط تكون مشتركة بين ثماني وحدات بنائية متجاورة. فإن ثمن نقطة يتبع الوحدة البنائية الواحدة ، وبالتالي تسهم النقاط عند الأركان الثمانية بما يساوي نقطة واحدة بالنسبة للوحدة البنائية الواحدة). وتختلف هذه الوحدات البنائية البدائية عن بعضها البعض في أطوال حدودها (حوافها) والزوايا المحصورة بين هذه الحدود ((α, β, γ)) ، أما بقية الوحدات البنائية ، فلها نقاط إضافية إما عند مراكز جميع الأوجه . وتعرف باسم ممركز الأوجه أو عند وجهين متقالبين أو ممركزة في الداخل. وفي جميع هذه الحالات تكون الوحدة البنائية مضاعفة أي تحتوي على أكثر من نقطة (٤ نقاط في حالة F، نقطتان في كل من حالتي.(I , C

وتكون الوحدات البنائية المرصوصة في ترتيب الهيكل الغرافي – ترتيب فراغي بدائي Pترتيب فراغي ممركز في الدخل ١ – البلورات التي نمسكها بين أيدينا ونجري عليها الاختبارات ومها هذه الوحدات في الحقيقة إلى ذرات أو مجموعات من الذرات. ففي البلورة كما في المعادن العنصرية (أي التي تتكون من عنصر واحد) ، نجد الذرات غير مشحونة ، ولكن في معظم الحالات تحمل الذرات شحنات كهربية ، وتعرف حينئذ باسم أيونات (تعرف الموجبة منها باسم كاتيونات بينما تعرف السالبة باسم أنيونات). وتتكون معظم المعادن من أيونات أو حشود من الأيونات يضمها إلى بعضها البعض روابط كهربائية نائية عن الشحنات المضادة ونقصد بكلمة بناء البلورة ترتيب الأيونات والمجموعات الأيونية في الفراغ وطبيعة الروابط الكهربائية التي تضم هذه الأيونات إلى بعضها البعض ، ومدى قوة هذه الروابط. ويمكن تشبيه الوحدات البنائية (الذرات والأيونات والحشود الأيونية) ، بقالب الطوب في بنيان حائط بينما تشبه الروابط الكهربية بين هذه الوحدات البنائية ، بالمونة التي تضم القوالب بعضها إلى بعض.

الخواص الخارجية للبللورات

الأوجه البلورية

قلنا أن البلورة تتميز عن المادة المتبلورة في أنه لها أسطحا مستوية خارجية تعرف بالأوجه البلورية. ومنجد أن الأوجه البلورية لها علاقة بالنظام الذري الداخلي. هذه العلاقة نائية من أن هذه الأوجه البلورية تكونت نتيجة لهذا النظام الذري الداخلي ، والملاحظ أنه عندما ترتب الذرات نفسها في أي نظام – أثناء نمو المادة المتبلورة. قد يكون هناك عدد معين من السطوح المحتمل تكونها لتحد البلورة الناتجة وهذا العدد يكون عادة قليلا ، وذلك لأنن المستويات التي تشمل أكبر عدد من الذرات هي التي

تحدد أمكنة الأوجه البلورية. أي أن الأوجه البلورية المحتمل تكونها (وفي المادة هي التي تتكون فعلا) ، هي التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات.

ولما كان البناء الذري الداخلي للمادة المتبلورة ثابت ، وأن الأوجه البلورية – كما أسلفنا – لها ارتباط وثيق بنظام ثابة بالنظام الذري الداخلي ، فإنه ينتج عن ذلك أن الأوجه البلورية الخارجية لابد وأن تكون ذات عرقة ثابتة مع بعضها البعض. هذه العلاقة الثابتة بين الأوجه البلورية توجد في الزوايا التي تكونها الأوجه. وهذه الحقيقة تعرف باسم قانون ثبات الزوايا بين الوجهية Law of constancy of interfacial angles.

وينص هذا القانون على أن زاوية الميل بين وجهين بلورين (زاوية بين وجهية) ثابتة في بلورات المادة الواحدة (عند درجة الحرارة الواحدة). فنجد في الشكل السابق (١١) أن الوجه أ ح يعمل زاوية مقدارها ٤٥ مع الوج أب ب في جميع البلورات في هذه المادة ذات النظام الذري المبين (المسافات متساوية بين الذرات في جميع الاتجاهات) ، أما الوجه أ د فإنه يعمل زاوية مقدارها ٤١ ٣٣ درجة مع الوجه أ ب ، ويعمل الوجه أ هـ زاوية مقدارها ٣٤ ٢٦ درجة مع الوجه أ ب ، أم الوجه أ و فيعمل زاوية مقدارها ٢٦ ١٨ مع الوجه أ ب.

وهذا القانون أساسي ومهم جدا في علم البلورات ، فبواسطته يمكن التعرف على كثير من العادن ، وذلك إذا قسنا الزوايا بين الوجهين بدقة (بواسطة جهاز يعرف باسم الجونيومتر) إذ أن هذه الزواياة مميزة لكل معدن. ومن أبسط أنواع الجيونيومتر النوع الذي يعرف باسم جونيومتر التماس ، شكل (١١) الذي يستعمل في قياس الزوايا بين الوجهية على البلورات الكبيرة ونتائجه دقيقة إلى حد ما.

ويمكن التعرف على طريقة استعماله بملاحظة الشكل (١٢) ويجب مراعات أن يكون مستوى ذراعي الجيونيومتر متعامدا تماما على حرفي البلورة اللذين يحصران بينهما الزاوية بين الوجهية.

كما يجب ألا يغب عن الذهب أن الزوايا المكملة (الزوايا الداخلة) هي التي تقاس عادة وتدون كقيمة للزوايا بين الوجهية عند دراسة البلور. ففي شكل (١٣) تسجل الزاوية التي مقدارها ٤٠ درجة وليست الزاوية التي مقدارها ١٤٠ درجة.

وأول من لاحظ ثبات الزوايا بين الوجهية هو العالم الدنماركي استينوهام ١٦٦٩. فعندما قطع مقاطع أفقية في عدد كبير من بلورات الكوارتز شكل (١٣) ، وجد أن الزاوية بين أي وجهين ، ولكيونا م١ ، م٢ مثلا ، مقدارها ثابت بين جميع الأوجه التي تناظر م١ ، م٢ في المقاطع الأخرى. هذه الزاوية مقدارها ١٢- درجة مهما اختلفت البلورات في الشكل الخارجي أو الحجم ، ومن أي مكان جمعت البلورة.

وتختلف بلورة المعدن الواحد في الطبيعة من ناحية مظهرها. فمنها الصغير ومنها الكبير ، ومنها المفلطح ومنها الطويل ، إبريا كان أو منشوريا. ولكننا نجد أنه مهما اختلف المظهر فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة. فبلورة مكعبة الشكل شكل (١٤) قد توجد متساوية الأبعاد أو مفلطحة أو منشورية ، أو ابرية لاشكل ولكن في جميع الحالات تبقى الزاوية بين أي وجهين متناظرين ثابتة ومقدارها في هذه الحالة ٩٠ درجة.

والسبب في ذلك أن المظهر الخارجي للبلورة المكعبة هو الذي تغير ، أما البناء الداخلي وترتيب الذرات فلم يتغير – فالوحدات البنائية التي يتكون منها المكعب شكل (١٤ ب) ثابتة في جميع المظاهر الخارجية للبلورة. فهي وحدات متساوية الأبعاد ، والذي حدث هو أ،ه أثناء عملية نمو البلورة ، تؤثر الظروف المحيطة على النمو ، فقد تجعل

الوحدات البنائية تضاف بنسب متساوية في الأبعاد الثلاثة فينتج المكعب. أو تضاف بسرعة كبيرة في بعدين فقط وبسرعة بطيئة في بعد واحد فتنتج بلورة مفلطحة (نضدية) ، (أقصى اليمين في شكل – ١٤) ، أو تضاف الوحدات البنائية بسرعة كبيرة نسبيا في بعد واحد فقط فتنتج بلورة منشورية ، أو بسرعة كبيرة جدا في بعد واحد أيضا فتنتج بلورة إبرية (أقصى اليسار في شكل – ١٤.(

ونلاحظ بصفة عامة أن الأوجه البلورية في البلورات الطبيعية (الموجودة في الطبيعة) غير متساوية التكوين. فنجد مثلا أن الأوجه البلورية الثمانية للشكل البلوري المعروف بالسم ثماني الأوجه ، (شكل – ١٥) لا تكون متساوية في شكل مثلثات متساوية الأضلاع (كما هو الحال في البلورة النموذجية شكل (١٥- ١)) ولكن نجد أن هذه الأوجه غير متساوية التكوين ، شكل (١٥ – ب ، ج) ، ولكن بالرغم من عدم تساوي الأوجه فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة ، شكل (١٥ – د ، هـ ، و.(

ويعرف عدم تساوي الأوجه البلورية للشكل البلوري الواحد باسم اختلاف الأوجه البلورية أو النشوء ، وتعرف البلورة في هذه الحالة باسم مختلفة الأوجه البلورية أو مشوهة. والنشوء لا يشير من قيمة الزوايا بن الوجهية بالمرة. وهذا ناتج من أن الأوجه البلورية نفسها ثابتة الميل والاتجاه. لأنها هي الأخرى نتيجة وتعبير للبناء الذري الداخلي المنظم للبلورة شكل (١١) ، إذ تكون الأوجه البلورية موازية للمستويات التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات. وبمان أن الترتيب الذري الداخلي ثابت في جميع بلورات المادة الواحدة ، لذلك كانت الأوجه البلورية المتكونة على جميع هذه البلورات ثابتة الإتجاه أيضا ، وبالتالي تكون الزوايا بينهما ثابتة.

عناصر التماثل Element of Symmetry

من الظواهر الملحوظة على كثير من البلورات ظاهرة التوزيع المنظم والمرتب للأوجه البلورية. فإننا نجد أن جميع الأوجه البلورية وكذلك الذرات والأيونات المكونة للمادة مرتبة حسب نظام خاص وتنسيق معين يخضع لقواعد معينة معروفة باسم عناصر التماثل. وجوهر التماثل هو التكرار. فنلاحظ أن وجه البلورة مثلا أو أحد أحرفها يتكرر عدة مرات – أي يوجد في أماكن متماثلة عددا من المرات – طبقا لقانون ثابت. ويعتبر التماثل أساسا في دارسة البلورات.

ويمكن تعريف التماثل في بلورة ما بأنه عبارة عن العمليات التي ينتج عنها أن تأخذ مجموعة معينة من الأوجه البلورية نفس المكان الذي تشغله إحداها. والعمليات التماثلية المعروفة هي:

-1دوران حور محور (محور التماثل الدوراني.(

-2انعكاس خلال مستوى (مستوى التماثل.(

-3انقلاب حول مركز (مركز التماثل.(

-4دوران حول محور مصحوبا بانقلاب (محور التماثل الانقلابي.(

ويعرف المحور والمستوى باسم عناصر التماثل.

محور التماثل الدوراني Rotation axis of symmetry

وهو عبارة عن الخط الذي يمر بمركز البلورة والذي تدور أو تلف حوله البلورة وينتج عن هذا أن يتكرر وضع البلورة. أي ظهور وجه أو حرف ما مرتين أو أكثر ومتخذا في

كل مرة وضعها مشابها للموضع الاول خلال دورة كاملة (أي ٣٦٠ درجة) ، أشكل (١٦ ، ١٧ ، ١٨ ، ١٩).

ويطلق على المحور اسم ثنائي التماثل أو ثلاثي التماثل أو رباعي التماثل أو سداسي التماثل ، حسب عدد المرات التي يظهر فيها الوجه على البلورة في الدورة الكاملة. ففي حالة المحور ثنائي التماثل ، شكل (١٦) يظهر الوجه كل ١٨٠ درجة. ويتكرر وضع البلورة مرتين في ٣٦٠ درجة. وفي حالة المحور ثلاثي التماثل ، شكل (١٧) يظهر الوجه كل ١٢٠ درجة ، ويتكرر وضع شكل (١٨) ، فإن الوجه يظهر كل ٩٠ درجة ، ويتكرر وضع البلورة أربع مرات خلال ٣٦٠ درجة. وفي حالة المحور سداسي التماثل ، شكل (١٩) ، يظهر الوجه مرة كل ٦٠ درجة ، ويتكرر وضع البلورة ست مرات في الدورة الكاملة. ويرمز للمحاور التماثلية بالرموز الآتية: ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٦ ، كما تبين الأشكال بالصور التالي: (يوجد رموز مرسومة.(

وقد يتساءل سائل لماذا لا يوجد محور خماسي التماثل أو سباعي التماثل أو أكبر من ذلك؟ والإجابة على ذلك بسيطة إذا علمنا أن الوحدة البنائية ذات التماثل البلوري يجب أن تكون قادرة على التكرار في الفراغ دون أن تترك أي فجوات أو مسافات. فالأشكال الثنائية التماثل وكذلك الثلاثية والرباعية والسداسية تتكرر لمتلأ الفراغ دون أن تترك أي فجوات أو مسافة بينية ، شكل (٢٠- أ ، ب ، ج ، د ، و) ، بينما تترك الأشكال الخماسية والسباعية والثمانية التماثل شكل (٢٠- هـ ، ر ، ع) مسافات وفجوات (مظللة على الرسم) ،وهذا لا يتفق مع الترتيب المنتظم في الفراغ للوحدات البنائية في الأبعاد الثلاثة.

-2مستوى التماثل Plan of symmetry

وهو المستوى الذي يقسم البلورة إلى نصفين متشابهين بحيث إذا وضعنا أحد النصفين أمام مرآة فإن الصورة الناتجة تنطبق تماما على النصف الآخر للبلورة ورمز لمستوى التماثل برمز "م" (من كلمة مرآة) شكل (٢١.(

-3مركز التماثل Center of symmetry

تحتوي البلورة على مركز تماثل اذا قابل الخط المار بالمركز من أي نقطة على سطح البلورة نقطة مشابهة لها تماما على الجزء المقابل . أو بمعنى آخر إذا وجد لكل وجه بلوري أو حرف في ناحية من مركز البلورة وجه بلوري مشابه أو حرف في الناحية المقابلة الأخرى من مركز البلورة وعلى مسافة مساوية ، فإن هذه البلورة تحتوي على مركز تماثل شكل (٢٢). ويرمز لمركز التماثل بالرمو "ن" ، (نقطة لاتماثل الداخلية) . والبلورة إما أن تحتوي على مركز تماثل واحد فقط أو لا تحتوي على مركز تماثل بالمرة.

-4محور التماثل الانقلابي Inversion axis symmetry

يجمع هذا العنصر التماثلي بين محور التماثل الدوراني والانقلابي عبر مركز البلورة. ويجب اتمام العمليتين قبل الحصول على موقع التكرار الجديد. فإذا كان يوجد بالبلورة مركز تماثل فإنه يرمز له عادة برمز محور الإنقلاب أحادي التماثل (أ) ، إذ أ، هذا يكافئ دوران نقطة على البلورة دوة كاملة (٣٦٠ درجة) ثم تكرارها بإنقلابها عبر المركز في الجهة المقابلة لهذه لانقطة على البلورة. وهناك أيضا محاور انقلابية ثنائية وثلاثية ، ورباعية وسداسية التماثل. والآن لنتفهم كيف يعمل محور التماثل الانقلابي ، وليكن مثلا محور انقلابي رباعي التماثل. في حالة محور الدوران الراعي التماثل

(شكل-١٨) ، نلاحظ أن تكرار أربع نقاط (أو أركان) – تبعد الواحدة منها عن الأخرى ٩٠ درجة – يحدث جميعه إما على الجزء الأعلى من البلورة أو على الجزء الأسفل للبلورة . أما في عملية المحور الانقلابي الرباعي التماثل ، فإن النقاط (أو الأركان الأربع سوف تتكرر أيضا كل ٩٠ درجة ، ولكن اثتنتين منها توجد أعلى البلورة ، بينما توجد النقطتان الآخريان أسفل البلورة ، شكل (٢٣). إن عمل مثل هذا المحور الانقلابي التماثل يشمل أربعة دورانات كل ٩٠ درجة ، ويلي ذلك إذا كانت النقطة الأولى في الجزء الأعلى من البلورة ، كانت النقطة الثانية في الجزء الأسفل للبلورة ، والثالثة في الجزء الأعلى والرابعة في الجزء الأسفل. ويرمز للمحاور الانقلابية أحادية ، وثنائية ، وثلاثية ، ورباعية وسداسية التماثل بالرموز التالية على التوالي: ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٦

واذا فحصنا الأشكال السابقة ، (١٦) إلى (١٩) ، شكل (٢١) بشئ من الدقة والتفصيل ، فإننا نلاحظ أن كلا من هذه البلورات المرسومة تحتوي أكثر من عنصر التماثل المبين في الشكل. فالبلورة المبينة في شكل (١٦) مثلا تحتوي على محورين آخرين ثنائي التماثل ، كما تحتوي على ثلاثة مستويات تماثلية وتحتوي أيضا على مركز تماثل ، بينما البلورة المبينة في شكل (٢١) تحتوي على محور ثنائي التماثل عمودي على مستوى التماثل الموضح ، وكذلك تحتوي على مركز تماثل. أما البلورة المبينة في شكل (٢٢) ، فإنها لا تحتوي سوى مركز التماثل المبين بها. وأكبر عدد من عناصر التماثل يمكن أن يوجد في بلورة واحدة هو ٢٣ ، كما سنرى بعد ، أما أقل عدد ، فهناك بلورات لا تحتوي على عناصر تماثل بالمرة.

قانون التماثل Symmetry formula

يمكن كتابة عناصر التماثل في البلورة في هيئة قانون يعرف باسم قانون التماثل الكامل Complete Symmetry formula، وذلك باستعمال الرموز التماثلية وهي: ٢ ، ٣

، ٤ ، ٦ ، للمحاول الدورانية الثنائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالي و ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٦ للمحـــاور الانقلابيـــة الأحاديـــة والثنائيـــة والثلاثيـــة والرباعيـــة والسداسية التماثل على التوالي ن م لمستوى التماثل ، ن لمركز التماثل. فاذا وجد محور دوران تماثلي عموديا على مستوى تماثل فإن القانون يكتب هكذا ٢/م أو ٣/م ، الخ ... حسب درجة المحور التماثل ، ويقرأ اثنين على ميم ، وثلاثة على ميم ، الخ .. أما إذا كان المحور التماثلي يمر في المستوى التماثلي وليس عموديا عليه ، فإن القانون يكتب ٢م أو ٣ م الخ .. حسب درجة المحور التماثلي. أما في حالة وجود مستويان تماثليان أحدهما عمودي على المحور التماثلي والآخر يمر بالمحور فإن القانون يكتب ٢/م م أو ٣/م م ، الخ. وفي حالة وجود أكثر من محور تماثل واحد أو مستوى تماثل واحد فإن عدد المحاور أو المستويات يكتب في لاركب الأعلى الشمالي لرمز المحور أو المستوى هكذا ٣٢ ، م٣ ، ٤/م ٣ أي ثلاثة محاور ثنائية التماثل ، ثلاث مستويات تماثلية ، ثلاثة محاور رباعية التماثل عمودية على ثلاث مستويات تماثلية ، على التوالي (لاحظ أن القانون الأخير لا يعني ثلاثة محاول رباعية التماثل عمودية على مستوى تماثل واحد ، إذ أن ٤/م تدل على مجموعة غير مجزأة.(

الفصائل والمحاور البلورية

الفصائل البلورية Crystallographic systems

تتبع البلورات سبعة أقسام تعرف باسم الفصائل البلورية السبعة ، يمكن التعرف عليها على أساس المحاول التماثلية الموجودة كما يلي:

١ – فصيلة المكعب (أو متساوي الأطوال) وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على أربعة محاور ثلاثية التماثل.

-2فصيلة السدساسي ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد سداسي التماثل فقط.

-3فصيلة الرباعي ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور رباعي التماثل فقط.

-4فصيلة الثلاثي ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد ثلاثي التماثل فقط.

– 5فصيلة المعيني القائم ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على ثلاثة محاور ثنائية التماثل.

-6فصيلة الميل الواحد ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد ثنائي التماثل فقط.

-7فصيلة الميول الثلاثة ، وبلوراتها لا تحتوي على آية محاور تماثلية.

وتضم كل فصيلة من هذه الفصائل السبعة عددا من المجموعات التماثلية ، أو ما يعرف باسم النظم البلورية (اثنين في فصيلة الميول الثلاثة ، وثلاثة في كل من فصيلتي الميل الواحد والمعيني القائم ، خمسة في كل من فصيلتي الثلاثي والمكعب ، سبعة في كل من فصيلتي الرباعي والسداسي) وتحتوي على المميزات التماثلية للفصيلة التي تتبعها ، فمثلا ، قد تحتوي بلورة تابعة لفصيلة الثلاثي على محور دوران ثلاثي التماثل فقط ، أو على محور انقلابي ثلاثي التماثل ، أو على مجموعة من محور واحد ثلاثي التماثل ، وثلاثة محاور ثنائية التماثل ، أو ثلاثة مستويات تماثل ، أو كليهما. معنى ذلك أن فصيلة الثلاثي تضم خمسة نظم بلورية. وعلى هذا الأساس وجد أن الفصائل البلورية لاسبعة

تضم ٣٢ نظاما بلوريا ، وفي كل فصيلة يوجد نظام واحد يحتوي على أعلى تماثل بين النظم التابعة لهذه الفصيلة. ويعرف هذا النظام باسم النظام الكامل التماثل.

وسوف نكتفي في مناقشاتنا الحالية بدراسة النظام الكامل التماثل في كل فصيلة بالتفصيل ، أما النظم الأقل تماثلا في كل فصيلة فسوف نشير إليها في أول الحديث عن الفصيلة. ويجدر بنا أن نشير في هذا المقام إلى أن بعض المؤلفين في بعض الدول يعتبرون فصيلة الثلاثي قسما تابعا لفصيلة السداسي ، وهذا يعني ستة فصائل بلورية فقط ، ولكن العدد الكلي لمجموعات التماثل المختلفة (النظم البلورية) موزعة على هذه الفصائل الستة بعينة نفس العدد (٣٢) الذي يضمه التصنيف إلى سبعة فصائل.

المحاور البلورية Crystallographic axes

المحاور البلورية هي عبارة عن ثلاثة خطوط تصورية أو خيالية ، شكل (٢٤) ، (أربعة في فصيلتي السداسي والثلاثي) والتي يمكن رسمها داخل البلورة بحيث تتقاطع في مركز البلورة (مركز النقل) ، وتعمل كخطوط ترجع إليها كلما أردنا وصف مواضع الأوجه البلورية (كل وجه لابد أن يقطع واحدا أو أكثر من هذه المحاول البلورية على مسافة معينة من المراكز.(

واتجاهات المحاور البلورية محددة على البلورة بواسطة العناصر التماثلية الموجودة ، إذ غالبا ما يكون محور التماثل محورا بلوريا وخصوصا بالنسبة للمحور البلوري الرأسية (ج) الذي يمثل في غالبية الأحوال المحور الأكثر تماثل. وينتج عن تقاطع المحاور البلورية ما يسمى بالمتقاطع البمحوري Axial cross ، وبرمز إلى وحدات المحاول البلورية إذا كانت متساوية بالرموز ١١١. أما إذا كانت الوحدات التماثلية مختلفة الأطوال فإنه يرمز إليها بالرموز أ ، ب ، ج ، حيث أ هو المحور الممتد من

الأمام إلى الخلف (الاجاه س) ، ب المحور المتد من اليمين إلى اليسار (الاتجاه ص) ، ج هو المحور الممتد رأسيا (الاجاه ع). ونفرق أطوال هذه الحاول باوسطة استعمال الاشارات الموجبة (+) ، والسالبة (-) ، شكل (٢٤).

وينتج عن تقاطع هذه المحاول الثلاثة زوايا تعرف باسم الزوايا المحورية ، وهي زاوية ألفا (α) بين بن ، ج ، وزاوية بيتا (β) بين أ ، ج ، وزاوية جاما (δ) بين أن ، ب.

وعلى أساس أطوال وحدات المحاور البلورية ، والزوايا بين هذه المحاول ، يمكننا لتمييز بين الفصائل البلورية السبعة كما هو مبين في الجدوذ: اسم الفصيلة الزوايا بين المحاور طول الوحدة في الاتجاهات δ β α س ص) ط (ع الطول الواحد المكعب 90 90 90أ أ أ السداسي 120 90 90 أ أ أ ج الطولين الرباعي 90 90 90 أ أ ج الثلاثي 90 ≠ δ =β= αأ أ أ ج الأطوال الثلاثة المعيني القائم 90 90 90 أ ب ب ج الميل الواحد 90 90< 90 أ ب ب ج الميول الثلاثية 90 90< 90 < أ ب ب ج

جدول (٢) الفصائل البلورية وخواصها

وتبين الأشكال (٢٥) إلى (٣١) ، المحاور البلورية المميزة لكل فصيلة بلورية ، ومثالات من بلورات المعادن التي تنتمي إليها هذه الفصيلة. والوحدة البنائية لهذه الفصيلة.

ويجدر بنا الإشارة في هذا المكان إلى أن المحور البلوري ج هو دائما محور سداسي التماثل في فصيلة لاسداسي ، ورباعي التماثل في فصيلة الرباعي ، وثلاثي التماثل في فصيلة الثلاثي . وتختلف فصيلة الثلاثي عن السداسي ، بجانب الاختلافات السابقة ، في أن فصيلة الثلاثي لا تحتوي بلوراتها على مستوى تمثالي أفقي.

تعليمات بشأن اختيار المحاور البلورية : (في النظم الكاملة التماثل(

فصيلة المكعب: المحاور الرباعية التماثل هي المحاور البلورية.

فصيلة السداسي: المحور السداسي التماثل هو المحور ج ، وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هي المحاور ١ أ ١ ، أ٢ ، أ٣.

فصيلة الرباعي: المحور الرباعي التماثل هو المحور ج ، وأطول محورين ثنائي التماثل هما ، المحورات أ١ ، أ٢.

فصيلة الثلاثي: المحور الثلاثي التماثل هو المحور ج ، وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هي المحاور أ١ ، أ٢ ، أ٣.

فصيلة المعيني القائم: الثلاثة محاور الثنائية التماثل هي المحاور البلورية ، وفي العادة يختار ج أطول من ب ، وب أطول من أ.

فصيلة الميل الواحد : المحور الثنائي التماثل هو المحور ب ، يختار بعد ذلك المحور ج موازيا لحروف أربعة أوجه متشابهة تماما والتي تعتبر مكونة للشكل المنوشري ، وبعد ذلك يختار المحور أ موازيا للسطحين الذين يقطعان أوجه المنشور بزاوية تقرب من القائمة.

فصيلة الميول الثلاثة: ابحث عن ثلاثة أزواج من السطوح المتوازية التي تتقاطع مع بعضها بزوايا تقرب من القائمة والتي تحد الفراغ كعلبة كبريت مشوهة ، وتختار المحاور البلورية موازية لهذه الأسطح (كل محور موازي لمجموعتين من هذه المجموعات الثلاث) (كل مجموعة تتكون من سطحين). غالبا يكون ج<ب<أ.

الأوجه البلورية ، التقاطعات ، الاحداثيات ، الأدلة

عندما نريد وصف الأوجه البلورية فإنه يكون لزاما علينا أن نحدد مواضع هذه الأوجه بالنسبة للمحاور البلورية. فالذي يهمنا في الدراسات البلورية هو اتجاه ميل الوجه وليس شكله أو حجمه ، وكما سبق أن قلنا إنه ينتج من الاتجاهات الثابتة للأوجه زوايا ثابتة مميزة. تعرف باسم الزوايا بين الوجهية ، فكذلك ينتج من اتجاه ميل وجه البلورة أن الوجه قد يقطع المحاور البلورية الثلاثة ، أو يقطع محورين ويوزاي الثالث ، أو يقطع محورا واحدا ويوازي الاثنين الآخرين. ويظهر كل تقاطع – بين الوجه والمحور البلوري – على مسافة معينة من مركز البلورة ، شكل (٣٢). وتعرف هذه المسافة التي يمكن قياسها بالملليمترات أو السنتيمترات باسم تقاطع الوجه بالمحور اللوري. وعلى هذا نجد أن في البلورات الكبيرة يكون التقاطع أكبر منه في البلورات الصغيرة. لأن قيمة التقاطع في هذه الحالة تتوقف على فرصة البلورة في النمو وعلى ذلك نجد أنه من المستحب ومن الأفضلأن نلجأ إلى طريقة لوصف الأوجه البلورية لا تعتمد بالمرة على حجم البلورة الذي توجد عليه في الطبيعةتز مثل هذه الطريقة موجودة ، وفيها لا نستعمل المسافة المطلقة من المركز إلى الوجه وإنما المستعمل المسافة النسبية التي تقاس بالنسبة إلى طول الوحدة على كل محور بلوري. هذا يعني أننا لابد أن نختار أولا وجها بلوريا يقطع جميع المحاور الثلاثة ويحدد ذلك طول اوحدة على كل من هذه المحاور ،ويعرف هذا الوجه باسم وجه الوحدة ، وبعدج ذلك يمكننا أن نعبر عن تقاطعات جميع الأوجه البلورية الأخرى في هيئة نسبة إلى تقاطعات وجه الوحدة.

مثلا في بلورة لمعدن التوباز ، فلوروسليكات الألومنيوم ، نجد أن تقاطعات وجه الوحدة ، أ ، ب ، ج شكل (٣٢) ، هي ١.٣٥٤ مم ، ٢.٥٦٢ مم ، ١.٢٤٢ مم على المحاول أ ، ب ، ج على التوالي. ولما كانت هذه الوحدات – مقاسة على هذا النحو بالملليمترات – تدل على الحجم ، وتتغير تبعا لتغيره ، فإننا نتجنت استعمال مثل هذه الوحدات الحجمية.

وذلك بأن نقسم كل قيمة من قيم هذه التقاطعات على قيمة التقاطع على المحور ب ، وينتج عن ذلك تقاطعات قيمة (بالنسبة إلى ب) بدلا من التقاطعات المطلقة ، هكذا ٢.٥٦٢/١.٣٥٤ = ٠.٥٢٨ ، ٢.٥٦٢/٢.٥٦٢= ١.٠٠ ، ٢.٥٦٢/١.٢٤٢= ٠.٤٧٧

وعلى ذلك يمكننا تعريف التقاطعات النسبية بأنها عبارة عن التقاطعات الناتجة من قسمة كل تقاطع على ب. وفي المثال المذكور تكون التقاطعات النسبية هي ٠.٤٧٧:١:٠.٥٢٨. ولما كانت هذه النسبة هي نسبة طول الوحدات على المحاور البلورية كما حددها وجه الوحدة.

فإنها تعرف أيضا باسم النسبة المحورية (أي نسبة أ:ب: ج = ٠.٤٧٧:١:٠.٥٢٨). وهي نسبة غير متساوية ، أي أن بلورة التوباز تتبع إحدى الفصائل التالية ، المعيني القائم ، أو الميل الواحد ، أو الميول الثلاثة. ولكن لما كانت الزوايا المحورية الثلاثة قائمة ، فالبلورة إذن تتبع فصيلة المعيني القائم. ونلاحظ في هذه الحالة أن المسافات السابق قياسها للتقاطعات (بالملليمترات) قد تفاديناها باستعمالنا للنسبة التي يكون فيها تقاطع ب يساوي دائما ١ (واحد) (لأننا نقسم دائما المسافات المطلقة على مسافة ب لتنتج هذه النسبة.(

أما احداثيات الوجه البلوري (البارامترات) ، فهي عبارة عن رموز تدل على التقاطعات النسبية لهذا الوجه مع المحاور البلورية ، أي نسبة التقاطعات النسبية لهذا الوجه إلى التقاطعات النسبية لوجه آخر.

احداثيات الوجه = التقاطعات النسبية لهذا الوجه/ التقاطعات النسبية لوجه آخر.

ولما كان وجه الوحدة قد أختير ليقطع المحاور البلورية عند أطوال الوحدة إن احداثياته تكون أ:ب:ج (مفهوم أن الرقم ١ يسبق كل من هذه الحروف لأننا لا نكتب ١أ:اب:١ج.(

في شكل (٣٢) تقاطعات وجه الوحدة أ ، ب ، ج . ولنأخذ وجها آخر وليكن هـ ، ب ، و موجودا على بلورة التوباز أيضا. هذا الوجه له التقاطعات الآتية ٠.٦٧٦ مم ، ٢.٥٦٢ مم ، ٢.٤٤٤ مم على المحاور أ ، ب ، ج على التوالي ، فإذا قسمنا هذه التقاطعات على تقاطع ب فإنه ينتج عن ذلك التقاطعات النسبية الآتية: ٠.٥٦٢/١.٦٧٦ : ٢.٥٦٢/٢.٥٦٢ : ٢.٥٦٢/٢.٤٤٤ ، أي ٠.٩٥٤ :١: ٢.٦٤. ثم إذا قسمنا هذه الأرقام (التقاطعات النسبية للوجه) على التقاطعات النسيبة لوجه الوحدة فإنه ينتج عندنا النسبة الآتية: ٠.٥٢٨/٠.٢٦٤ = ٠.٥ ٠.٠٠٠/١.٠٠٠ =١ : ٠.٤٧٧/٠.٩٥٤ = ٢

هذه الأرقام الأخيرة ١.٥ : ١ب:٢ج هي احداثيات الوجه الثاني هـ ، ب ، و ، وعندما يكون الوجه البلوري موازيا لأحد المحاور البلورية ، أي أنه لا يقطعه فإن الرمز ∞ (مالا نهاية) يستعمل في احداثياته.

ومن ذلك نرة أن الوجه البلوري إما أن يقطع المحور على مسافة معينة ، أو يكون موازيا له. وينتج عن ذلك أن الاحداثيات الممكنة في جميع الفصائل البلورية لا تتعدى سبعة احداثيات أساسية هي أ: ب : ج ، ∞أ: ب: ج ، أ: ∞ب: ج ، أ : ب: ∞ج ، ∞أ : ∞ب: ج ، ∞أ: ب : ∞ج ، أ: ∞ب: ∞ج.

وفي شكل (٣٣) نشاهد وجه الوحدة له الاحداثيات ١أ: ١ب: ١ج. أما في شكل (٣٤) فنشاهد بلورة بها وجه الوحدة ١أ: ١ب: ١ج يقطع المحاور البلورية في مسافات الوحدة ، ووجه آخر له الاحداثيات ١أ: ١ب: ∞ج ، موازي للمحور الرأسي ج.

ويسمى كل من هذه الاحداثيات تبعا للفصيلة البلورية أو حسب عدد الأوجه التي يتطلبها التماثل في هذه الفصيلة ، فمثلا يعرف أ: ب : ∞ج في جميع الفصائل البلورية باستثناء

المكعب ، باسم منشور ويوصف كمنشور رباعي أو منشوري معيني قائم ، شكل (٣٤) ، تبعا للتماثل والفصيلة البلورية التي تنتمي إليها البلورة.

الأدلة(Indices) جمع دليل:

وهذه عبارة عن تعبيرات أو رموز مختصرة ومبسطة اشتقت من احداثيات الشكل البلوري ، وتستعمل عادة بدلا من الاحداثيات لتعبر عن علاقة الوجة او الشكل البلروي (مجموعة أوجه متشابهة) بالمحاور البلورية. وهناك أكثر من نوع من الأدلة ، وسوف نستعمل في دراستنا البلورية أدلة ميلر Miller indices ، لأنها الأكثر استعمالا. وتشتق أدلة ميلر من احداثيات الشكل البلوري بأن نأخذ مقلوب الاحداثيات ثم نتخلص من الكسور إن وجدت. فنجد أن دليل وجه الوحدة (أو احداثياته أ:ب:ج). هو ٠.٥أ:٠.٥ب:٠.٥ج أو (١١١) ، سواء أكانت البلورة مكعبا أو ميول ثلاثة: وسواء أكانت التقاطعات التي يعملها الوجه على المحاور متساوية أم غير متساوية.

وفي البلورة السابق التحدث عنها ، وهي بلورة التوباز نجد أن:

احداثيات الوجه هـ ، ب ، و ، هي ٠.٥أ: ب:٢ج

الدليل (مقلوب الاحداثيات(هو ٢أ:ب: ٠.٥ج

ويعطي التخلص من الكسور ٤أ:٢ب:ج

وعلى ذلك يكون دليل هذا الوجه والشكل التابع له هو ٤أ:٢ب: ج ، وعادة تحذف الحروف الدالة على المحاور البلورية المختلفة ، ويكتب الدليل مبسطا هكذا ١٢٤ ، وينطق أربعة اثين واحد ، ويكون دائما بالترتيب أ ثم ب ثم ج.

والتعبير العام للدليل أي شكل بلوري هو (هـ ك ل) ، مع ملاحظة أن هـ تشير دائما إلى المحور س (الوحدة أ) ، ك تشير إلى المحور ص (اغلوحدة ب) ، ل تشير إلى المحور ع (الوحدة ج). وتبين لنا الأمثلة التالية العلاقات بين الاحداثيات والأدلة:

الأحداثيات الأدلة ٥.٠أ: ∞ب: ١ج2 = أ: ١/∞ب:١ج= ١٠٢ ١أ: ∞ب:٢ج1 = أ: ١/∞ب: ٥.٠ج= ١٠٢ -٥.٠أ:-٥.٠ب:١ج1 2 2 =

ويتضح من هذه الأمثلة أن الأدلة عبارة عن أعداد صحيحة ، وعادة صغيرة ، كما أ، النسب بين تقاطعات الأوجه المختلفة على المحور الواحد في البلورة نسب عددية بسيطة. أي كنسبة ١ :١ : ٢ ، ١ ، ٢ ، ٣. ولكن لا يمكن أن تكون ١: √٢. وتعرف هذه العلاقة باسم قانون الأدلة النسبية.

والسبب في هذا التحديد هو الترتيب والنظام في بناء البلورة. فكما أن الأوجه البلورية تعتمد اعتمادا مباشرا على الترتيب الذرات داخل بناء البلورة ، فكذلك تتكون مواضعها الممكنة على البلورة محددة تماما. وعليه فإن تقاطعات أي وجه على المحاور البلورية يمكن التعبير عنها بواسطة مضاعفات عددية بسيطة لطول الوحدات المحورية الأساسية (أي ثلاثة أمثال أو أربعة أمثال ، أو نصف ، الخ ، ولكن لا يمكن أن تكون √٢ لأن قيمة الجذر غير ثابتة ، فقد تساوي ١.٤ أو ١.٤١ أو أو ١.٤١٤ ، وهذا يتنافى مع البناء المنظم للبلورة وثبات المسافات بين الذرات في أي اتجاه.(

وفي فصيلتي الثلاثي ولاسداسي ، التي لبلوراتها ٣ محاور بلورية ، يتحول التعبير العام إلى (هـ ك و ل) وفيه تشير إلى الطرف السالب للمحور ط (الوحدة أ٣) وتساوي قيمة و قيمة هـ + ك أي أن و = هـ + ك.

الشكل البلوري Crystal form

ويتكون من مجموعة الأجوه البلورية المتشابهة (شكلا وحجما) الموجودة على نموذج البلورة. فمثلا البلورة المبينة في شلك (٣٣) يوجد بها شكل بلوري واحد فقط ، أم البلورة المبينة في شكل (٣٤) فيوجد بها شكلان بلوريان ، أما على البلورة الطبيعية (حيث الاوجة مشوهة) فيتكون الشكل البلوري من جميع الأوجه البلورية التي لها رمز واحد (مجموة الأحداثيات أوالدليل). وفي هذه الحالة يجب أن ندخل عناصر التماثل في اعتبارانا. أو بعبارة أخرى يتكون الشكل البلوري من مجموعة من الأوجه التي يستلزم وجودها عناصر التماثل في البلورة وذلك إذا وجد على البلورة وجه واحد من هذه الأوجه ، فمثلا في بعض الفصائل البلورية ذات التماثل العالي نجد أن (١١١) ، (١١١¯) يتتبعان شكلا بلوريا واحدا ، وفي فصائل أخرى ذات تماثل منخفض نجد أن (١١١) ، (١١١¯) لا يتبعان شكلا بلوريا واحدا. ولكن يتبعان شكلين مستقلين . والسبب في ذلك أنه في الحالة الاولى يوجد مستوى تماثل أفقي يعكس الوجه (١١١) ، (١١١¯) ، أما في الحالة الثانية فلا يوجد مستوى تماثل أفقي وبذلك لا يرتبط الوجه (١١١) بالوجه (١١١¯) بآية رابطة ، ويتبع الوجهان شكلين إثنين.

رمز الشكل: Form symbol

وهو عبارة عن دليل أحد أوجه الشكل البلوري الذي له أبسط علاقة مع المحاور البلورية. ويكتب رمز الوجه بين قوسين صغيرين هكذا ( ) مثل (٣٢١) ، أما رمز الشكل فيكتب بين قوسي كبيرين هكذا { } ، مثل {٣٢١.{

الشكل الكامل الأوجه :bolobedral form هو المجموعة الكاملة لجميع الأوجه الممكنة على البلورة التي لها نفس الأحداثيات والتي لها أوضاع هندسية متشابهة بالنسبة للمحاور البلورية ، شكل (٢٥-ب.(

أما شكل نصف الأوجه :Bemibedral form فيتكون من نصف الأوجه التي يتطلبها التماثل التام ، ويشتق من الشكل الكامل بأن يترك الأوجه المتبادلة ، شكل (٣٥ – أ ، ج.(

الشكل المفتوح :Open form هو الشكل البلوري الذي لا تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها. ومن أمثلته الأوجه الأربعة لشكل المنشور. شكل (٣٦.(

أما الشكل المقفول :closed form فهو الشكل البلوري الذي تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها. ومن أمثلة الأوجه الستة المكونة لشكل المكعب ، شكل (٣٧.(

مجموعات الأشكال: Combinations of form

في كثير من الحالات نجد أن الأوجه التي تظهر على البلورة لا تنتمي إلى شكل بلوري واحد ، بل إلى عدة أشكال ، شكل (٣٤). أي أن هذه الأشكال تتكون مرة واحدة على البلورة ، وفي هذه الحالة ينتج ما يعرف باسم مجموعات الأشكال.

فصيلة المكعب أو متساوي الطولCubic or Isometric System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاث محاور بلورية متساوية ومتعامدة ، تمسك البلورة بحيث يكون أحد المحاور الثلاثة عموديا والثاني يمتد من اليمين إلى

اليسار والثالث يمتد من اليمين إلى اليسار والثالث يمتد من الأمام إلى الخلفز ولما كانت هذه المحاور الثلاثة متساوية في طول وحداتها متعامدة فإنه لا يمكن تمييز إحداها عن الآخر ، ولذلك يرمز لها بالرمز أ ، (شكل ٣٨.(

وتضم فصيلة المكعب خمسة نظم بلورية موضحة في جدول (٤.(

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن سداسي الثماني الأوجه/34 م ٣ ٤ ٢ ٦ /م ن فلوريت CaF2 الأربعة وعشرون وجها مخمسا -- 6 2 4 3 3 4 سداسي الرباعي الأوجه 4 3 3 4 م ٦ سفاليريت ZnS الإثناء عشر وجها مزدوجا/ 3 2 م ٣ ٤ ن بيريت FeS2 رباعي الأوجه ذو الإثنى عشر وجها مخمسا 4 3 2 2 كربالتيت CoAsS

جدول (٤): النظم البلورية في فصيلة المكعب

النظام العادي أو سداسي الثماني الأوجهNorma of Hexoctabedral

التماثل

قانون التماثل الكامل: ٤ ٣/م ٣ ٤ ٢ ٦/م ن

المحاور التماثلية: لبلورات هذا النظام ١٣ محورا تماثليا ، أشكال (٣٩ ، ٤٠ ، ٤١) بيانها كالتالي: ثلاثة محاور رباعية التماثل ، وهذه تنطبق على المحاور البلورية شكل (٣٩.(

أربعة محاور ثلاثية التماثل ، وهي تميل على المحاور البلورية ، شكل (٤٠.(

ستة محاور ثنائية التماثل موجودة في المستويات التماثلية المحورية (المستويات التي تشمل المحاور البلورية) ومنصفة الزوايا التي بين المحاور البلورية ، شكل (٤١.(

المستويات التماثلية : توجد في هذا النظام تسعة مستويات تماثلية. ثلاثة منها موازية لمستويات المحاور البلورية بوالتالي تكون متعامدة على هذه المحاور ، شكل (٤٢). هذه المستويات التماثلية المحورية ، وهي تقسم الفراغ إلى ثمانية أجزاء متساوية يعرف كل جزء منها بالثمن. أما المستويات الستة الأخرى فإن كلا منها يوجد موازيا لاحد المحاور البلورية ومنصفا للزاوية التي بين المحورين الآخرين ، شكل (٤٣) ، وعلى ذلك فهي تقسم الفراغ إلى ٢٤ جزءا متساويا ، وتقسم المستويات التماثلية التسعة مكتملة الفراغ إلى ٤٨ جزءا متساويا.

مركز التماثل: يوجد في هذا النظام مركز تماثلي ، وينتج عن ذلك أن يكون لكل وجه بلوري وجه مقابل موازي له.

الأشكال البلورية:

تسمى الأشكال المكعبة بأسماء خاصة حسب عدد الأوجه التي تكون كل شكل.

ثماني الاوجه: يتكون هذا الشكل البلوري – كما يدل عليه اسمه – من ثمانية أوجه ، كل وجه يميل ميلا متساويا على المحاور البلورية الثلاثة ، وعلى ذلك تكون احداثياته هي ١:١:١ والدليل {١١١}. وكل وجه عبارة عن مثلث متساوي الأضلاع.

الإثناء عشر وجها معينا : شكل (٤٥): يتكون من إثني عشر وجها ، يقطع كل وجه إثنين من المحاور البلورية على نفس المسافة ، ويمتد موازيا للمحور الثالث ، وعلى ذلك تكون الاحداثيات أ:أ:∞أ ، والدليل هو {٠١١}. وعندما يكون هذا الشكل نموذجيا نجد أن كل وجه عبارة عن معين متساوي الأضلاع ، وتمر المحاور البلورية بالزوايا المكونة من أربعة أوجه ، أما المحاور الثلاثية فتمر بالزوايا الناتجة من تقابل ثلاثة أوجه ، تصل المحاور ثمانية التماثل بين مراكز الأوجه المتقابلة.

سداسي الأوجه أو المكعب: شكل (٤٦): تقطع أوجه هذا الشكل محورا بلوريا واحدا وتوازي المحورين الآخرين ، وعلى ذلك تكون الأحداثيات أ: ∞أ: ∞أ والدليل هو {٠٠١} ، ويكون شكل الوجه على بلورة نموذجية مربعا حيث تمر المحاور البلورية بمراكز هذه الأوجه أم المحاور الثلاثية التماثل الإثنى عشر حرفا بين هذه الأوجه حيث يصل كل محور بين منتصف حرفين.

ثلاثي الثماني الأوجه ، شكل (٤٨) ، تقطع أوجه هذا الشكل اثنين من المحاور البلورية على مسافتين متساويتين. أما تقاطع المحور الثالث فعلى مسافة أطول ، تكون الأحداثيات إذا أ:أ:مأ ، حيث م عبارة عن عدد نسبي أكبر من الواحد ولكن أقل من مالا نهاية.

< ∞)م .(1<وينتج عن ذلك أنت يكون الدليل {هـ هـ ل} حيث هـ < ل مثل {١٢٢} ، ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجها ، كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوي الساقين.

الأربعة وعشرون وجها: (شبه المنحرف المكعبي) ، شكل (٤٩): يتكون هذا الشكل من أربعة وعشرين وجها ، كل وجه عبارة عن شبه منحرف يقطع أحد المحاور البلورية على مسافة تساوي الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين متساويتين أكبر من الوحدة "م أ" حيث < ∞ م < ا ، الأحداثيات هي ١: م ١: م ١ ، والدليل عو {هـ ل ل} حيث هـ < ل مثل {١١٢} ، وتصل المحاور البلورية بين الزوايا المكونة من ثلاثة أوجه ، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تميل بين المحاور البلورية.

رباعي السداسي الأوجه ، شكل (٤٧): نجد في هذا الشكل البلوري أن كل وجه يقطع محورا بلوريا على مسافة تساوي الوحدة ، والثاني على مسافة أكبر مقدارها م١ حيث

< ∞م < ا ، ويوازي المحور الثالث. وتكون الأحداثيات إذا ١: م: ∞١ ، والدليل هو {هـ ل .} مثل {٠١٢}. ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجها ، موزعة بحيث تحل كل أربعة أوجه محل وجه في شكل سداسي الأوجه ، ويكون كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوي الساقين. وتصل المحاور البلورية في هذا لاشكل بين الزوايا الست الناتجة من تلاقي أربعة أوجه لكل منها ، بينما تصل المحاور ثلاثية التماثل بين الزوايا المكونة من ستة أوجه ، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تصف الأحرف الطويلة.

سداسي الثماني الأوجه ، شكل (٥٠) ، يتكون هذا الشكل من ٤٨ وجها ، كل ستة أوجه تكونت مكان وجه من أوجه شكل الثماني الأوجه ، ويقطع كل وجه أحد المحاور البلورية على مسافة مقدارها الوحدة ، والمحورين الآخرين على مسافتين غير متساويتن نأ ، مأ على التوالي ، حيث ن أصغر من م ، وحيث< ∞ م< أ ، إذا الأحداثيات هي (أ: ن أ: مأ) ، والدليل هو {هـ ك ل} ، حيث هـ < ك < ل مثل {١٢٣} أو {١٣٥}. وتمر المحاور البلورية بالزوايا الناتجة من تلاقي ثماني الأوجه ، وكل وجه في هذا الشكل عبارة عن مثلث غير متساوي الأضلاع.

=مجموعات الأشكالCombinations of forms

في كثير من الأحوال توجد الأشكال البسيطة سالفة لاذكر مجتمعة مع بعضها البعض على البلورة الواحدة ، فقد يجتمع شكلان أو ثلاثة أو أربعة أو أكثر من ذلك على البلورة الواحدة ، ونتيجة لهذا التجمع قد يختلف شكل الوجه في المجموعة عنه إذا كان منفردا ، ومن أمثلة مجموعات الأشكال في هذا النظام مايلي:

ثماني الأوجه والإثنا عشر وجها معينا ، شكل (٥١).

ثماني الأوجه والمكعب ، شكل (٥٢ ، ٥٣ ، ٥٤).

مكعب ورباعي السداسي الأوجه ، شكل (٥٥.(

ثماني الأوجه والإثناء عشر وجها معينا والمكعب ، شكل (٥٦.(

الإثنا عشر وجها معينا والأربعة وعشرون وجها منحرفا ، شكل (٥٧.(

الإثناء عشر وجها معينا وثلاثي الثماني الأوجه ، شكل (٥٨.(

أمثة من المعادن

ماجنتيت Magnetite (Fe3O4) ، شكل (٥١) ، فرانكلينيت Franklinite (Fe2O4)، جالينا Galena (PbS) ، شكل (٥٢ ، ٥٣ ، ٥٤) ، فلوريت Flourite (CaF2)، هاليت Halite (NaCl) ، جارنت Garnet (Fe3Al2Si4O2) ، يورانينيت Uraninite (UO2) ، النحاس (Cu) ، أرجنتيت Argentite (AfS2) ، أنالسيت Analcite (NaAlSi2O) ، لوسيت .Leucite (KAlSi2O2) ويلاحظ بصفة عامة أن شكل المكعب يغلب تواجده على بلورات الهاليت والفلوريت بينما يغلب شكل ثماني الأ،جه على بلورات الماجنتيت والفرانكلينيت. أما شكل الإثنى عشر وجها معينا فيغلب تواجده على بلورات الجارنت ، بينما يغلب وجود شكل الأربعة وعشرون وجها منحرفا على بلورات اللوسيت والأنالسيت والجارنت.

مميزات البلورات المكعبية

تتميز البلورات المكعبية غير المشوعة بتساوي أبعادها في اتجاهات ثلاثة متعامدة على بعضها البعض ، وهذه الاتجاهات الثلاثة هي المحاور البلورية. وكذلك تتميز البلورات المكعبية جميعها بوجود أربعة محاور ثلاثية التماثل. وتظهر البلورات بعدد كبير من الأوجه المتشابهة إذ أن اقل عدد من الأوجه يتبع شكلا واحدا هو ستة في نظام سداسي

الثماني الأوجه. وكل شكل بلوري يمكن أن يكون بلورة بمفرده ، أي أنه عبارة عن شكل مقفول.

فصيلة السداسي Hexagonal System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها أربعة محاور بلورية ، ثلاثة منها متساوية في الطول وتقع في مستوى فقي وتتقاطع بزوايا قدرها ١٢٠ جرجة ، أما المحور الرابع فمختلف عنها في الطول (إما أن يكون أطول أو أقصر) ، ويمتد رأسيا (أي متعامدا على المحاور الأفقية) ، ويرمز إلى المحاور الأفقية بالرموز أ١ ، أ٢ ، أ٣ ، أما المحور الرأسي فهو المحور ج ، شكل (٥٩.(

ولما كانت فصيلة الثلاثي لها نفس العدد من المحاور البلورية ، فإن بعض المؤلفين يضم البلورات الثلاثية والدساسية في فصيلة واحدة هي فصيلة لاسداسي ، ولكن نظرا للفارق الأساسي في البناء الضري ، وهو أن المحور الأساسي للتماثل هو سداسي في بلورات السدسي وثلاثي في بلورات الثلاثي ، وأن بلورات الثلاثي لا تحتوي على مستوى تماثل أفقي بالمرة ، فإننا نجد أنه من الأكثر صوابا أن ندرس البلورات السداسية كفصيلة بذاتها ، مستقلة عن فصيلة الثلاثي التي تشمل البلورات الثلاثية.

وتعرف نسبة طول الوحدات على المحور ج إلى أ بالنسبة المحورية ج:أ ، وهي مميزة لكل بلورة سداسية . فمثلاة بلورة معدن بيرل لها نسبة محورية ج:أ = ٠.٩٩٦ ، أما في معدن بيروتيت فنجد أن النسبة المحورية ج:أ = ١.٦٥٠.

وتمسك البلورة السداسية بحيث يكون المحور الرأسي ج دائما محورا سداسي التماثل (دوراني أو انقلابي). ويمتد المحور أ٢ موازيا لماسك البلورة من اليمين (+) إلى

اليسار (-). أما المحور أ١ ، فيمتد من الأمام ناحية اليسار (+) إلى الخلف ناحية اليمين (-). أما الطرف الموجب من المحور أ٣ فيقع في الخلف إلى اليسار بينما طرفه السالب يقع في الأمام إلى اليمين. شكل (٥٩.(

جدول رقم (٥) النظم البلورية في فصيلة السداسي

مثال من المعدن	قانون التماثل الكامل	النظام
بيريلBe3Al2Si6O18	/6م ٢ ٦/م ن	الهرم المنعكس السداسي المزدوج
كوارتز عالي الحرارة	6 2 3 2 3	شبه المنحرف الأوجه السداسي
بنيتويتBatiSi8O9	3 2 6م ٣	الهرم المنعكس الثلاثي المزدوج
زنكيتZnO	/6م ن	الهرم السداسي المزدوج
أباتيت	3	الهرم المنعكس السداسي
--	6	الهرم المنعكس الثلاثي
نيفيلين		الهرم السداسي

النظـام العـددي أو نظـام الهـرم المـنعكس السداسـي المـزدوج Dihexagonal Bipyramidal Class

التماثل

قانون التماثل الكامل: ٦/م ٢ ٣/م ٢ ٣/م ن ، شكل (٦٠.(

المحـاول التماثليـة: المحـور ج هو محـور سداسـي التماثـل . وتوجـد ثلاثـة محـاور أفقيـة ثنائية التماثل تنطبق على المحـاور البلوريـة أ. وكذلك توجد ثلاثـة محـاور أخرى ثنائيـة التماثل تنصف الزوايا بين المحاور البلورية أ١ ، أ٢ ، أ٣ ، شكل (٦٠.(

المستويات التماثلية: يوجد في هذا النظـام سبعة مستويات تماثليـة بياتهـا كـالآتي ، شكل (٦:(

مستوى تماثل أفقي يشمل المحاور البلورية ثلاثة مستويات تماثلية رأسية يشمل كل منها المحور الرأسي ج وأحد المحاور البلورية الأفقية. ثلاثة مستويات تماثلية رأسية تنصف الزوايا بين المستويات الرأسية السابقة (المستويات التماثلية المحورية.(

مركز التماثل: يوجد مركز تماثل في بلورات هذا النظـام ويتطلب أن يكون لكل وجـه وجه آخر مقابل له.

الأشكال البلورية

ملاحظـة: سوف نستعمل كلمـة مزدوج di ، مثل سداسـي dihexagonal ، لوصـف الأشكال التي تتكر أوجهها اثنين اثنين حول المحور التماثلي ، أمـا الأشكال التـي تتكـرر

أوجهها بالنسبة للمستوى التماثلي فسوف نصفها بكلمة منعكس bi ، مثل هرم منعكس bipyramid، نسبة إلى الانعكاس خلال مستوى التماثل الأفقي.

الأهرامات المنعكسة bipyramids ، وهي عبارة عن أشكال مقفولة تقطع أوجهها المحور ج بصفة أساسية وبعض أو كل المحاور الأفقية. توجد ثلاثة أنواع من الأهرامات المنعكسة السداسية.

هرم منعكس سداسي من الرتبة الأول (أو هرم منعكس وتري ، شكل (٦١) ، يتكون هذا الشكل من ١٢ وجها لها الأحداثيات (أ: ∞ أ : أ: م ج). أو بمعنى آخر تقطع محورين متجاورين أ (تصل بينهما مثل الوتر) شكل (٦٥) ، وتمتد موازية للمحور الأفقي الثالث وتقطع المحور الرأسي ج فإذا كان التقاطع على المحور ج مساويا لطول الوحدة فإن الدليل يكون في هذه الحالة {١١٠١} ، وهذا هو هرم الوحدة Unit pyramid.أما الدليل العام لهذا الشكل فهو {هـ هـ ل.{

هرم منعكس سداسي من الرتبة الثانية ، شكل (٦٣) ، ويختلف هذا الشكل عن الهرم المنعكس السداسي من الرتبة الأولى في أنه عندما تمسك البلورة في القراءة الصحيحة (المحور أ٢ دائما موازي لماسك البلورة) ، فإنه يوجد في مواجهتك حرف وليس وجه بلوري ، وهذا يعني أن المحاور البلورية الأفقية عمودية منصفة للأحرف الأفقية (ويسمى لهذا السبب بالهرم المنعكس المتعامد) شكل (٦٦) ، ونجد كما في الشكل (٦٦) ، أن كل وجه بلوري في هذا الشكل يقطع أحد المحاور البلورية الأفقية في مسافة الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين أطول ، ولكن متساويتين ، وتكون الأحداثيات إذن (ن أ: ن أ : أ : م ج) والدليل هو {هـ هـ ٢ هـ ل} ، ويتكون هذا الشكل من ١٢ وجها في هيئة مثلثات متساوية الساقين تقفل الفراغ.

هرم منعكس سداسي مزدوج ، شكل (٦٧) ، تقطع أوجه هذا الشكل المحاور الأفقية الثلاثة أ٢ ، أ٢ ، أ٣ في مسافات غير متساوية ، وتكون الأحداثيات إذن هي (ن أ: ط أ: أ : م ج) ، شكل (٦٩) ، والدليل هو (هـ ك و ل). ويتكون هذا الشكل من ٢٤ وجها ، كل وجه منها في الحالة النموذجية يكون في هيئة مثلث غير متساوي الأضلاع ، ولكن المثلثات كلها متشابهة. في أحداثيات هذا لاشكل نجد أن ط = ن/١ – ن.

المنشورات Prisms ، وهذه عبارة عن أشكال مفتوحة يوازي الوجه فيها المحور ج ويقطع بعض أو كل المحاور الأفقية أ٢ ، أ٢ ، أ٣. وهناك ثلاثة أنواع من المنشورات تقابل الأنواع الثلاثة من الأهرامات سالفة لاذكر.

منشور سداسي من الرتبة الأولى (منشور سداسي ولري) ، شكل (٦٢) ، يمكن الحصول على أوجه هذا الشكل من أوجه الهرم المنعكس الذي له نفس الرتبة (الأولى في هذه الحالة) إذا جعلنا التقاطعات على المحور ج تأخذ أكبر قيمة لها ، أي قيمة مالانهاية. وينتج عن ذلك أن نختزل أوجه الهرم المنعكس الاثنتا عشر إلى ستة أ،جه فقط ، يقطع كل وجه منها محورين أفقيين في مسافة تساوي الوحدة ويمتد موازيا للمحور الأفقي الثالث ، ، يوزاي المحور ج ، (المنشور بحكم تعريفه يوازي المحور ج). ويكون هذا المنشور شكلا مفتوحا وفيه تصل المحاور الأفقية أ بين منتصف الحروف المتقابلة ، وينتج عن ذلك أن يكون في مواجهة ماسك البلورة وجها بلوريا. الأحداثيات (أ: ∞ أ: أ : ∞ ج) ، والدليل {١٠ ١ ٠.}

منشور سداسي من الرتبة الثانية (منشور سداسي متعامد) ، شكل (٦٤) ، نجد في هذا الشكل البلوري أن المحاور البلورية الأفقية أ٢ ، أ٢ ، أ٣ تصل بين مراكز الأوجه المتقابلة ، ويكون في مواجهة ماسك البلورة نتيجة لذلك حرفا. الأحداثيات هي (أ٢: أ٢:

١: ∞ ج) والدليل هو { ٠٢١١}. يتكون هذا الشكل من ستة أوجه لا تقفل الفراغ (شكل مفتوح.(

منشور سداسي مزدوج ، شكل (٦٨) ، شكل مفتوح ، ويتكون من ١٢ وجها يتساوى كل وجهين متبادلين فيه (أي واحد بعد واحد) في الزوايا والحروف. الأحداثيات (ن أ: ط أ: أ : ∞ ج) ، والدليل هو {هـ ك و} ، ويقابل هذا الشكل الهرم المنعكس السداسي المزدوج.

المسطوح القاعدي: وهو عبارة عن شكل مفتوح مكون من وجهين ، كل وجه يقطع المحور ج ويوزاي المحاور الأفقية أ. والأحداثيات (∞ أ : ∞ أ: ∞ أ: ج) والدليل هو {١٠٠٠}. يرى المسطوح القاعدي في الأشكال (٦٢ ، ٦٤ ، ٦٨) مجموعات مع المنشورات.

مجموعات الأشكال:

توجد على بعض البلورات مجموعة من الأشكال البلورية المختلفة فمثلا في بلورة بيريل Beryl ، شكل (٧٠) ، توجد مجموعة من هرم منعكس سداسي من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية ، ومنشور سداسي من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية ، ومسطوح قادعدي. وفي شكل (٧١) نلاحظ مجموعة أخرى من الأشكال على بلورة أخرى لمعدن البريل.

أمثلة من المعادن: يتبلون معدن بيريل Beryl (Be3Al2Si6O16) ، شكل (٧٠ ، ٧١) في هذا النظام الكامل التماثل. كذلك يتبلور في هذا النظام معادن مولبدينيت Molybdenite (MoS2)، بيروتيت.Pyrobotite (FeS)

مميزات البلورات السداسية:

تتميز جميع البلورات السداسية غير المشوهة في النظام كامل التماثل وفي معظم النظم الأقل تماثلا بالمظهر السداسي حيث يكون المحور الرأسي محورا دورانيا سداسي التماثل. ولكن في نظامين فقط قد تبدو البلورات ثلاثية المظهر حيث يكون المحور الرأسي محورا انقلابيا سداسي التماثل ، وفي هذين النظامين يكون هناك دائما مستوى تماثل أفقي يعكس (أو يكرر) الأشكال البلورية العليا إلى أشكال بلورية سفى (في النصف الأسفل للبلورة) [المعروف أن المحور الانقلابي السداسي يعادل محور دوراني ثلاثي متعامد على مستوى تماثل]. كما تتميز البلروات بأن أوجه الأشكال البلورية (باستثناء المسطوح القاعدي) ، تتكون عموما من ستة أوجه أو مضاعفات العدد ستة.

فصيلة الرباعي Tetragonal System

المحاور البلورية: تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية متعامدة ، إثنان منها متساويان في الطول ويقعان في مستوى أفقي والثالث مختلف عنها في الطول (إما أقصر أو أطول) وعمودي عليهما. ويرمز إلى المحورين المتساويين بالمرز أ١ ، أ ٢ ، أما المحور الرأسي فيرمز إليه بالرمز ج ، شكل (٧٢.(

وتعرف نسبة طول الوحدة على المحور ج إلى طول الوحدة على المحور أ بالنسبة المحورية ج:أ ، وهي مميزة لكل بلورة رباعية. فمثلا بلورة معدن كاسيتريت Vassitetite (SnO2)، لها نسبة محورية ج: أ = ٠.٦٧٢ (أي ج أقصر من أ) ، وفي الزركون Zircon (ZrSiO4) ، ج: أ = ٠.٨٩١ أما في معدن أناتيز Anatase (TiO2)، فنجد أن نسبة ج:أ = ١.٧٧٧ (أي ج أطول من أ). وتمسك البلورة الرباعية بحيث يكون المحور الرأسي ج دائما محور رباعي التماثل (دوراني أو انقلابي.(

وتشمل فصيلة الرباعي سبعة نظم بلورية (مثل فصيلة السداسي) ، كما يلي في جدول (٦):

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن الهرم المنعكس الرباعي/4 م ٢ ٤/م ن الزركون ZrSiO4 شبه منحرف الأوجه الرباعي 2 2 2 2 4 فوسجينيت (PbO)2CCl2O الوتد المنعكس الرباعي 2 2 2 2 4 كالكوبيربت CuFeS2 الهرم الرباعي المزدوج 4 م ٢ م ٢ ديابوليت PhCuCl2(OH)4 الهرم المنعكس الرباعي /4م ن شيليت CaWo4 الوتد الرباعي 4 كاهنيت الهرم الرباعي 4 ولفينيت PbMoO4

جدول (٦) النظم البلورية في فصيلة الرباعي

النظام العادي أو نظام الهرم المنعكس الرباعي المزدوج

التماثل

قانون التماثل الكامل: ٤/م ٢ ٢ /م ٢ ٢ /م ن أو ٤/م ٢ ٤ /م ن ، شكل (٧٣.(

المحاور التماثلية: يوجد محور واحد رباعي التماثل منطبق على المحور البلوري ج ، وأربعة محاور ثنائية التماثل ، إثنان منها ينطبقات على المحورين أ١ ، أ٢ ، والإثناء الآخران ينصفان الزوايا بين المحورين أ١ ، أ٢.

المستويات التماثلية: يوجد مستوى تماثل أفقي يشمل المحاور الأفقية أ١ ، أ٢ (وعمودي على المحور ج) وأربعة مستويات متماثلة رأسية تمر بالمحور ج ، إثنان يشملان المحوران أ١ ، أ٢ (بالإضافة إلى ج) والإثنان الآخران ينصفان الزوايا بين هذه المحورين.

مركز التماثل: لبلورات هذا النظام مركز تماثل.

الأشكال البلورية

الأهرامات المنعكسة :Bipyramids وهذه عبارة عن أشكال مقفولة تقطع أوجهها المحور ج ، وأحد المحورين الأفقيين أ١ او أ٢ ، أو كليهما. توجد ثلاثة أنواع من الأهرامات المنعكسة الرباعية مثل الثلاثة التي سبق أن ذكرناها في فصيلة السداسي.

هرم منعكس رباعي من الرتبة الأولى (أو عرم منعكس وتري) ، شكل (٧٤) ، ويماثل هذا الشكل شكل ثماني الأوجه في فصيلة المعكب ، ولكن نظرا لأن المحور ج يخالف في الطول المحورين الأفقيين أ ، فإن التقاطعات النسبية تكون أ: أ: ج والتي تدل على أن وجه هذا الشكل يقطع المحاور البلورية الثلاثة في مسافات الوحدة. ويكون هذا الشكل إذن هو شكل الوحدة .ولما كان التقاطع على المحور ج قد يكون أقصر أو أطول من طول الوحدة ، لذلك تكون الأحداثيات أ: أ: م ج ، والدليل {هـ هـ ل} ، حيث م هي قيمة عددية بين الصفر وما لا نهاية. يكون هذا النظام شكلا مقفولا من ثمانية أوجه ، كل وجه منها في هيئة مثلث متساوي الساقين ، (وليس متساوي الأضلاع مثل ثماني الأوجه.(

هرم منعكس رباعي من الرتبة الثانية (أو هرم منعكس متعامد) ، شكل (٧٦) ، تقطع أوجه هذا الشكل المحور ج وأحد المحورين أ ، وتمتد موازية للمحور أ الآخر.وعلى ذلك تكون الأحداثيات (أ: ∞ ب: م ج) ، والدليل هو {هـ ، ل} ، يتكون الشكل من ثمانية أوجه تقفل الفراغ بمفردها.

)ملاحظة): يلاحظ أنه في حالة الهرم المنعكس الوتري يواجه ماسك البلورة حرف ، في حين يواجه الهرم المنعكس المتعامد ماسك البلورة بوجه.(

هرم منعكس رباعي مزدوج ، (شكل٧٨) ، تقطع أوجه هذا الشكل المحورين الأفقيين أ١، أ٢ ، في مسافتين مختلفتين ، في حين يكون التقاطع على المحور ج إما مساويا للوحدة أو أكبر من ذلك (م ج) ، الأحداثيات (أ: ن أ: م ج) ، الدليل {هـ ك ل}. يتكون هذا الشكل من ١٦ وجها ، كل منها في هيئة مثلث غير متساوي الأضلاع.

توجد ثلاثة أنواع من المنشورات الرباعية مثل الأنواع الثلاثة التي سبق أن ذكرناها في فصيلة السداسي.

منشور رباعي من الرتبة الأولى (منشور رباعي وتري) ، شكل (٧٥) ، يتكون هذا الشكل المفتوح من أربعة أوجه موزاية للمحور ج ، ولكنها تقطع كلا من المحورين أ١ ، أ٢ ، الأحداثيات (أ: أ : ∞ ج) ، والدليل {٠١١}. ونجد أن المحورين أ١ ، أ٢ ، يصلان بين منتصف الحروف المقابلة ، وعلى ذلك يكون هناك حرفا مواجها لماسك البلورة عندما يكون المحور أ١ متدا من الأمام إلى الخلف.

منشور رباعي من الرتبة الثانية (منشور رباعي متعامد) ، شكل (٧٧): يتكون هذا الشكل المفتوح من أربعة أوجه موازية للمحور ج ، وكذلك موازية لأحد المحورين أ١ ، أ٢ ، الأحداثيات (أ: ∞ أ: ∞ج) ، والدليل {٠٠١} ، في هذا الشكل نجد أن المحورين البلورين أ١ ، أ٢ ، يصلان بين منتصف كل وجهين متقابلين.

منشور رباعي مزدوج ، شكل (٧٩): يتكون هذا الشكل المفتوح من ثمانية أوجه مرتبة في هيئة أربعة أزواج حول محور التماثل الرباعي. الأحداثيات (أ: ن أ: ∞ج) والدليل {هـ ك}. يوضح شكل (٨٠) ، وضع أشكال الرتبة الأولى والثانية والأشكال المزدوجة بالنسبة للمحاور البلورية الأفقية أ١ ، أ٢.

المسطوح القاعدي ، ويعرف في بعض الأحيانب اسم "قاعدة" ويتكون من وجهين موازيين لمستوى التماثل الأفقي الأحداثيات (∞أ: ∞أ: ج) والدليل {١٠٠}. وهذا الشكل ، مثل المنشورات ، شكل مفتوح لا يوجد بمفردهخ وإنما يكون موجودا مع أشكال أخرى ، مثل المنشورات ، شكل (٧٥ ، ٧٧ ، ٧٩.(

مجموعات الأشكال ، شكل (٨١ ، ٨٢)، تظهر مجموعات مختلفة من الأشكال الرباعية على كثير من بلورات المعادن. فمثلا يوجد على بلورة الزركون ، شكل (٨١) ، مجموعة من المنشور الوري {٠١١} ، والهرم المنعكس الوتري {١١١}. وقد تظهر بلورات أخرى من الزركون مجموعة من منشورات الرتبة الأولى والثانية مع الهرم المنعكس من الرتبة الأولى والهرم المنعكس الرباعي المزدوج ، شكل (٨٢.(

أمثلة من المعادن: زركون ، شكل (٨١ ، ٨٢) ، بروتيل ، كاستيرتيت.

مميزات البلورة الرباعية:

تتميز البلورات الرباعية بوجود محور رباعي التماثل (دوراني أو انقلابي) ، ينطبق دائما مع المحور البلوري الرأسي (ج) ، ويكون طول البلورة في هذا الاتجاه إما أكبر أو أقل من البعدين الآخرين (أ١ ، أ١) . وفي معظم النظم التابعة لهذه الفصيلة البلورية يكون المقطع المستعرض العمودي على المحور الرأسي الرباعي في البلورات كاملة الأوجه غير المشوهة في شكل مربع كامل أو مربع تقطع زواياه القائمة أوجه الأشكال المختلفة.

فصيلة الثلاثيTrigonal System

المحاور البلورية

تتميز بلورات هذه الفصيلة بوجود محور ثلاثي التماثل وعدم وجود مستوى تماثل أفقي ، شكل (٨٣) . وقد سبق أن أشرنا عند بدء الحديث عن فصيلة السداسي إلى العلاقة بين فصيلتي السداسي والثلاثي واشتراكهما في وجود أربعة محاور بلورية في بلوراتها (أ١، أ٢ ، أ٣، ج) ، حيث تتقاطع المحاور أ في زوايا مقداراها ١٢٠ درجة ، أما المحور ج فمتعامد عليها ، ومختلفة عنها في الطول (إما أطول أو أقصر.(

ونتيجة لهذه العلاقة فإننا نجد أن بعض الأشكال البلورية السداسية (مثل المنشوريات السداسية من الرتبة الأولى والثانية) توجد في كل من هاتين الفصيلتين.

وتشمل فصيلة الثلاثي خمس نظم بلورية ، جدول (٧:(

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن مثلثي الأوجه الثلاثي المزدوج/3 2 3 م كالسيت شبه منحرف الأوجه الثلاثي 3 2 3 كوارتز منخفض الحرارة الهرم الثلاثي المزدوج 3 م٣ تورمالين معيني الأوجه 3 دوالوميت C2Mg(CO3)2 الهرم الثلاثي 3جراتونيت

جدول (٧): النظم البلورية في فصيلة الثلاثي

نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجةDitrigonal Scalenobedral Class

التماثل

قانون التماثل الكامل

/3 2 3م ، شكل (٨٤) ، تتكون عناصر التماثل في هذا لانظام من محور واحد فقط ثلاثي التماثل انقلابي ينطبق على المحور البلوري ج (٣ = ٣ + ن) ، وثلاثة محاور أفقية ثنائية التماثل عمودية على ثلاثة مستويات تماثلية رأسية.

وتنطبق المحاور ثنائية التماثل على المحاور البلورية أ١، أ٢ ، أ٣ ، شكل (٨٤.(

الأشكال البلورية

توجد الأشكال السداسية التالية في هذا النظام الثلاثي الكامل التماثل:

المسطوح القاعدي: {١٠٠٠} ، يتكون من وجهين.

المنشور السداسي من الرتبة الأولى ، {١٠١٠} ، يتكون من ستة أوجه.

المنشور السداسي المزدوج : {هـ ك و ٠} ، يتكون من اثنى عشر وجها.

الهرم المنعكس السداسي من الرتبة الثانية: {هـ هـ ٢ هـ ل} ، يتكون من ١٢ وجها.

والمعروف أن هذه الأشكال سالفة الذكر توجد في فصيلة السداسي أيضا (النظام الكامل التماثل) ، أي أن هذه الأشكال مشتركة بين الفصيلتين ، والسبب في ذلك ، كما أن سبق قلنا ، هو العلاقة البلورية بين الفصيلتين ، واشتراكهما في أربعة محاور بلورية.

أما الشكلان التاليان فلا يوجدان في فصيلة السداسي وإنما تنفرد بهما فصيلة الثلاثي. هذا الشكلان هما معيني الأوجه ، ومثلثي الأوجه الثلاثي المزدوج.

معيني الأوجه: معيني الا،جه شكل مقفول يحده ستة أوجه معينية ، شكل (٨٥ – أ ، ج) ، وفي هذا الشكل نجد أن الا،جه الثلاثة العليا ليست فوق الأوجه الثلاثة السفى مباشرة ، أي أن هذا الشكل البلوري ليس هرما منعكسا ، ولكنه شكل معيني الأوجه. ويمكن أن

ننظر إلى معيني الأوجه على أنه مشتق من الهرم المنعكس السداسي ، شكل (٨٥-ب) ، وذلك باختيار الأوجه العليا والسفلى المتبادلة (أي وجه علوي ثم الوجه السفي الذي يليه ثم الوجه العلوي الذي يليه وهكذا) ، ويصل المحور ج بين الزاويتين المتساويتين الثلاثية الأوجه (أي الزوايا التي تتكون نتيجة لتلاقي ثلاثة أوجه) ، وهذا المحور محور انقلابي ثلاثي التماثل ، أما المحاور الأفقية ، أ١ ، أ٢ ، أ٣ ، فإنها تصل بين منتصف الأحرف الوسطى المتقابلة.

ويتوقف حجم معيني الأوجه على نسبة أ: ج (يمكن اعتبار المكعب الممسوك بطريقة تجعل أحد محاوره الثلاثية التماثل يمتد رأسيا على أنه معيني الأوجه ذو أحرف وزوايا متساوية. وتحد أن نسبة أ: ج في هذه الحالة هي كنسبة ١: √١.٥ أو ١: + ١.٢٢٤٥.(

وعلى ذلك فإن الأشكال المعينية الأوجه التي توجد فيها قمية المحور ج بالنسبة إلى ١ أكبر من ١.٢٢٤٧ تكون لها زوايا قطبية (حيث يخرج المحور ج) أقل من ٩٠ درجة ، وينتج عن ذلك شكل معيني الأوجه حاد ، شكل (٨٦ ، ٨٧) ، أما اذا كانت قيمة النسبة اقل من ١.٢٢٤٧ ، فنجد أن الزوايا القطبية تكون أكبر من ٩٠ درجة ، وينتج عن ذلك شكل معيني الأوجه منفرج ، شكل (٨٨ ، ٨٩). واحداثيات معيني الأوجه هي: (أ: ∞أ: أ: م ج) ، والدليل إما أن يكون {هـ هـ ل} أو {ك ك ل} ويطلق على الشكل {هـ هـ ل} ، أحيانا اسم معيني الأوجه الموجب ، أما {ك ك ل} فيطلق عليه اسم معيني الأوجه السالب. وعندما نمسك البلورة بحيث يكون المحور ج عموديا والمحور أ٢ يمتد موازيا لماسك البلورة فإننا نجد في حالة معيني الأوجه الموجب {هـ هـ ل} وجها علويا في حين يواجهنا معين الأوجه السالب {ك ك ل} بحرف في هذا لامكان.

مثلثي الاوجه الثلاثي المزدوج ، شكل (٩٠) ، يتكون هذا الشكل من ستة أزواج من الأوجه المثلثية (غير متساوية الأضلاع) (المجموع اذن ١٢ وجها) ، وتقفل هذه الأوجه

الفراغ. نلاحظ في هذا الشكل البلوري أن الثلاثة أزواج العليا من الأوجه ليست فوق الثلاثة أزواج السفلى مباشرة ، أي لا يوجد بين الاثنين مستوى تماثل أفقي ، وعلى ذلك فلا يكون هذا الشكل هرما منعكسا ثلاثيا مزدوجا ، ولكن يكون مثلثي الأوجه ثلاثي مزدوج. في هذا الشكل يصل المحور ج بين الزوايا السداسية الأوجه (تتكون من تلاقي ستة أوجه) ، أما المحاور الأفقية أ١ ، أ٢ ، أ٣ ، فإنها تصل بين منتصف الحروف الوسطى المتقابلة ، شكل (٩١ –أ ، ج.(

ويمكن أ، ننظر إلى مثلثي الأوجه الثلاثي المزدوج على أنه مشتق من الهرم المنعكس السداسي المزدوج (النظام العادي لفصيلة السداسي) ، إذا اخترنا أزواجا متبادلة من الأوجه ششكل (٩١ –ب)). (زوج علوي ثم يليه زوج سفلي ثم زوج علوي وهكذا) ، ويمكننا اذن أن نحصل على ثملثي أوجه ثلاثي مزدوج موجب وآخر سالب ، شكل (٩١ – أ ، ج) . والمثلثي الموجب يشغل موضعا مقابلا لموضع معين الأوجه الموجب ، أما المثلثي السالب فإن موضعه يقابل موضع معيني الأ،جه السالب. واحداثيات مثلثي الأوجه الثلاثي المزدوج هي ± (ن أ: ط أ: أ: م ج) ، والدليل {هـ ك و ل} مثل {١٣١٢} ، حيث هـ < ك ، {ك هـ و ل} ، حيث ك< هـ.

مجموعات الأشكال

توجد مجموعات مختلفة من الأشكال البلورية الثلاثية على البلورات الطبيعية ، شكل (٩٢ ، ٩٣ ، ٩٤.(

أمثلة من المعادن:

يتبلور في هذا النظام الثلاثي الكامل التماثل المعادن التالية: كالسيت ، سيديريت ، كوراندوم ، هيماتيت.

مميزات البلورات الثلاثية:

تتيمز البلورات الثلاثية (تعرف أيضا باسم البلروات معينة الأوجه) ، بوجود محور ثلاثي التماثل (دوراني أو انقلابي) ، يطبق دائما مع المحور الرأسي ج ، ويكون طول البلورة في هذا الاتجاه إما أكبر أو أصغر من الأبعاد الأفقية (أ١ ، أ٢ ، أ٣) ، ويأخذ المقطع المستعرض العمودي على المحور الرأسي الثلاثي في البلورات كاملة التماثل غير المشوهة شكلا مثلثي السمة.

فصيلة المعيني القائم Orthohombic System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور متعامدة وغير متساوية ، شكل (٩٥). ويمتد المحور ج راسيا ، بينما يمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار ، أما المحور أ ، فإنه يتجه من الأمام إلى الخلف ، ولا يوجد محور أساسي في هذه الفصيلة ، بمعنى أن أي محور يمكن أن يختار ليكون المحور ج. وعادة نختار ج أطول من ب ، ب أطول من أ. وتتكون النسبة المحورية إذن من قيم ثلاث. فمثلا في بلورة الكبريت أ: ب: ج = ٠.٨١٣: ١: ٠.٩٠٣ ، أما في معدن سلستيت ، فنجد أن النسبة أ: ب: ج = ٠.٩: ١: ١.٢٨٠.

وتشمل هذه الفصيلة ثلاث نظم موضحة في جدول (٨:(

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن الهرم المنعكس المعيني القائم/3 2 م ن باريت Barite BaSO4 الوتد المعيني القائم 3 2 ابسوميت MgSO47H2O الهرم المعيني القائم 2 م م هيميمورفيتZo4(OH)2Si2O7H2O

جدول (٨): النظم البلورية في فصيلة المعيني القائم

نظام الهرم المنعكس المعيني القائمOrthorhombic Bipyramidal system

التماثل:

قانون التماثل: ٢/م ٢/م ٢/م ن ، أو ٢ ٣/م ن ، شكل (٩٦.(

المحاور التماثلية: يوجد ثلاث مستويات تماثلية ، إثنان منها رأسيان والثالث أفقي ، ويشمل كل منها محورين بلوريين ، شكل (٩٦.(

مركز التماثل: موجود أيضا في بلورات هذا النظام.

الأشكال البلورية:

هرم منعكس معيني قائم ، شكل (٩٧) ، يتكون هذا الهرم المنعكس من ثمانية أوجه مثلثية الشكل (المثلث غير متساوي الأضلاع) ، ومتشابهة ، وتقفل الفراغ. هرم الوحدة له الاحداثيات (أ: ب: ج) ، والدليل {١١١} ، أما الأهرامات الأخرى فلها – بصفة عامة – الاحداثيات (ن أ: ب : م ج) ، والدليل {هـ ك ل} ، حيث ك <هـ ، أو لها الأحداثيات (أ ن ب : م ج) ،والدليل {ك هـ ل} ، حيث هـ < ك ، (ن1< ، < 0م < ∞).

المنشور ، شكل (٩٨) ، شكل مفتوح مكون من أربعة أوجه قاطعة للمحورين أ ، ب ، ولكنها تمتد موازية للمحور ج . دليل منشور الوحدة هو {٠١١} ، أما الأشكال الأخرى من المنشور فلها الدليل {هـ ك ٠} ، مثل }٠١٢{ ، {٠٢٣} الخ.

المسقوف ، شكل (٩٩ ، ١٠٠)، شكل مفتوح يشبه السقف المكون من سطحين في هيئة رقم ٨ ، يقابلها سطحين آخرين بالعكس ، أي في هيئة سبعة (٧) ، وتقطع أوجه المسقوف أحد المحورين الأفقيين والمحور الرأسي ج. يسمى المسقوف الذي يوازي المحور أ (يقطع ب ، ج) باسم الأحداثيات العامة (∞ أ: ب: م ج} ، والدليل {٠ك ل} ، مثل {١١٠} ، {١٢٠} ، ويتكون من أربعة أوجه.

أما المسقوف الذي تمتد أوجهه موازية للمحور ب ، فيعرف باسم مسقوف ب أو مسقوف أمامي ، شكل (١٠٠{ ، الأحداثيات (أ: ∞ب: م ج) ، والدليل {هـ ، ل} مثل {١٠١} ، {١٠٢} ، ويتكون من أربعة أوجه.

يكون كلا الشكلين – المنشور والمسقوف – شكلا مفتوحا ، وعلى ذلك فلا يظهر أحدهما بمفرده ، بلف لابد أن يكون مجموعات مع شكل آخر.

المسطوح ، شكل (١٠١) ، وهو شكل مفتوح مكون من وجهين فقط موازيين لبعضها البعض ، ويقطع الوجه أحد المحاور البلورية ويوزاي المحورين الآخرين ، ويعرف المسطوح باسم المحور الذي يقطعه ، فإذا قطع المحور ج فإنه يعرف باسم مسطوح ج ، ويعرف باسم مسطوح ب إذا كان يقطع المحور ب ، أو مسطوح أ إذا كان يقطع المحور أ.

مسطوح أ أو مسطوح أمامي {٠٠١} ، وجهان

مجموعات الأشكال:

توجد الأشكال {٠١١} ، {٢٠١} ، {١١٠} ، {١٠٠} ، مجموعة على بلورة معدن باريت ، شكل (١٠٢) ، أما بلورة الأوليفين ، شكل (١٠٣) فيوجد عليها الأشكال

{١١١} ، {٠١١} ، {٠٢١} ، {١٠١} ، {١٢٠} ، {٠١٠} ، وفي بلورة الكبريت شكل (١٠٤) ، نشاهد الأشكال {١١١} ، {٣١١} مجموعة:

أمثلة من المعادن:

يتبلور في هذا النظام المعيني القائم الكامل التماثل عدد كبير من المعادن نذكر منها: الكبريت المعيني (شكل١٠٤) ، باريت (BaSO4) ، توباز [Al(F2OH)2 AlSiO4]، أوليفين [(Mg2Fe)2 SiO2] ، شكل (١٠٣).

مميزات البلورات المعينية القائمة:

تتميز البلورات المعينية القائمة في النظام كامل التماثل بوجود ثلاثة محاور ثنائية التماثل تنطبق على المحاور البلورية أ ، ب ، ج. ونظرا لأن المحور ج في هذه الفصيلة ليس مميزا ثماثليا عن المحورين الأفقيين فقد اتفق علماء البلورات على توجيه البلورة المعينية القائمة بحيث يكون ج <ب< أ ، ولو أنه في الماضي لم يكن هذا الإتفاق موجودا ، وعادة نجد في المراجع السالفة أن أيا من المحاور الثلاثة يتخذ اتجاها للمحور ج ، وأطول الاثنين الآخرين هو المحور ب ، والأقصر هو المحور أ. ويبدو المقطع المستعرض العمودي على المحور الرأسي في البلورات كاملة الأوجه غير المشوهة في شكل ذي سمة مستطيلة أو معينية.

فصيلة الميل الواحد Monoclinic System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية غير متساوية أ ، ب ، ج ، إثنان منها (أ ، ج) ، يتقاطعان في زاوية مائلة (لا تساوي ٩٠ درجة) ، هي زاوية

βشكل (١٠٥). تمسك بلورة هذه الفصيلة بحيث يمتد الحور ب من اليمين إلى اليسار (مازيا لماسك البلورة) ، ويمتد المحور ج رأسيا ، أما المحور أ فيمتد مائلا إلى الأمام في اتجاه ماسك البلورة. وتعرف الزاوية β بيتا المنفرجة بالزاوية الموجبة أما الزاوية βالحادة فتعرف بالزاوية السالبة. وواضح أن الزاويتنين الموجبة والسالبة متكاملتان (أي مجموعهما يساوي ١٨٠ درجة) ، ولما كانت الزاوية β تختف من معدن إلى آخر فإن تعيينها يساعد في التعرف على البلورة ، وبالتالي المعدن ، وذلك بالإضافة إلى تعيين النسبة المحورية أ: ب:ج ، وتعرف هذه العناصر (الزاوية β والنسبة المحورية) باسم عناصر التبلور ، فمثلا عناصر التبلور لمعدن الجيس (CaSO4 2H2o) ، يعبر عنها هكذا أ: ب: ج = ٠.٦٩٠: ١: ٠.٤١٢ ، لآ = ٨٠.٤٢ درجة.

ويلاحظ أن المحور ب _أفقي) هو المحور الأساسي في هذه الفصيلة ، وهو الذي يختار أولا عند توجيه البلورة والمحور ب قد يكون محورا ثنائي التماثل أو متعامدا على مستوى التماثل.

وتشمل هذه الفصيلة ثلاثة نظم موضحة في جدول (٩):(

النظام قانون التماثل الكامل أمثلة من المعادن منشور الميل الواحد/2 م ن أرثوكليز KALS3O8مسقوف الميل الواحد=) 2 م (كلينوهيدريت H2CaZnSiO5 وتد الميل الواحد 2 ناترولیتNa2(Al2Si3O10)H2o

جدول (٩): النظم البلورية في فصيلة الميل الواحد

نظام المنشور المائلMonocline Prismatic Class

الماثل قانون التماثل الكامل: ٢/م ن شكل (١٠٦) ، يوجد في هذا النظام محور واحد ثنائي التماثل ينطبق على المحور ب. وهذا المحور عمودي على مستوى تماثل (يشمل هذا المستوى المحورين أ ، ج) ، ويوجد بالإضافة إلى ذلك مركز التماثل.

الأشكال البلورية

نصف الهرم المنعكس ، شكل (١٠٨ ، ١٠٩): نتيجة لوجود مستوى تماثل ومحور ثنائي التماثل فقط ، فإننا نجد أن الشكل البلوري الذي تقطع أوجهه المحاور البلورية في مسافات الوحدة ، أي ذو الأحداثيات أ: ب: ج يتكون من أربعة أوجه فقط. فالأوجه الأربعة التي تقفل الزاوية بيتا الموجبة] (β+) المنفرجة ، شكل (١٠٨)] ، تكون نصف هرم الوحدة المنعكس الموجب ، أما الأوجه التي تقفل الزاوية بيتا السالبة (β-) ، شكل (١٠٩) ، فإنها تكون نصف هرم الوحدة المنعكس السالب. ووضاح أن أوجه كل من الشكلين الموجب والسالب مختلفة ، فتلك الموجودة في الزاوية الموجبة أكبر. الدليل {١١١} للموجب ، {١١١¯} للسالب. هذا بالنسبة لشكلي الوحدة (تقطع أوجههما المحاور البلورية في مسافات الوحدة) ، أما نصف الأهرامات المنعكسة التي تقطع المحاور البلورية في مسافات مختلفة عن الوحدة فإ،ها الادلة العام ، {هـ هـ ل} ، {هـ ك ل} ، {ه ك ل¯} ، {ك هـ ل} ، ك هـ¯ل.{¯

المنشور ، شلك (١١٠): عبارة عن شكل مفتوح مكون من أربعة أوجه كما هو الحال في فصيلة المعين القائمة. منشور الموحدة له الدليل {٠١١} ، أما المنشوريات التي تقطع المحورين أ ، ب على مسافات مختلفة عن الوحدة فلها الدليل العام {هـ ك ٠} حيث هـ < ك ، مثل {٠١٢} ، أو {ك هـ٠} حيث ك < هـ مثل { ٠٢١.{

المسقوف:

المسقوف الجانبي أو مسقوف أ: مكون من أربعة أوجه موزاية لمحور أ ، شكل (١١٢) ، الأحداثيات (∞أ : ب: م ج} ، الدليل {٠ ك ل.{

نصف المسقوف الامامي أو نصف مسقوب ب: بما أن المحور أ مائل من وجهين فقط ، وليس أربعة ، شكل (١١٤ ، ١١٥) ، ولذلك يعرف باسم نصف المسقوف ب. والشكل الذي يحصر الزاوية بيت الموجبة (المنفرجة) يعرف بنصف المسقوف ب الموجب ودليله {هـ ل} ، مثل {١٠١} ، شكل (١١٤) . أما نصف المسقوف ب السالب فهو الذي يحصر الزاوية بيتا السالبة ودليله {هـ ل} ، مثل {١٠١¯} ، شكل (١١٥.(

المسطوحات ، شكل (١١١) ، توجد ثلاثة أنواع منها ، مثل سابقتها في فصيلة المعيني القائمة ، وهي:

المسطوح القاعدي أو مسطوح ج ، {١٠٠} : وجهان.

المسطوح الجانبي أو مسطوح ب ، {٠١٠}: وجهان.

المسطوح الأمامي أو مسطوح أ ، {٠٠١}: وجهان.

مجموعات الأشكال:

توجد أشكال بلورية كثيرة مجموعة على البلورات الطبيعية التي تمثل هذا النظام كما في شكل (١١٦ ، ١١٧ ، ١١٨، ١١٩.(

أمثلة من المعادن:

يتبلور في هذا النظام الكامل التماثل لفصيلة الميل الواحد عدد كبير من المعادن ، من بينها معظم معادن السليكات المكونة للصخور النارية. نذكر منها:

أرثوكليز Orthoclase (KALSi8O8) ، شكل (١١٦، ١١٧).

أوجيت Augite (Ca Al Fe Mg Silicate) ، شكل (١١٩).

هورنلبند.Hornblende [Ca Al Fe Mg (OH) silicate]

بيتوتيت.Biotite [K Al Fe Mg (OH) Silicate]

جبس Gypsum (CaSO4. 2H2O) ، شكل (١١٨).

مميزات بلورات الميل الواحد:

تتميز بلورات الميل الواحد بأن المحور البلوري ب هو المحور الوحيد ثنائي التماثل (متعامد على مستوى تماثلي هذا النظام كامل التماثل) الموجود في هذه البلورات. وفي هذا التوجيه يقع المحوران ج (رأسي) ، أ (مائل نحو ماسك البلورة) في مستوى التماثل الرأسي وهو المستوى الوحيد الموجود في هذه لابلورات. وفي معظم بلورات الميل الواحد يكون المحور ج هو محور استطالة البلورة ، ولكن في حالات قليلة ، مثل الأرثوكليز تستطيل البلورة في إتجاه المحور أ. وبعض المعادن مثل الأبيدوت تستطيل بلوراتها في إتجاه المحور ب. وفي كل بلورات الميل الواحد يلاحظ عموما أن ميل الأوجه البلورية الموازية للمحور يكون ملحظات. وفي حالات نادرة تصل الزاوية بين المحورين أ ، ج مقاربا جدا من ٩٠درجة.

فصيلة الميول الثلاثة Triclinic System

المحاور البلورية:

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور غير متساوية وغير متعامدة (أي أنها تتقاطع في زوايا مائلة) ، شكل (١٢٠) ، وتمسك البلورة بحيث يمتد المحور ج

رأسيا. ويمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار. أما المحور أ فيمتد إلى الأمام تجاه ماسك البلورة.

وتتكون عناصر التبلور من النسبة المحورية أ: ب : ج ، والزوايا الثلاث : ألفا ، بيت ، جاما . فمثلا ، في بلورة رودينيت Rhodonite (MnASiO3) ، نجد أن عناصر التبلور هي ، أ: ب: ج = ١.٠٧٣: ١: ٠.٦١٣ ، α = 10.8.18 ، β = 108.44 ، δ = 81.39.

وتشمل فصيلة الميول الثلاثة نظامين بلوريين ، كما في جدول (١٠):(

النظام قانون التماثل الكامل أمثلة من المعادن مسطوح الميول الثلاثة=) ¯1 ن (ولاستونيت CaSIO8 سطح الميول الثلاثة 1 أكسينيت

جدول (١٠): النظم البلورية في فصيلة الميول الثلاثة

نظام مسطوح الميول الثلاثة

التماثل: تتكون عناصر التماثل ي هذا النظام من مركز تماثل فقط ، شكل (١٢١). وعلى ذلك فإن أي شكل بلوري تابع لهذا النظام يتكون من وجهين اثنين فقط ، وجه في ناحية من المركز ووجه آخر مواز له في الناحية المقابلة من المركز.

الأشكال البلورية:

ربع الهرم المنعكس ، شكل (١٢٢): بما أن المستويات التي تمر بالمحاور البلورية تقسم الفراغ البلوري إلى أربعة أ.واج من الأقسام غير المتشابهة ، كل قسم عبارة عن ثمن ٨/١ الفراغ ، فإنه ينتج على البلورة إذن أربعة أنواع من الأشكال الهرمية. يتكون

كل شكل هرمي من وجهين متقابلين فقط ، أو بمعنى آخر يتكون من ٤/١ عدد أوجه الهرم المنعكس. ولذلك فإن هذا لاشكل (الذي تقطع أوجهه جميع المحاور البلورية) ، يعرف باسم ربع الهرم المنعكس ، فإذا كانت الأوجه تقطع المحاور البلورية في مسافات الوحدة فإن الشكل يعرف بشكل الوحدة ، أما الأشكال الأخرى فإنه تقطع المحاور البلورية في مسافات مختلفة. وفي عبارة أخرى يمكننا أن نقول أن شكل الهرم المنعكس المعيني القائم قد تحول إلى أربعة أشكال هرمية منعكسة نتيجة لميل المحاور البلورية بالنسبة إلى بعضها البعض. وأدلة هذه الأشكال الأربعة هي: {١١١} ويعرف باسم الطوي اليميني ، {١١١¯} العلوي اليساري ، {١١١¯} السفلي اليمين ، {١¯١١¯} السفلي اليساري.ويتوقف الاسم في كل من هذه الحالات الأربعة على مكان الفراغ الأمامي (والثمن ٨/١) ، الذي يقفله وجه الشكل.

نصف المنشور ، شكل (١٢٣): من الواضح الآن أن المنشورات في هذا لانظام الذي لا يحتوي سوى مركز تماثل فقط تتكون من وجهين اثنين فقط لكل منها ، ولذلك فإنها تعرف باسم نصف منشورات ، ويمكن تمييز نصف منشور يميني {٠١١} ، ونصف منشور يساري {٠١١¯}. وهذه الأشكال مفتوحة. وتوجد في شكل (١٢٣) مجتمعة مع المسطوح القاعدي {١٠٠.{

نصف المسقوف: تتكون المسقوفات الآن من وجهين فقط. وعليه فإننا نتحدث عن نصف المسقوف أ اليمين {١١٠} ، واليساري {١١٠¯} ، شكل (١٢٤) ، ونصف المسقوف ب العلوي {١٠١} ، والسفلي {١٠١¯} ، شكل (١٢٥) ، والتي تشاهد مجتمعة مع المسطوح الأمامي والمسطوح الجان يبفي الشكلين على التواتلي.

المسطوحات ، شكل (١٢٦): المسطوح الأمامي أو مسطوح أ {٠٠١} ، وجهان ، المسطوح الجانبي أو مسطوح ب {٠١٠} ، وجهان ، المسطوح القاعدي أو مسطوح ج {١٠٠} ، وجهان.

المجموعات الشكلية:

يوجد عدة أِشكال بلورية مختلفة مجموعة على البلورات الطبيعية ، شكل (١٢٧).

أمثلة من المعادن:

يتبلور في هذا النظام معاد البلاجيزكليز وهي من المعادن الأساسية في تكوين الصخور النارية ،ومن أمثلتها ألبيت Albite (NaAlASi8O8) ، أنورثيت Anorthite (CaAl2Si2O8)، شكل (١٢٧) ، كذلك تتبلور في هذا النظام معادن رودونتي ولاستونيت.

مميزات بلورات الميول الثلاثة:

تتميز بلورات الميول الثلاثة بأنها لاتحتوي أيا من المحاور التماثلية أو المستويات التماثلية. وباستثناء معادن الفلسبارات البلاجيوكليزية فإن قلة من المعادن تتبلور في فصيلة الميول الثلاثة ، وعادة ما تكون بلوراتها غير واضحة وغير كاملة الأوجه.
أسماء وتوزيع وعلاقة الأشكال البلورية

في النظم الكاملة التماثل في الفصائل البلورية السبعة

يبين جدول (١١) ، فيما يلي أسماء وتوزيع ، وعلاقة الأشكال البلورية في النظم الكاملة التماثل في الفصائل البلورية السبعة التي درسناها:

الشكل/ الفصيلة 111 أو ١١–١٢ 110 أو ١٠–١١ 101 أو ١٠–١١ 011 أو ١١–٠٢ 001 أو ٠١–٠١ 010 أو ١٠–٠١ 100 أو ١٠٠٠ الميول الثلاثة ربع هرم منعكس نصف مسقوف أ نصف مسقوف ب نصف منشور مسطوح أ مسطوح ب مسطوح ج الميل الواحد نصف هرم منعكس مسقوف أ نصف مسقوب ب منشور مائل))))))المعيني القائم هرم منعكس مسقوف أ مسقوف ب منشور معيني قائم)))))) الثلاثي هرم منعكس سداسي (٢ (معيني الأوجه معيني الأوجه منشور سداسي منشور سداسي)) السداسي هرم منعكس سداسي (٢ (هرم منعكس سداسي (١ (منشور سداسي (٢ (منشور سداسي (١)) (الرباعي هرم منعكس رباعي (١ (هرم منعكس رباعي (٢) منشور رباعي (١ (منشور رباعي (٢)) (المكعب ثماني الأوجه الإثنا عشر وجها معينا مكعب

عدد المواد المتبلورة في كل فصيلة ونظام بلوري وأهميته النسبية

يصل العدد الحالي للمواد المتبلورة المعروفة حوالي ٢٠.٠٠٠ ، من بينها ألفان توجد في الطبيعة كمعادن ، الكثير منها نادر الوجود ، ومن بين هذا العدد الضخم من المواد المتبلورة نجد أن:

50%تتبلور في فصيلة الميل الواحد.

25%تتبلور في فصيلة المعيني القائم.

15 %تتبلور في فصيلة الميول الثلاثة.

وفي عبارة أخرى إن هذه الفصائل الثلاثة (ذات التماثل الأقل بين الفصائل البلورية السبعة) تضم ٩٠% من مملكة البلورات ، تاركة نسبة بسيطة (١٠%) ، لبقية الفصائل البلورية الأربعة مجتمعة ، والتي يمكن ترتتبيها ترتيبا تنازليا حسب الأهمية النسبية

لعدد البلورات التي تتبلور في كل منها كما يلي: المكعب ثم الرباعي ثم الثلاثي ثم السداسي. ويلاحظ أن العدد الأكبر من المواد المتبلورة داخل الفصيلة الواحدة ينتمي إلى النظام الكامل التماثل. ومن أجل تحقيق المواد المتبلورة والتعرف عليها يمكننا أن ننظر إلى مثل هذا التوزيع – وما يبدو من عدم أهمية الفصائل الأعلى تماثلا – على أنه تيسير في صالح تحقيق المواد المتبلورة وليس تعسيرا للأمور. ففي جميع بلورات المواد المكعبية نجد أن الزاوية بينوجهين متقابلين (وجهان لهما نفس الدليلن) ثابتة.ومعنى ذلك أن تعيين الزوايا بين الوجهية في البلورات المكعبية لا يفيد في تحقيق هذه المواد. وكلما انخفض التماثل زاد عدد المتغيرات ، حتى أننا في فصيلة الميول الثلاثة (أقل الفصائل تماثلا) ، نجد أن أقل عدد من الزوايا بين الوجهية (وهي متغيرة) ، غير المرتبطة ببعضها ينبغي التعرف عليها من أجل تعيين الزوايا المحورية الثلاثة (ألفا ، بيتا ، جاما) ، وكذلك النسبة المحورية (وبالتلاي تحقيق المادة) هو خمسة.

هيئة البلورةCrystal Habit

سبق أن ذكرنا أن المعدن يتميز بشكل بلوري ثابت ، وعلى هذا يختلف معدن عن آخر في الزوايا بين الوجهية ، وكذلك في تماثل الأشكال البلورية ، أي في نظام توزيع الأوجه على البلورة حسب عناصر التماثل المميزة في البلورة. وتعتبر هذه الاختلافات (في الزوايا والتمثل) أساسية في التمييز بين بلورة وأخرى ، كما أنها تمثل الفوارق الهامة بين الفصائل البلورية السبعة التي ذكرناها. أما الاختلافات الأخرى التي تظهر علىالبلورات فليست من الأهمية بمكان مثل هذه الاختلافات الجهورية . ونعني بالاختلافات الأخرى اختلاف حجم البلورات والاختلاف في التكوين النسبي للأوجه البلورية ، وعددها ، وكذلك نوع هذه الأوجه ، أو الأشكال البلورية الموجودة على

البلورة ، وقد سبق أن عرفنا التكوين المختلف لأوجه الشكل البلورية الواحد باسم التشوه أو اختلاف الأوجه البلويرة ، شكلا (١٤ ، ١٥) ، وتوصف البلورة في هذه الحالة بأنها مشوهة أو مختلفة الأوجه. ويجب ألا ننسى أن مثل هذا التشوه لا يؤثر على الزوايا بين الوجهية ، لأ، هذه الزوايا ثابتة مادام ميل الأوجه البلورية ثابت ولا يهم بعد ذلك إذا كبر الوجه أو صغر.

وقد لوحظ أن بلورات المادة الواحدة تختلف عن بعضها البعض في حجم الأوجه ونسبة تكوينها ، وكذلك في عدد ونوع الأوجه والأشكال الموجودة على البلورات. ومن المشاهدات العامة أنه إذا نمت البلورة (كلورات الصوديوم مثلا) في محلول ، أثناء عملية التبلور داخل كأس مثلا ، وكان نموها على القاه ، فإنها لا تجد حرية في النمو إلى أسفل حيث تصطدم في قاع الكأس ، ولا يوجد محلول تنمو منه ولكنها تنمو إلى الجانبين وإلى أعلى بحرية. وتنتج لنا في هذه الحالة بلورة مسطحة أو مبططة ، أما إذا علقت هذه البلورة في المحلول فإنها تنمو بالتساوي في جميع الاتجاهات وتأخذ شكلا مكعبا. ويعرف الشكل الذي تظهره البلورة للعين باسم هيئة البلورة . ولا تتوقف هيئة البلورة على طبيعة المادة المكونة لها فحسب ، ولكنها تتوقف أيضا على الظروف التي أحاطت بالبلورة أثناء نموها. ومن ذلك يمكننا ان نقول أن هيئة البلورة تصف التكوين النسبي للأوجه أو الأشكال البلورية وكذلك عددها ونوعها. ويجب ألا يغيب عن ذهننا أبدا أن مثل هذا التغيير في هيئة البلورة يحدث دون أن يتبعه أي تغيير – حتى ولو كان طفيفا – في الزوايا بين الوجهية.

ويمكن وصف الهيئة البلورية للمعادن إما بالنسبة للشكل الظاهري وما يشابه ، كأن تكون ابرية أو عمدانية أو مسطحة .. الخ ، أوبالنسبة للشكل البلوري الغالب في تكوين

البلورة مثل هرمية أو منشورية أو مسطوحية .. الخ ونذكر فيما يلي الألفاظ الشائعة في وصف هيئة البلورة ، شكل (١٤.(

متساوية أو متساوية الأبعاد ، وذلك عندما تكون جميع الأوجه البلورية متساوية في الحجم تقريبا ، مثل الجرنت.

مسطحة أو نضدية ، وذلك عندما يكون هناك زوج من الأوجه أكبر بكثير من الأوجه الأخرى وتبدو البلورة ، في هذه الحالة "مبططة."

صفائحية ، أو حتى ورقية ، وذلك عندما يصل "التبطيط" ، إلى درجة كبيرة فتصبح البلورة في سمك الورقة.

عمداينة ، وذلك عندما نجد على البلورة ثلاثة أوجه أو أكثر موازية لاتجاه مشترك فيما بينها – قد أصبحت أكبر بكثير من أية أوجه أخرى ، أو بمعنى آخر عندما نجد البلورة طويلة ، أي أن النمو البلوري كان غالبا في اتجاه واحد ، مثل تورمالين.

ابرية أو أليافية ، وذلك عندما تبلغ استطالة البلورة نهايتها (وتشبه الإبرة ، مثل بعض أنواع هونبلند أو الألياف ، مثل أسبتوس). وإننا نجد أن بلورات أي فصيلة من الفصائل البلورية يمكن أن يكون لها آية هيئة من الهيئات المذكورة أعلاه ، أي قد تكون متساوية أو مسطحة أو صفائحية أو عمدانية أو ابرية ، ولكننا نلاحظ أن البلوريات المكعبية تكون غالليا ذات هيئة متساوية.

وتوصف هيئة البلورة أيضا بالنسبة إلى الأشكال البلورية التي توجد أوجهها كبيرة ظاهرة على البلورة ، وغالباة على بقية أوجه الأشكال الأخرى. فمثلا ، قد تكون البلورات المكعبة مكعبة الهيئة أو ثمانية الأوجه أو اثنى عشر وجها معينا. وبلورات الرباعي قد تكون هرمية الهيئة أو منشورية أو مسطوحية. أما في فصيلتي السداسي

والثلاثـي فقد تكـون البلـورات هرميـة أو منشـورية أو مسـطوحية أو معينيـة الأوجـه أو مثلثية الأوجه مزدوجة. وفي بلورات المعيني القائمة والميل الواحد والميول الثلاثة قد تكـون الهيئـة البلوريـة هرميـة أو منشـورية أو مسـقوفية أو مسـطوحية. وعنـدما تنتهـي البلورة المنشورية بأوجه بلورية من ناحية واحدة فقط فإنها توصف بأنها ذات طرف واحد أن أما اذا انتهت البلورة المنشورية بأوجه بلورية من الناحيتين فإنها توصف بأنها ذات طرفين.

مجموعات البلورات Groups of Crystals

توجد بعض المعادن في الطبيعة في هيئة بلورات مفردة أو وحيدة ، ولكن الغالبية العظمة من المعادن توجد بلوراتها مجتمعة في هيئة مجموعات ، قد تكون منظمة في ترتيبها أو غير منظمة. ومن دراستنا السابقة يمكن تعريف البلورة بأنها جسم عديد الأوجه ، فيه الزوايا بين الوجهية أقل من ١٨٠ درجة فإذا وجدنا على المادة المتبلورة زاوية داخلة ، شكل (١٢٩) ، (١٣٠) ، أي زاوية تكونها أوجه بلورية متجهة إلى الداخل ، فإن هذا يعتبر دليلا على وجود أكثر من بلورة واحدة مشتركة في هذه المادة المتبلورة. أي أن هذه المادة المتبلورة تتكون من مجموعة من البلورات ، وليست بلورة واحدة.

وتصنف مجموعات البلورات إلى قسمين حسب التركيب الكيميائي لأفرادها، فإذا كانت تتكون من بلورات ذات تركيب كيميائي واحد فإنها تعرف باسم مجموعة متجانسة ، أما إذا كانت مكونة من بلورات مختلفة التركيب الكيميائي (وبالتالي مختلفة المعادن) ، فإنها تعرف باسم مجموعة غير متجانسة.

مجموعاة متجانسة (جميع بلوراتها مكونة من مادة واحدة:(

تضم ثلاث أقسام حسب ترتيب البلورات والعلاقة الهندسية بينها ، وهي:

-1**مجموعات البلورات المتوازية**. وذلك عندما تكون البلورات موازية لبعضها البعض. ٢- بلورات توأمية أو توأم ، وذلك عندما تكون البلورات موازية جزئيا لبعضها البعض (أي بعض المحاور البلورية متوازية والبعض الآخر غير متوازي). ٣ - مجموعات البلورات غير المنتظمة وهذه ينقصها توازي أفرادها.

مجموعات غير متجانسة (بلوراتها مكونة من مواد مختلفة): ١ -مجموعات البلورات النطاقية ، هذه تتوازى أفرادها. ٢ -مجموعات البلورات المنتظمة ، عندما تتوازى الأفراد جزئيا. ٣- مجموعات البلورات غير المنتظمة ، وهذه ينقصها توازي أفرادها.

المجموعات البلورية المتجانسة (١ (مجموعات البلورات المتوازية: تتكون مثل هذه المجموعات عادة من عدة بلورات بدلا من بلورتين اثنتين فقط. وفيها تجد أن البلورات توازي بعضها البعض ، ومن أمثلتها مجموعات البلورات المتوازية لمعدن الكوارتز (شكل ١٢٨) ، والكالسيت. وكذلك توجد هذه المجموعات المتوازية من البلورات كنشوءات صغيرة على أوجه بعض البلورات ، وتعرف باسم أوجه ذات نتوءات ، كما يوجد في بلورات معدن فلوريت . (٢ (البلورات التوأمية أو التوائم: يطلق اسم توأم أو بلورات توأمية على بلورتي المادة الواحدة اللتين تكونان مجموعة وتظهران متوازيتين توازيا جزئيا. ويحتفظ كل جزء من التوأم باتجاهات محاوره البلورية الخاصة ، ولكن يرتبط كل من هذه الاتجاهين بلوريا باتجاه الآخر ، شكل (١٢٩ ، ١٣٠) . وهذا الارتباط يمكن فهمه بسهولة إذا نحن تصورنا أن أحد جزئي التوأم قد دار زاوية مقدرها ١٨٠ درجة حول محور أو اتجاه ما لينطبق اتجاه هذا الجزء من اتجاه الجزء الآخر ،

ونلاحظ أن هذا المحور أو الاتجاه يظل مشتركا بين جزئي التوأم (هذا المحور عمودي على الوجه (٠٠١) في حالة البلورة شكل ١٢٩) ، ويعرف مثل هذا الاتجاه باسم المحور التوأمي . وعادة يكون هذا المحور التوأمي عبارة عن محور بلوري أو عمودي على أحد الأوجه البلورية. وعملية الدوران حول المحور التوأمي هي عملية تخيلية بحتة ، إذ يجب ألا يغيب عن ذهننا أن البلورة المركبة قد نمت على هذه الحالة التوأمية وتحدد فيها اتجاه كل من الجزأين منذ بدء العبداية. ونلاحظ في شكل (١٢٩) أن هناك زوايا داخلة ، تميز هذه التوائم. أما البلورة المفردة فإنها تظهر زوايا خارجة (تطل إلى الخارج) فقط. وقد يرتبط اتجاه كل من جزئي التوأم بواسطة مستوى ينعكس خلاله أحد الجزئين لينتج الجزء الآخر (مثل مستوى التماثل) ، شكل (١٣٢) ، ويعرف هذا المستوى باسم المستوى التوأمي . أما مستوى التركيب فهو المستوى الذي يبدو فهي جزئي التوأم ملتصقان ، وهو ينطبق على المستوى التوأمي ولكن ليس هذا دائما.

وتعرف التوأم دائما بواسطة قانون يذكر فيه ما إذا كان هناك محور توأمي أو مستوى توأمي ، وكذلك الاتجاه البلوري لهذا المحور أو ذاك المستوى.

وهناك صفات مختلفة للتوائم ، فمثلا إذا كانت بلورات التوأم ملتصقة بواسطة مستوى التركيب الذي يبدو سطحا مستويا فإن التوأم تعرف في هذه الحالة باسم توأم ملتصقة ، شكل (١٢٩ ، ١٣٢). أما إذا كان سطح الإلتصاق سطحا غير مستو ، أي تبدو بلورات التوأم متداخلة فإن التوأم في هذه الحالة تعرف باسم توأم متداخلة ، شكل (١٣٣) ، مثل توأم معدن فلوريت . والتوأم إذا تكون مفردة أو مضاعفة ، فالتوأم المفردة هي التي تتكون من جزئين اثنين فقط ، شكل (١٣٠) ، وهو يمثل توأم معدن الجبس ، أما التوائم المضاعفة فهي التي تتكون من أكثر من جزئين. والتوأم المضاعفة إما أن تكون عديدة التركيب ، شكل (١٣٤) ، توأم معدن البيت ، وذلك عندما تكون مستويات التركيب بين

أفرادها متوازية. وإما أن تكون مستويات التركيب بين أفرادها ماثلة في هيئة دائرية شكل (١٣٥) ، توأم معدن أراجونيت – ذلك عندما تكون مستويات التركيب ستورليت ، ويمثل شكل (١٣٧) توأم في شكل "الركبة" لمعدن كاسيتريت.(SnO_2)

(3)مجموعات البلورات المتجانسة غير المنتظمة: وهذه كثيرة الانتشار في الطبيعة حيث تبدو البلورات في المجموعة غير منتظمة ، مثل بلورات الكوارتز التي تتواجد في العروق ، وقد تكون البلورات منظمة إلى حد قليل حتى لتبدو المجموعة في هيئة وردة صغيرة ، أو كرة صغيرة. وبجانب تواجد مثل المجموعات البلورية المتجانسة غير المنظمة في العروق فإنها توجد أيضا في اللوزات التي توجد مالئة للقفافيع في الصخور البركانية.

)ب) **مجموعات البلورات غير المتجانسة:**

(1)مجموعات البلورات النطاقية: في هذه المجموعات تنمو بلورات المعادن المختلفة في تركيبها الكيميائي موازية لبعضها البعض ، وفي المادة تحيط البلورات بعضها ببعض أثناء النمو ، حتى أنها لتبدو في القطاع المستعرض كنطاقات أو أحزمة حول بعضها. وهناك شرطا أساسي يجب توافره بين المعادن المختلفة لتكوين المجوعات المتوازية (البلورات النطاقية) وهو أنه لابد أن تكون بلورات هذه المعادن متشابهة في أطوال محاورها البلورية ، وفي الزوايا بين الوجهية ، أي لابد أن تكون بلورات هذه المعادن أو المواد الكيميائية متشابهة البناء (لها نفس الترتيب الذري). فمثلا إذا علقنا بلورة من الشبة الكرومية (كبريتات الكروميوم والألومنيوم المائية) ذات اللون الاخضر الداكن في محلول مركز من الشبة البوتاسية (كبريتات البوتاسيوم والألومنيوم المائية)

ذات اللون الشفاف ، فإننا نشاهد البلورة الخضراء وقد أحيطت ببلورة شفافة من الشبة البوتاسية.

وقد يوجد أكثر من نطاقين في البلورة النطاثية . وفي جميع الحالات تتشباه المواد المختلفة الداخلة في تكوين البلورات النطاقية في بنائها الذري وشكلها البلوري الخارجي ، مثل هذه البلورات النطاقية كثيرة الظهور في الطبيع. ومنتشرة بين المعادن المختلفة ذات خاصية التبلور المتادخل (أي تكوين بلورات متاجنسة تحتوي على عناصر كثيرة ناتجة عن مقدرة بعض العناصر أن تحل مكان جزءا أو كل من عناصر أخرى). ولا يحدث التبلور المتداخل إلا بين المواد المتشابهة البناء والمتشابعة الشكل ، ومن أمثلتها معادن البجيوكليز (إحلال الصوديوم محل الكالسيوم أو العكس) ، ومعادن البيروكسين (سليكات حديد ومغنسيوم وكالسيوم وألومنيوم وصوديوم .. الخ) ، ومعادن الأمفيبول والتورمالين.

(2)**مجموعات البلورات المنتظمة**: وفي هذه المجموعات نجد توازيا جزئيا بين اتجاهات البلورات المختلفة ، بمعنى أن بعض المحاور البلورية متوازي والبعض الآخر غير متوازي. فمثلا قد توجد بلورات من معدن الروتيل محاطة ببلورة معدن ميكا بحيث يكون اتجاه المحور ج في الروتيل موازي لاتجاه المحاور الأفقية في الميكا.

(3)مجموعات البلورات غير المنتظمة: وهذه المجموعات تضم بلورات معادن مختلفة وذات اتجاهات مختلفة أيضا. وهذا النوع أكثر الأنواع انتشارا وشيوعا بين مجموعات البلورات المختلفة ، فهو الذي يوجد مكونا لكثيرمن الصخور.

مجموعات المعادن المتبلورة Crystalline aggregates

توجد كتل المعادن في الطبيعة في هيئة مجموعات لوحدات (حبيبات) لها بناء ذري منتظم ولكن ينقصها الأوجه البلورية ، وعلى ذلك فإن هذه الكتل هي مجموعات معدنية متبلورة ، وتأخذ هذه المجموعات في الطبيعة أشكالات مختلفة (ولو أن الحبيبات المكونة ليس لها أي شكل بلوري خارجي). ومن أمثلة هذه الأشكال ما يأتي ، شكل (١٣٨):

1-أليافية ، ابرية ، عمدانية ، عندما تكون حبيبات المعدن مجموعة في هيئة ألياف (اسبستوس) أو ابر (جبس) أو أعمدة (تورمالين). ٢ -صفائحية : عندما تكون حبيبات المعدن مجموعة في هيئة صفائح. ٣ -ميكائية: بلورات المعدن مرصوصة في هيئة ألواح رقيقة جدا ، مثل معادن الميكا. ٤- كروية: مجموعات حبيبات المعدن في شكل كرات صغيرة. ٥ -بطروخية: عندما تكون كتلة المعدن مكونة من حبيبات مستديرة صغيرة تشبه البطارخ (بيض السمك) ، مثل بعض أنواع الهيماتيت. ٦- باسلاتئية: عندما تكون في هيئة حبيبات البسلة. ٧ -حبيبية: عندما تكون حبيبات المعدن في شكل حبيبات مستديرة كبيرة كانت أو صغيرة. ٨ -نتوئية: عندما يغطي سطح المعدن ببلورات دقيقة بارزة أو ناتئة عليه. ٩ -عنقودية: مجموعة مكونة من كرات صغيرة ملتصقة ببعضها البعض وتشبه عنقود العنب ، مثل بعض أنواع الكالسيدوني .(SiO2)

10-كلوية: كتل مستديرة من المعدن ملتصقة ببعضها البعض ، كل واحدة منها تشبه الكلية ، مثل بعض أنواع الهيماتيت. ١١ -شجرية: عندما تصبح المجموعة في شكل شجرة متفرعة ، مثل بعض أنواع البيرولوسيت -12 .(MnO2) مجمية أو شعاعية: عندما تكون الوحدات المعدنية المكونة للمجموعة في هيئة أشعة دائرية ، مثل وفيلليت 13- .[Al8(OH)8(PO4)2.5H2O]نصلية: مجموعة من وحدات مبططة في شكل

نصل السكين ، مثل كيانيت -14 .(Al2SiO5) استلاكيتية: كتل في هيئة مخروط أو اسطوانة ، مثل بعض أنواع الكالسيت. ١٥ -كتلية: المادة المكونة للمعدن في هذه الحالة مضغوطة أو مكبوسة في هيئة كتلة ليس لها شكل معين. ١٦ -درنية: عندما تتجمع حبيبات المعدن بالترسيب حول نواة لتكون كتل كروية الشكل تقريبا. ١٧ -نرجيلات: عندما تبطن حبيبات المعدن إحدى الفجوات الكروية تقريبا من الداخل ، فإنه يطلق على هذه الكرة المفرغة من الداخل اسم نرجيلة. وغالبا المعدن مصفوفا في صفوف نتيجة لتعاقب ترسيبها. ١٨ -لوزية: كتلة في شكل اللوزة ، كما في معادن الزيوليت عندما تملأ حبيباتها الفجوات اللوزية الشكل (الناتجة من هروب الغازات والأبخرة) في الطفوح البركانية. ١٩ -عدسية: عندما تكون المجموعة في هيئة عدسة. ٢٠ -خيطية: عندما تتكون المجموعة من أسلاك رفيعة ، عادة ماتكون منحنية أو منثنية ، مثل الفضة. ٢١- شعرية: عندما تتكون المجموعة من بلورات رفيعة جدا مثل الشعر. ٢٢ -معرقية أو شبكية: عندما تتكون المجموعة من ألياف متشابكة في هيئة شبكة ، مثل الفضة

علم المعادن

Mineralogy

يختص علم المعادن Mineralogy بدراسة تلك المواد المتجانسة التى توجد فى الطبيعة وتتكون بواسطتها مثل الماس والذهب ، والتى نعرفها بإسم المعادن Minerals . لقد إسترعت المعادن انتباه الإنسان منذ قديم الزمن حيث ساهمت فى بناء حضارته المتطورة بصورة أو بأخرى. إن صخور الجبال ورمال الشواطئ والتربة الزراعية يتكون معظمها أو جزء كبير منها من المعادن. كذلك فإن جميع المنتجات التجارية غير العضوية التى نتداولها فى حياتنا اليومية إما أن تكون عبارة عن معادن أو صنعت من مواد معدنية ، فمواد البناء - على سبيل المثال لا الحصر - كالأسمنت والحديد والزجاج نحصل عليها من المعادن.

يعرف المعدن بأنه مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وله تركيب كيميائى محدد وترتيب ذرى داخلى منتظم وتركيب بلورى مميز.

ويتبين من التعريف أن المادة يجب أن توجد فى الطبيعة لكى تسمى "معدن" فمثلا: كبريتات الكالسيوم إذا وجدت فى الطبيعة أصبحت معدن، أما التى نحضرها فى المعمل فلا يطلق عليها هذا الإسم بل تصبح مركب كيميائى. والتركيب الكيميائى المميز أساس ضرورى أيضا لتسمية المعدن ولكن بعض المعادن تكون مجموعات متقاربة يتبادل فيها عنصر بآخر تبادلاً تدريجياً بحيث يصبح طرفا المجموعة متصلين بعدد من الأنواع الإنتقالية ذات التركيب المتوسط وعندئذ يعرف طرفا المجموعة بإسمى معدنين ثابتين، وقد تميز بعض الأنواع الإنتقالية فى المجموعة أيضا بأسماء معدنية ثابتة .ولكن التركيب الكيميائى المميز للمعدن ليس كافيا لتحديد شخصية المعدن فقد يتفق معدنان فى التركيب الكيميائى ولكنهما يختلفان فى كثير من الصفات الطبيعية كاللون والصلابة والكثافة وذلك لأن ذرات المعدنين تكون مرتبة ترتيبا مختلفا ، ولهذا نص فى تعريف المعدن أن يكون له تركيب بلورى خاص الذى قد يظهر على السطح تحت ظروف ملائمة فى شكل بلورى مميز ولمعظم المعادن تركيب كيميائى غير عضوى وهى إما

عناصر أو مركبات كيميائية ولكن غالبا ما تعتبر بعض المواد العضوية التركيب مثل الفحم والعنبر والبترول والأسفلت ضمن المواد المعدنية .

الدراسات المعدنية :

يشمل علم المعادن الدراسات الفرعية الآتية :

أولاً : الدراسة الطبيعية للمعادن Physical Mineralogy : وهى تشمل دراسة خواصها الطبيعية مثل اللون ، المخدش ، البريق ، الصلادة ، الوزن النوعى ، والصفات المغناطيسية والحرارية والكهربية .....الخ .

ثانياً : الدراسة الكيميائية للمعادن Chemical Mineralogy : تبحث هذه الدراسة فى التركيب الكيميائى للمعادن المختلفة وخواصها الكيميائية والعلاقة بين هذه الخواص والتركيب البلورى وكذلك البحث فى أصل المعادن Origin of Minerals وكيفية تكونها .

ثالثاً : دراسة الرواسب المعدنية Mineral Deposits : وتبحث فى التكوينات أو الرواسب المعدنية لمعرفة مكوناتها وأصلها ونشأتها وأماكن وجودها ، وهذه الدراسة أساسية لعلم المناجم Mining الذى يختص باستخراج وإستغلال الرواسب المعدنية وتجهيزها للصناعة.

رابعاً : الدراسة الوصفية للمعادن Descriptive Mineralogy : ويختص هذا الفرع بوصف المعادن - وخاصة المعادن ذات الأهمية - من حيث صفاتها الطبيعية والكيميائية ، وأصلها وكيفية تكونها وأماكن وجودها وفوائدها .

خامساً : الدراسة البصرية للمعادن Optical Mineralogy: وهى دراسة تكميلية وتأكيدية للتحقق من صحة تحديد شخصية المعادن المختلفة ، وذلك باستخدام الطرق البصرية بواسطة مجهر خاص (ميكروسكوب مستقطب).

أولاً - الدراسة الطبيعية للمعادن

الخواص الطبيعية للمعادن Physical properties of minerals

تتوقف الخواص الطبيعية للمعدن على تركيبه الكيميائى وتركيبه الذرى الداخلى إذا كان متبلوراً ، ولذلك فمعظمها مميز للمعادن المختلفة حيث أنها غالبا ما تكون ثابتة للمعدن الواحد ، وتساعد كثيراً على التعرف على شخصية المعدن بصفة مبدئية وتميزه عن المعادن الأخرى . وأهم الخواص الطبيعية للمعادن هــى :

١) **خواص ضوئية (أو بصرية) Optical properties**: تعتمد على الضوء مثل اللون ، المخدش ، البريق ، الشفافية والتضوء (تفسفر وتفلر) ...الخ .

٢) **خواص حواسية Sense properties**: تعتمد على بعض الحواس مثل الطعم والرائحة والملمس .

٣) **خواص تماسكية Cohesive properties**: تتوقف على حالة تماسك المعدن مثل الصلادة ، الإنفصام والمكسر وقابليته للسحب والطرق.

٤) **الوزن النوعى (الثقل النوعى) Specific gravity** .

٥) **الخواص الحرارية (Thermal) والمغناطيسية (Magnetic) والكهربية (Electric) والإشعاعية (Radioactivity) .**

الخــواص الضوئية (Optical properties)

اللـون (Colour):

ينتج لون المعدن عن قدرته على عكس نوع معين من الموجات الضوئية الملونة وإمتصاص الموجات الأخرى التى تكون أشعة الضوء الأبيض العادى ، فيبدو لون المعدن أحمر إذا كان يعكس الموجات الحمراء ويمتص جميع الموجات الأخرى المكونة للضوء العادى . ويظهر المعدن أسود اللون إذ أنــه لا يعكس الضوء ، أو يعكسه بكمية ضئيلة جداً لا تؤثر فى شبكية العين لتعطى الإحساس باللون . وإذا كان للمعدن القدرة ليعكس جميع الموجات أو الذبذبات الضوئية فإنــه يبدو أبيض اللون . ويعتبر لون المعدن من أهم الخواص الطبيعية الظاهرة الأخاذة التى يمكن الإستفادة منها فى تحديد شخصية بعض المعادن الثابتة اللون بصفة مبدئية .

كثيراً ما يكون لبعض المعادن ألوان ثابتة إلى حد ما ، وتسمى "إديوكروماتيك"''Idiochromatic'' ، ومن الأمثلة الشائعة لهذا النوع معدن الكبريت Sulfur (S) ولونه أصفر فاقع ، مالاكيت Malachite ولونه أخضر ، أزوريت Azurite [Cu3(CO3)2(OH)2] ولونه أزرق ، سنبار Cinnabar (HgS) ولونه أحمر قانى ، ماجنيتيت Magnetite (Fe3O4) ولونه أسود ، ومعدن بايريت Pyrite (FeS2) ولونه أصفر نحاسى .

وقد يتغير اللون فى الأنواع Species المختلفة للمعدن الواحد ويوصف حينئذٍ بأنه متغير اللون "أللوكروماتيك" Allochromatic . ويعزى تغير لون المعدن إلى إحتوائه على شوائب ملونة Pigments أو شوائب دخيلة تسمى مكتنفات Inclusions ، فمعدن الكوارتز النقى عديم اللون ، ولكن تظهر الأنواع غير النقية من نفس المعدن بألوان مختلفة مثل الكوارتز الوردى Rose Quartz الذى يحتوى على شوائب ملونة (أكاسيد حديد حمراء) تعمل عمل الأصباغ فى المعدن ، ويحتوى الكوارتز البنفسجى Amethyst على بعض شوائب ملونة بنفسجية (أكسيد المنجنيز) ، وكذلك الحال فى الكوارتز المدخن Smoky Quartz . وتنتشر الشوائب الملونة فى المعدن فى غير انتظام ، فقد توجد فى شكل بقع أو نقط غير منتظمة كما فى الكوارتز البنفسجى والياقوت الأزرق Saphir ، وأحيانا توجد الشوائب الملونة فى طبقات أو حلقات أو أحزمة منتظمة كما فى معدن العقيق Agate وهو كوارتز خفى التبلور ، والتورمالين Tourmaline . وقد يكون التغير فى لون الأنواع المختلفة للمعدن الواحد نتيجة إختلاف ضئيل فى التركيب الكيميائى (فى أضيق الحدود) من نوع لآخر ، فيظهر معدن السفاليريت Sphalerite (ZnS) فى ألوان مختلفة تتدرج من البنى المصفر إلى الأسود وذلك نتيجة تزايد نسبة عنصر الحديد فى الأنواع السوداء .

تلاعب الألوان "عرض الألوان" Play of colours :

تتوقف هذه الظاهرة على قدرة المعدن فى خاصية إنتشار الضوء Dispersion ، وتعزى هذه الخاصيةالى انقسام الأشعة الضوئية العادية البيضاء إلى مكوناتها الملونة

عند دخولها وخروجها من المعدن ، مثل الماس Diamond (C) الذى يتلاعب بالألوان أو يقوم بعرضها عند تغيير وضعه بالنسبة للعين ، نتيجة قدرته الفائقة فى خاصية الانتشار الضوئى.

تغيير الألوان Change of colours:

تشبه هذه الظاهرة إلى حدٍ ما خاصية تلاعب الألوان ، إلا أنها تنتج عن تداخل أشعة الضوء المنعكسة من أسطح مستويات متوازية تحتوى على صفائح رفيعة من معادن أخرى دخيلة فى المعدن . وتتمثل هذه الظاهرة بوضوح فى بعض أنواع معدن اللابرادوريت Labradorite [(Na,Ca)Al Si3O8] ، إذ يغير الألوان فى تتابع ظاهر ، فيعطى الألوان الزرقاء ، الخضراء ، الصفراء والحمراء عند تحريكه أمام العين أو إذا نظر إليه من إتجاهات مختلفة .

اللألأة "خاصية الأوبال" Opalescence :

هى مظهر لؤلؤى Pearly أو لبنى Milky لبعض المعادن مثل الأوبال Opal(SiO2.H2O) ، ومنه اشتق إسم هذه الخاصية . وتنتج اللألأة عن إنعكاسات ضوئية من داخل المعدن حيث توجد بعض جزئيات مختلفة الترتيب فتعطى صفات بصرية مختلفة ، وتظهر أحياناً باهرة اللون وخاصةً إذا كان سطح المعدن مصقولاً مثل معدن حجر القمر Moonstone .

التلون الطيفى Iridescence :

تتلون بعض المعادن بألوان الطيف الزاهية نتيجة تداخل أشعة الضوء فى شقوق دقيقة محاطة بأغشية هوائية أو سائلة داخل المعدن ، وتظهر هذه الخاصية فى بعض أنواع الكوارتز والكالسيت والميكا التى قد توجد فيها هذه الشقوق نتيجة كسور دقيقة غير ظاهرة .

اللون البراق (خاصية عين الهر) Chatoyancy :

وهى خاصية ظهور المعدن فى لون براق متموج يخطف البصر ، ويختلف بإختلاف إتجاه النظر إليه مثل لون الحرير المموج (شانجان Changant) . وينتج هذا

اللون البراق من إختلاف الإنعكاسات الضوئية على سطح المعادن الأليافية النسيج ، فتشبه بريق عين القط .

التصدؤ Tarnish:

عبارة عن تغير سطحى فى لون المعدن نتيجة تحلل الطبقة الخارجية منه بتعرضها لعوامل التجوية المختلفة فيظهر لونها مختلفاً عن اللون الأصلى لها . ولهذا يجب تعيين لون المعدن دائماً على سطح غير متصدى ، كسطح حديث الكسر .

التضوء Luminecence :

هو خاصية بعض المعادن التى لها قدرة الإشعاع الضوئى إذا ما تعرضت لطاقة أخرى مثل الطاقة الإحتكاكية ، الحرارية ، الكهربية أو الأشعة فوق البنفسجية ، وبذلك يظهر المعدن متألقاً وهاجاً ذو لون باهر قد يختلف تماماً عن لونه الأصلى قبل تعرضه لذلك المؤثر الخارجى . فتتضوأ إحدى عينات معدن الفلوريت Fluorite (CaF2) إذا ما وضعت على قرص حديدى ساخن وتتألق فى لون مختلف عن لونه الأصلى . وكذلك الحال عند حك قطعتين من معدن الكوارتز Quartz فى مكان مظلم فإنهما يشعان ضوءاً متألقاً ويتضوأ معدن الكالسيت Calcite (CaCO3) فى لون أحمر وهاج إذا ما تعرض للأشعة فوق البنفسجية . ومن التضوأ نوعان :

١) التفلـر Fluorescence :

حيث يتضوأ المعدن أثناء تعرضه للمؤثر الخارجى فقط ، وتزول هذه الخاصية بمجرد زوال المؤثـر ، وقد إشتـق هذا الإسم من معدن الفلـوريت (CaF2) الذى يمتاز بوضوح هذه الخاصية . من أمثلة المعادن التتبدى فى معظم الأحيان ظاهرة التفلر بالاضافة الى الكالسيت والفلوريت والويلليميت - معادن: الشيليت Scheelite (CaWO4) ، سكابوليت Scapolite (NaCaAl silicate) ، والأوتونيت Autunite (Hydrated CaU phosphate) .

٢) التفسفر (الفسفرة) Phosphorescence :

حيث يتضوأ المعدن أثناء وبعد تعرضه للمؤثر الخارجى . وقد تستغل خاصية التفسفر للتأكد من نقاوة بعض الأحجار الكريمة مثل الماس والياقوت وبعض المعادن الأخرى التى تتألق بوضوح بعد تعرضها للأشعة السينية (X-Rays) .

المخدش Streak :

وهو لون مسحوق المعدن ، وقد يختلف المخدش كثيراً عن لون المعدن فى حالته الكتلية ؛ فلون معدن البايريت أصفر نحاسى ولكن مخدشه أسود ، وتختلف معادن أكاسيد الحديد السوداء اللون مثل الهيماتيت(Fe2O3) Hematite ، والماجنيتيت (Fe3O4) Magnetite والجوثيت (Fe2O3, H2O) Geothite فى مخدشها ؛ فالأول ذو مخدش أحمر قانى ، والثانى أسود المخدش ، والثالث مخدشه أصفر . ويمكن التعرف على مخدش المعدن بواسطة حكـه على سطح لوحة من الصينى غير المصقول أو المطفى تسمى لوحة المخدش Streak plate ، وفى حالة ما إذا كان المعدن أشد صلابة من لوحة المخدش فإنـه لايترك عليها أثرا لمخدشه ، ويمكن الحصول على مخدش المعدن فى مثل هذه الحالة بطحن جزء صغير منـه إلى مسحوق ناعم ، أو يبرد طرف المعدن ونشاهد لون المسحوق الناتج.

البريق Lustre :

هو مظهر سطح المعدن فى الضوء المنعكس ، ويتوقف بريق المعدن فى نوعه وشدته على نوع ومقدار الإنعكاسات الضوئية على سطحه . ويعتبر البريق من الخواص الضوئية الأساسية والمميزة للمعادن . وللبريق أنواع :

١) البريـق الفلـزى Metallic Lustre :

وهو البريق العادى للفلزات مثل الذهب والفضة وكذلك المعادن القاتمة اللون ذات المظهر الفلزى مثل معدن البايريت (Fe2S) ومعدن الجالينا (PbS) .وتوجد معادن ذات بريق فلزى ضعيف " تحت فلزى " Submetallic lustre مثل الكروميت (FeCr2O4) Chromite ، الكوبريت (Cu2O) Cuprite ، وغالباً ما تكون المعادن ذات البريق الفلزى قاتمة اللون ، ثقيلة الوزن .

٢) البريـق اللافلـزى Nonmetallic Lustre :

يظهر هذا البريق عادة فى المعادن الفاتحة اللون والشفافة . ويشمل الأنواع التالية:

أ - بريـق زجـاجـى Vitreous (glassy) lustre :

وهو يشبه بريق الزجاج كما فى معدن الكوارتز ، ولبعض المعادن بريق زجاجى ضعيف " تحت زجاجى " Subvitreous lustre مثل معدن الكالسيت .

ب - بريـق صمغى "راتنجى" Resinous :

يشبه بريق الصمغ كما فى معدن الأوبال ومعدن العنـبر Amper (الصمغ الحفرى Fossil resin) ومعدن السفاليريت .

جـ - بريـق لـؤلـؤى Pearly lustre :

يشبه بريق اللـؤلـؤ كما فى معدن التلك Talc .

د- بريـق حـريـرى Silky lustre :

ويظهر هذا البريق على سطح المعادن الأليافية النسيج مثل أحـد أنواع معدن الجبس (معدن ستانسبار Stain spar) وعينات الأسبستوس المعروفة باسم أميانتوس Amianthus .

هـ - بريـق مـاسـى Adamantine lustre :

وهو بريق باهر نتيجة كبر معامل الإنكسار الضوئى فى المعدن مثل بريق معدن الماس

وتوصف شدة البريق بالنسبة لمقدار الضوء المنعكس على سطح المعدن كالآتـى :

بـاهـــر Splendent : عندما يعكس سطح المعدن الأشعة بوضوح كسطح المرآة مثل بعض عينات معدن الهيماتيت Hematite (Fe2O3) .

الشفافية Transparency:

تتوقف هذه الخاصية على قدرة المعدن على إنفاذ الضوء أو إرساله ، فالمعادن التى تسمح بإنفاذ الضوء بدرجة كبيرة وتسمح برؤية الأجسام خلالها بوضوح توصف بأنها شفافة Transparent مثل معدن الكوارتز الشفاف والسيلينيت ، ويوصف المعدن بأنه ضعيف الشفافية "تحت شفاف" Subtransparent أو شبه شفاف Semitransparent إذا كان يسمح بإنفاذ الضوء بدرجة أقل من المعدن الشفاف ، بمعنى أنه يسمح برؤية الأجسام خلاله بغير وضوح تام . وتوجد بعض معادن قادرة على إنفاذ الضوء ولكنها لاتسمح برؤية الأجسام خلالها فتسمى نصف شفافة Translucent مثل معدن العقيق المكسيكى Mexican Onyx . ويعرف المعدن بأنه معتم Opaque إذا لم يكن قادرا على إنفاذ الضوء حتى من شرائحه الرقيقة ، مع ملاحظة أن بعض المعادن القاتمة والتى تظهر كأنها معتمة فى حالتها الكتلية قد تكون نصف شفافة عند أحرفها الرفيعة أو شفافة فى شرائحها الرقيقة ومن أمثلة المعادن المعتمة البيريت(FeS2) ، الجالينا ، الجرافيت .

الخواص التماسكية Cohesive properties

تتوقف الخواص التماسكية للمعدن بصفة عامة على نوع التركيب البلورى ، أى الترتيب الذرى الداخلى وقوى الربط "الأواصر" Bonds بين الأيونات أو الذرات أو الجزيئات المكونة لبلورات المعدن ، ولذلك تختلف هذه الخواص من معدن لآخر ولكنها ثابتة ومميزة للمعدن الواحد . وأهم الخواص التماسكية مـايلـــى :

١) الصلابة Hardness:

صلابة المعدن هى خاصية مقاومته للخدش أو الكشط أوالتفتت والتآكل ؛ وتختلف صلابة المعادن عن بعضها كثيرا ولذا كان تعيينها من أهم الصفات المميزة للمعادن

وتعين درجة صلابة المعادن بالنسبة لصلابة احد المعادن العشرة القياسية المكونة لمقياس موه للصلابة Moh's scale of hardness وهذه المعادن العشرة هى كالآتى مرتبة ترتيباً تصاعدياً حسب درجة صلابتها :

١- التـلك Talc وصلابته ١

٢- الجبس Gypsum وصلابته ٢

٣- الكالسيت Calcite وصلابته ٣

٤- الفلورايت Florite وصلابته ٤

٥- الأباتيت Apatite وصلابته ٥

٦- الفلسبار الأرثوكلازى Orthoclase Feldspar وصلابته ٦

٧- الكوارتز quartz وصلابته ٧

٨- التوبـاز Topaz وصلابته ٨

٩- الكوارندام corundum وصلابته٩

١٠- الماس diamond وصلابته ١٠

وتعرف صلابة معدن ما بمحاولة خدشة أولا بالظفر فإذا خدش المعدن كانت صلابته أقل من " ٣ " ، وبذلك تتحدد صلابته التقريبية ، وعندئذ يسهل قياس درجة صلابته الحقيقية بإختباره بأحد معادن مقياس مـوه للصلابة: إما معدن التلك أو الجبس فى هذه الحالة فإذا خدش التلك المعدن المطلوب ايجاد صلابته فتكون صلابة المعدن أقل من " ١ " وتقدر حسب سهولة الخدش وإذا لم ينخدش المعدن بالتلك فيختبر مرة ثانية بمعدن الجبس.فإذا انخدش المعدن بسهولة كانت صلابته أقل من " ٢ " وتتراوح بين " ١ " ، " ٢ " ، فإذا.لم ينخدش المعدن بمعدن الجبس ، بل العكس صحيح فتكون صلابته أكثر من " ٢ " .

فإذا لم ينخدش المعدن المطلوب ايجاد صلابته بالظفر فيختبربمحاولة خدشه بنصل سكين أو بقطعة من زجاج النافذة فإذا خُدِش المعدن كانت صلابته التقريبية بين " ٣ " ، ".٥ " ثم يُختبر بواسطة المعادن القياسية فى مقياس موه للصلابة لتحديد صلابته

الحقيقية الصلابة فاذا إنخدش المعدن بمعدن الاباتيت مثلاً دل ذلك على ان صلابة المعدن اقل من ٥ وان هو فى الوقت نفسة خدش الفلورايت كانت صلابتة اكثر من ٤ فتكون صلابته الحقيقية بين " ٤ " ؛ " ٥ " أو " ٤.٥ " تقريباً وهكـذا .

وفى حالة ما لم ينخدش المعدن بنصل السكين تقدر صلابته التقريبية بأكبر من " ٥ " ونجرب خدشه بمبرد من الصلب وإن لم ينخدش كانت صلابته أعلى من ٦ - ٧ ، ويختبر بالمعادن القياسية الأخرى فى مقياس موه لتحديد صلابته الحقيقية بالطريقة السابق شرحها . وعند محاولة إختبار صلابة معدن بحكه بمعدن آخر يجب التأكد بعد مسح المسحوق المتكون على سطح المعدن من وجود خدش بهذا السطح ؛فاذا وجد خدش دل ذلك على أن المعدن المراد اختبار صلابتة أقل صلابته من المعدن الآخر إذا خدش معدن ما أحد معادن المجموعة القياسية وخدشه فى الوقت نفسه هذا المعدن دل ذلك على أن درجة صلابة المعدنين متساوية

وتستعمل لغرض قياس صلابة المعادن مجموعة من الأقلام تسمى أقلام الصلابة Hardness pencils وهى عبارة عن مواسك holders مثبت فى نهاية كل منها جزء مخروطى الشكل من أحد معادن المجموعة القياسية للصلابة. وتثبت هذة الاقلام أحيانا حول حلقة تعرف بعجلة الصلابة Hardness wheel.

٢) التشـقق (الإنفصـام) Cleavage:

التشقق (الإنفصام) هى خاصية تفتت أو إنقسام بعض المعادن المتبلورة فى إتجاه مستويات منتظمة متوازية إذا ما طرقت طرقاً خفيفاً ، وتعرف هذه المستويات بمستويات التشقق (مستويات الإنفصام) Cleavage planes وترتبط إتجاهات مستويات الإنفصام إرتباطا وثيقا بالتركيب البلورى فتكون دائما موازية لوجه بلورى معين أو عدة أوجه مميزة فى المعدن القابل للإنفصام . وينتج الإنفصام عن كيفية رص الذرات ونوع الروابط بينها ، ففى مستويات الإنفصام ذاتها تكون الذرات متقاربة الرص والروابط بينها قوية ، أى أن الذرات فى هذه المستويات كثيفة ومتماسكة فيما بينها بقوة ، فى حين أن رص الذرات يكون متباعداً نسبياً وأن قوى الربط بينها كذلك

ضعيفة فى الإتجاه العمودى على إتجاه مستويات الإنفصام . ومن البديهى إستنتاج أن خاصية الإنفصام لاتوجد فى المعادن غير المتبلورة .

وقد يوجد أكثر من إتجاه واحد لمستويات الإنفصام فى بعض المعادن وعادة ما يتميز أحد هذه المستويات بسهولة إنفصامه عن الإتجاهات الأخرى.ويوصف الانفصام بالنسبة للإتجاه البلورى للمستوى أو المستويات التى يوازيها ،.وبالنسبة إلى درجة كماله ، أى مدى سهولة الإنفصام فى كل من هذه المستويات . فالجالينا وملح الطعام (الهاليت) مثلا تتشقق فى مستويات موازية لاوجة المكعب فيسمى تشققها مكعبى Cubic . بينما تتشقق معادن الفلوريت والماس والكوبريت فى اتجاهات موازية لاوجة ثمانى الأوجه المكعبى Octahedron ولذا يسمى تشققها ثمانى الأوجه Octahedral ويوجد إنفصام معينى فى معدن الكالسيت حيث توازى مستويات الإنفصام أوجه معينى الأوجه مهما إختلفت هيئة بلورة الكالسيت.

ويوصف التشقق كذلك بدرجة تمامه وسهولته فيقال أن المعدن كامل التشقق perfect، أو غير كامل imperfect ، أو واضح التشقق distinct ، أو جيد good ، أو غير واضح indistinct ، أو ضعيف. poor ..الخ .

٣) الإنفصال Parting :

هى ظاهرة تجزؤ أو إنقسام المعدن إلى أجزاء عند مستويات ضعف غير متوازية فى إتجاهات غير ثابتة وغير مميزة . وتنتج ظاهرة الإنفصال من تأثير عوامل طبيعية خارجية على بعض المعادن بعد تكوينها بسبب تعرضها لعوامل ضغط أو تكسير أو عوامل إخلال تؤدى إلى سهولة إنفصال المعدن فى مستويات غير منتظمة . وليس من الضرورى ظهور مستويات إنفصال فى جميع بلورات المعدن الواحد حيث أن هذه الظاهرة لاترتبط بالتركيب البلورى ، ولكنها نتيجة للعوامل الخارجية التى كثيراً ما تختلف من مكان لآخر . وقد تتشابه مستويات الإنفصال ومستويات الإنفصام ظاهرياً ولكن يمكن بدقة الملاحظة ، تمييز الأخير بتوازى إتجاه مستوياته مع بعضها فى إتجاه

بلورى ثابت مميز ، وكذلك بتساوى المسافة بين مستويات الإنفصام وإختلافها فى مستويات الإنفصال .

٤) المكسر Fracture :

المكسر هو شكل أو هيئة سطح المعدن عندما ينكسر فى اتجاهات غير تلك التى يتشقق او ينفصل فيها فالمعادن التى لا تتشقق او يكون تشققها ضعيفا يتكون لها اسطح انكسارية بسهولة -وهذا يظهر بوضوح فى المواد غير المتبلورة Amorphous substancesالتى لا تتشقق فانها تظهر اسطح انكسارية اذا ما عرضت للخبط وتأخذ الاسطح الانكسارية Fracture surfacesأشكالا مختلفة أهمها:-

أ - المكسر المحارى Conchoidal fracture

حيث يتقوس السطح المنكسر ويظهر على هيئة خطوط مقوسة متراكزة تتسع وتتلاشى تدريجيا كلما بعدت عن نقطة مركزية ، وتشبه تماماً خطوط النمو فى المحارات مثل مكسر الكوارتز والفلنت ، وأحياناً يظهر المكسر المحارى ضعيفاً فيوصف بأنـه تحت محارى Subconchoidal .

ب- المكسر المستوى Even fracture

حيث يظهرالسطح المنكسر منبسط تقريبا أو مستوى مثل مكسر معدن التشيرت (سيليكا مائية خفية التبلور) Chert

ج - المكسر غير المستوى Uneven fracture

حيث ينكسر المعدن فى أسطح غير مستوية خشنة نتيجة وجود بروزات أو نتوءات دقيقة مثل معدن الرودونايت Rhodonite

د-المكسر الممشط (المسنن) Hackly fracture

حيث يظهرالسطح المنكسر على هيئة أسنان حادة وهو خشن غير منتظم مثل مكسر النحاس

٥-المكسر الأرضى Earthy fracture

حيث يأخذ السطح المنكسر مظهراً غير منتظم مثل أسطح المواد الارضية كالطباشير والكاولين والبوكسيت Bauxite.

٤) التماسك Tenacity :

التماسك هو خاصية المعادن عند محاولة كسرها أو قطعها أو شدها أو خبطها بمطرقة أوثنيها ، وتتوقف على درجة تماسك الجزيئات المكونة لها

وأهم انواع التماسك هى:-

أ- **قابل للكسر** (هش) Brittle :صفة المعدن الذى ينكسر اوينقصف أو ينسحق بسهولة ولا يمكن قطعة الى شرائح عند ضغطه أو طرقه مثل معدن البايريت ، الأباتيت [F, Cl (Ca-phosphate)] ، الفلوريت والكوارتز.

ب - **قابل للقطع او التشريح** Sectile وهى المعادن التى يسهل قطعها أو تشريحها بسكين إلى شرائح Slices مثل معدن الجبس (CaSO4.2H2O) والجرافيت (C) .

ج-**قابل للطرق** Malleable وهو المعدن الذى يمكن طرقه إلى صفائح رقيقة وفردها وتشكيلها مثل الذهب (Au) والنحاس (Cu)

د- **قابل للسحب** Ductile وهو المعدن الذى يمكن سحبه وتشكيله فى هيئة أسلاك مثل النحاس والفضة (Ag).

هـ- **قابل للإلتواء (للإنثناء)** Flexible :حيث يمكن ثنى طبقات رقيقة أو صفائح من المعدن دون أن تنكسر وتظل هذه الصفائح ملتوية هكذا حتى بعد زوال الضغط أو المؤثر المسبب لـه ،مثل معدن التلك والسيلينيت.

و- **مـــرن** Elastic : صفة المعدن القابل للإنثناء أو الإلتواء دون أن ينكسر ولكنه يرجع الى حالته الأولى فور زوال المؤثر الذى تسبب عنه الإنثناء (مثل الزنبرك). مثل الميكا وليس من الضرورى أن يكون المعدن القابل للإنثناء مـرناً ، فصفائح معدن

الكلوريت Chlorite (Al, Fe, Mg hydrated silicate) قابلة للإنثناء ولكنها ليست مـرنة ، فى حين أن صفائح الميكا مرنة وتبعا لهذا فإنها قابلة للإنثناء.

الخواص الحواسيةSense Properties

المذاق Taste :

تعرف بعض المعادن بمذاقها عندما تذاب فى الماء او فى اللعاب ويمكن عندئذ تميز أنواع المذاق الآتية:

١--ملحى saline مثل الهاليت أو ملح الطعام .

٢- قلوى alkaline مثل البوتاس والصودا.

٣- مرطب cooling مثل مذاق نترات الصوديوم وكلورات البوتاسيوم

٤- قابض astringent مثل مذاق الشب alum

٥- مـــر bitter مثل مذاق كبريتات الماغنسيوم المائية (إبسوميت Epsomite "MgSO4.7H2O").

الرائحة Odour :

لبعض المعادن رائحة خاصة مميزة عندما تخبط أوتحك أو تسخن أو يُتنفس عليها .وأهم هذه الروائح هى :-

١- رائحة طينية argillaceous (clayey) odour يمكن شمـها عندما يُتنفس على سطح الكاولين مثلاkaolin

٢- رائحة قطرانية bituminous وهى رائحة المعادن المحتوية على مادة قطرانية أو عضوية ويمكن الحصول عليها عندما نطرق العينة بشاكوش مثل الاسفلت

٣- رائحة زنـخة (عطنة) foetid مثل رائحة البيض الفاسد وتنبعث عند تسخين أو حك بعض عينات معدن الكوارتز أو الحجر الجيرى .

٤ - رائحة ثـوميـــة garlic وهى رائحة الابخرة المنبعثة من المعادن الزرنيخية عند حكها أو تسخينها مثل معدن الأرسينوبايرايت (FeAsS).

٥- رائحة كبريتية Sulfurous وهى رائحة كب أ٢ ؛ الذى يخرج عند تسخين الكبريتيدات كالبايريت pyrite .

الملمس Feel or touch :

ملمس المعدن هو التأثير الذى نشعر به عندما نلمسه أو نتناوله

أنواع الملمس المألوفة هى :

١- بارد cold وهو ملمس الموصلات الجيدة للحرارة كالمعادن الفلزية للنحاس والفضة وبعض الاحجار الكريمة

٢- شحمى او صابونى greasy or soapy مثل معدن التلك.

٣- خشن Rough or Harsh مثل ملمس معدن الطباشير

٤- ناعم smooth سطح أملس من غير نتوءات مثل السيبيولايت Sepiollite .

الوزن النوعى (الثقل النوعى) Specific gravity

الثقل النوعى لجسم صلب هو نسبة وزن حجم معين منه فى الهواء لوزن حجم مماثل له من الماء.عند ٤°٥ مئوية .وبعبارة أخرى هو نسبة كثافة المعدن إلى كثافة الماء. والثقل النوعى صفة من أهم الصفات المميزة للمعادن وهو ثابت القيمة للمعدن الواحد عند ثبات درجة الحرارة والتركيب الكيميائى. ويختلف الثقل النوعى إختلافاً واضحاً بين كثير من المعادن التى لها صفات طبيعيـــة شـــديدة التشـــابه ، فالسيليســتايت celestite (SrSO4) (كبريتات السترونشيوم) ثقله النوعى ٣.٩٥ يسهل تمييزه من المعدن الشديد التشابــه به وهو البارايت (كبريتات الباريوم) Barite (BaSO4) ذو الثقل النوعى ٤.٥. ويتوقف الثقل النوعى على التركيب الكيميائى للمعدن ، فقد تتغير قيمته وتتراوح بين قيمتين ثابتتين إذا ما تغير التركيب الكيميائى للمعدن كما هو الحال فى مجموعات المعادن المتشاكلة مثل مجموعة الأوليفينات التى يتراوح الوزن النوعى لأفرادها مابين "٣.٢" للنوع الغنى بعنصر الماغنسيوم (معدن الفورستريت Forsterite "Mg2(SiO4)") و "٤.٣" للنوع الغنى بعنصر الحديد (معدن الفاياليت

(Fayalite "Fe2(SiO4)") . وكذلك الحال فى مجموعة الفلسبارات البلاجيوكليزية التى يتناقص الوزن النوعى لأفرادها نتيجة إحلال عنصر الصوديوم محل عنصر الكالسيوم ، ويتراوح مابين "٢.٧٦" لمعدن الأنورثيت Anorthite (CaAl2Si2O8) ، "٢.٦" لمعدن الألبيت Albite (NaAlSi3O8) .ويتغير الوزن النوعى لأفراد مجموعة البيروكسينات Pyroxenes تبعاً لتغير التركيب الكيميائى ، فيصبح كبيراً نسبياً فى المعادن التى تحتوى على نسبة عالية من عنصر الحديد . ويرجع هذا الإختلاف فى الوزن النوعى إلى إختلاف الأوزان الذرية لمكونات المعادن .

ولايتوقف الوزن النوعى للمعدن على تركيبه الكيميائى فقط ، بـل يتوقف كذلك على التركيب البلورى ، فيتغير تبعاً لطريقة رص الذرات المكونة لـه . فقد يكون الترتيب الذرى للمعدن كثيفاً ، أى أن ذراته متراصة فى تقارب وإحكام فى نظام مميز ، أو قد يكون غير كثيف الترتيب حيث توجد الذرات المكونة له فى نظام رص متباعد ، فيتميز معدن الماس بوزن نوعى "٣.٥" أكبر من الوزن النوعى لمعدن الجرافيت "٣.٢" علماً بأن التركيب الكيميائى لكليهمـا واحد وهو عنصر الكربون (C). إلا أنهمـا يختلفان فى التركيب البلورى ، حيث أن التركيب البلورى للماس مكعبى النظام ، بينما فى معدن الجرافيت نجده سداسى النظام .

<u>تعيين الثقل النوعى للمعـادن :</u>

يمكن تعييـن الثقل النوعى للمعادن بطرق عديدة تتوقف على حجم وخواص المعدن . والفكرة الاساسية فى معظم التقديرات هو ان النقص فى وزن جسم مـا عندما يغمر فى الماء يساوى وزن الماء المزاح ، أى يساوى وزن حجم من الماء مساو لحجم الجزء المغمور من الجسم .

فاذا كان وهـ = وزن الجسم فى الهواء

وكان وم = وزن الجسم فى الماء

فإن النقص فى وزن الجسم = وهـ - وم = وزن الماء المزاح .

عندئذ يصبح الثقل النوعى لهذا الجسم = وهـ / وهـ - وم.

ولإيجـاد الثقل النوعى لمعدن مـا يجب التأكـد من نقاوته وخلـوه من الشوائب والفجوات الهوائية التى قد ينشأ عنها إختلاف الثقل النوعى للمعدن الواحد .وأهم الطرق المستعملة فى تعيين الثقل النوعى هــى :-

١) تعيين الثقل النوعى بواسطة الميزان الكيميائى العادى:

١ - يُوزن الجسم فى ميزان كيميائى جيد.

٢ - يُعلق الجسم بواسطة خيط أو سلك رفيع من أحد ذراعى الميزان ويغمر فى ماء موضوع فى كأس والكأس مرتكزعلى كوبرى خشبى فوق كفة الميزان.

٣ - يُعين وزن الجسم وهو فى هذا الوضع مغمورا فى الماء.

٤ - الثقل النوعى هو حاصل قسمة وزن الجسم فى الهواء على الفرق بين وزنه فى الهواء ووزنه فى الماء.

٢) تعيين الثقل النوعى بواسطة الميزان ذو السلك الزنبركى Spiral spring balance

يمكن تعيين الثقل النوعى بواسطة الميزان ذو السلك الزنبركى المعروف عادة باسم **ميزان جولى Jolly balance** (الشكل المقابل) .

يتركب الميزان من الأجزاء الآتية :

١- أنبوبة رأسية خارجية متسعة (١) مثبت بها ورنية داخلية ثابتة.

٢- أنبوبة مستديرة داخلية (٢) تتحرك داخل الأنبوبة الخارجية المتسعة بواسطة رأس كبيرة حلزونية (ر) ومثبت على هذه الأنبوبة المستديرة ورنية خارجية متحركة ومقياس مدرج من الجانبين ، فاذا ما تحركت الأنبوبة الداخلية إلىأعلى تحركت معها الورنية الخارجية المتحركة والمقياس المدرج .

٣- يوجد بداخل الأنبوبة المستديرة الداخلية قضيب ذو طول متغير (٣) . يحمل هذا القضيب السلك الزنبركى (٤)بواسطة ذراع ، ويتدلى فى نهاية السلك الزنبركى مؤشر أو دليل (٥) وكفتى ميزان (أ ، ب).

طريقة الاستعمال :

١- عند بدء أستعمال الميزان يجب ضبطه بحيث يكون المقياس المدرج والورنيتان والمؤشر (المعلق من السلك الزنبركى) كلها عند علامة الصفر وأن تغمر كفة الميزان السفلى فى الماء . ويمكن إعداد ذلك بتعديل طول القضيب الداخلى الذى يحمل السلك الزنبركى بواسطة اليد ثم نضبطه عند الصفر بواسطة المسمار الحلزونى الدقيق (الميكرومترى) Micrometer screw الموجود أسفل الزنبرك مباشرة .

٢- توضع قطعة المعدن فى الكفة العليا للميزان (ب) ثم تدار الرأس الكبيرة الحلزونية (ر) فتحمل معها كل من الأنبوبة المستديرة الداخلية والمقياس المدرج من الجانبين والورنية الخارجية إلى أعلى ، حتى نعيد المؤشر إلى علامة الصفر مرة ثانية. وفى هذا الوضع تسجل الورنية الداخلية (الثابتة) القراءة " و " على أحد التدريجين ، وهى مقدار الإستطالة التى حدثت فى السلك الزنبركى نتيجة لوزن قطعة المعدن فى الهواء . ويثبت المقياس المدرج عند هذه القراءة بواسطة مسمار حلزونى صغير عند الطرف السفلى للمقياس (٦).

٣- يُنقَل المعدن بعد ذلك إلى الكفة السفلى للميزان (أ) ويُغمَر فى الماء وتُحَرك الأنبوبة المستديرة الداخلية الى أسفل بواسطة الرأس الكبيرة الحلزونية (ر) حتى يشير المؤشر إلى الصفر مرة أخرى . وأثناء هذه العملية تتحرك الورنية الخارجية إلى أسفل بالنسبة للمقياس المدرج (الذى ثُبِتَ فى المرحلة السابقة) ، ونأخذ قراءة هذه الورنية فى هذا الوضع ولتكن " وَ " على التدريج الآخر ، وتمثل هذه القراءة مقدار مافقده المعدن فى الوزن نتيجة غمسه فى الماء .

وعلى ذلك فان القراءتين عند "و" وعند " وَ " هما كل البيانات المطلوب معرفتها لحساب الثقل النوعى للمعدن ، إذ أن :

$$\text{الوزن النوعى} = \frac{\text{الـوزن فـى الهـواء}\ \ \text{و}}{\text{ما يفقده الوزن فى الماء}\ \ \text{وَ}} = \frac{\text{و}}{\text{وَ}}$$

٣) تعيين الثقل النوعى بواسطة قنينة الكثافة "بيكنوميتر" Pycnometer :

تستعمل هذه الطريقة لتعيين الثقل النوعى للقطع الصغيرة من المعادن والأحجار الكريمة والبكنوميتر عبارة عن قنينة صغيرة من الزجاج لها غطاء من الزجاج أيضا ذو ثقب صغير يمر بطول هذا الغطاء المخروطى الشكل (الشكل المقابل) .وتتم الطريقة كالآتــى :-

١- يوزن المعدن بمفرده (فى الهواء) وليكن وزنه "و" .

٢- توزن القنينة وهى مليئة بالماء المقطر + المعدن (وهو موضوع على الكفة خارج القنينة ، وليكن وزنها فى هذه الحالة " وَ "

٣- توزن القنينة وهى مليئة بالماء المقطر وبداخلها المعدن وليكن وزنها فى هذه الحالة " وً " .

٤- وزن الماء المزاح (يساوى حجم قطعة المعدن) = وَ - وً

عندئذٍ فإن الوزن النوعى = و/ وَ - وً .

٤) تعيين الثقل النوعى بإستخدام السوائل الثقيلة Heavy Liquids ذات الوزن النوعى المعروف :

المعروف أن المعدن الثقيل يسقط إلى القاع إذا غمس فى سائل وزنه النوعى أقل من الوزن النوعى للمعدن . فإذا رفعنا الوزن النوعى للسائل - ويحدث ذلك مثلاً بأن نضيف سائلاً آخر له وزن نوعى أكبرقابل للذوبان تماماً فى السائل الأول - فإنه يمكننا أن نصل إلى درجة من الوزن النوعى للسائل الناتج الجديد بحيث إذا غُمِسَ المعدن فيه فإنه لايغطس ولايطفو ولكن يأخذ مكاناً متوسطاً ، أى يظل معلقاً فى وسط السائل وفى هذه الحالة يكون الوزن النوعى للمعدن مساوياً للوزن النوعى للسائل . ويمكن فى هذه

الحالة تعيين الوزن النوعى للسائل بسهولة وذلك بواسطة إستعمال ميزان وستفال Westphal balance (الشكل التالى)

حيث يوضع السائل المراد تعيين وزنه النوعى فى المخبار الذى يتدلى فيه الغاطس ، ثم توضع أثقال مناسبة على الذراع حتى يبقى الغاطس معلقا فلى السائل.، والميزان فى حالة إتزان ، ويُقرأ الوزن النوعى من عدد ونوع الأثقال المستعملة ، ويكون هذا العدد هونفسه الوزن النوعى للمعدن . ومن أمثلة السوائل التى تستعمل فى تعيين الوزن النوعى للمعادن هى :

١- البروموفورم Bromoform ، وزنه النوعى ٢.٩ .

٢- يوديد الميثيل Methylene iodide ، وزنه النوعى ٣.٢ .

ويمكن تقدير الوزن النوعى للمعدن بصفة تقريبية بواسطة اليد كالتالى:

المعدن خفيف إذا قل وزنه النوعى عن ٢.٤ .

المعدن متوسط إذا كان وزنه النوعى بين ٢.٤ ، ٣.٢ .

المعدن ثقيل إذا كان وزنه النوعى بين ٣.٢ ، ٥ .

المعدن ثقيل جداً إذا كان وزنه النوعى أكبر من ٥ .

ويستفاد من إختلاف الوزن النوعى فى فصل المعادن والخامات المعدنية وتركيزها .وتستغل الطبيعة أيضا هذا الإختلاف فى الوزن النوعى فى فرز المعادن Sorting ، وتجميعها فى أماكن مختلفة ، كل بحسب وزنه النوعى . فمثلا المعادن الثقيلة لاتنتقل مسافات كبيرة وتتركز بالقرب من مصادرها الأصلية . أما المعادن الخفيفة فيمكن للسيول أو المياه الجارية أو حتى الرياح أن تنقلها إلى مسافات بعيدة عن مصادرها الأصلية وبذلك تفصلها عن المعادن الثقيلة.

وأثناء تبلور الماجما Magma التى تتكون منها المعادن والصخور النارية - تريب المعادن الثقيلة إلى القاع بينما تطفو بقية المعادن وتبقى بالقرب من الجزء العلوى للجسم المتبلور .

الخواص الحرارية Thermal Properties

قابلية المعدن للإنصهار Fusibility :

إذا عرضنا قطعة صغيرة من المعدن لها حروف حادة للهب بواسطة ملقاط ، نلاحظ أن بعض المعادن تنصهر فى لهب الشمعة ، فى حين لاتنصهر معادن أخرى فى هذا اللهب ، ولكنها تنصهر فى لهب مصباح بنزن ، ومعادن ثالثة تنصهر فقط فى لهب البورى (لهب بنزن ممزوج بكية كبيرة من الهواء) ، ومعادن رابعة تستدير حوافها فقط فى لهب البورى ، ومعادن أخيرة لاتنصهر بالمرة ولاتتأثر بلهب البورى ، وتعرف هذه الخاصية بإسم قابلية المعدن للإنصهار Fusibility .

وتعيين درجة الإنصهار للمعادن من الأمور الصعبة ، وليس له أهمية كبيرة فى التعرف على المعادن ، ولكنه ذو فائدة وأهمية فى الدراسات النظرية والبتروجرافية (دراسة الصخور) .

الخواص المغناطيسية Magnetic Properties

يتميز معدن الماجنيتيت Magnetite (Fe3O4) بخاصيته المغناطيسية القوية . كما أن بعض عينات هذا المعدن لها القدرة على الاستقطاب بحيث ينجذب أحد طرفيها إلى القطب الشمالى لإبرة البوصلة ، بينما يتنافر الطرف الآخر. وبعض المعادن مثل الهيماتيت Hematite (Fe2O3) والكروميت Chromite (FeCr2O4) ، والولفراميت Wolframite [(Fe,Mn)WO4] لها خاصية الانجذاب إلى المغناطيس وتسمى هذه الخاصية بـ"البارامغناطيسية" . أما المعادن التى تتنافر مع المغناطيس مثل الكالسيت Calcite (CaCO3) ، والكوارتز Quartz (SiO2) ،

والزركون Zircon ($ZrSiO_4$) فتسمى "ديامغناطيسية" . ومن ضمن التطبيقات الهامة للخواص المغناطيسية للمعادن نذكر مايأتى:

(أ) يعتمد الكشف الجيوفيزيقى لبعض الرواسب المعدنية الفلزية مثل خامات الحديد والنيكل على الصفات المغناطيسية لمعادن الأكاسيد والكبريتيدات لهذه الفلزات .

(ب) تستخدم وسائل الكشف الجيوفيزيقى بالطرق المغناطيسية لتحديد تراكيب الصخور تحت السطحية وبذلك تساعد فى البحث عن البترول والغاز الطبيعى والمياه الأرضية ، وفى دراسة مواقع المنشآت الهندسية الهامة مثل السدود والخزانات والأنفاق .

(جـ) نتيجة لاختلاف المعادن فى خواصها المغناطيسية فإنه يمكن فصلها وتركيزها بالوسائل الكهرومغناطيسية والتى تعتبر من الطرق الهامة المستخدمة على نطاق صناعى كبير فى عمليات تركيز الخامات ، ويمكن بتغيير شدة المغناطيس الكهربى فصل المعادن ذات الخواص المغناطيسية المختلفة عن بعضها .

الخواص الكهربية Electrical Properties

بعض المعادن ذات البريق الفلزى مثل الجرافيت والكبريتيدات (ماعدا السفاليريت) وبعض الأكاسيد موصلة جيدة للكهرباء ، ولكن معظم المعادن موصلة رديئة أو غير موصلة للكهرباء . وعند تسخين بعض المعادن تحت ظروف معينة تصبح مشحونة بالكهرباء وتسمى هذه الخاصية بالكهرباء الحرارية Pyroelectricity وتوجد هذه الخاصية فقط فى بلورات المعادن التى لايوجد بها مركز للتماثل ولها محاور قطبية للتماثل تنتهى بأوجه غير متشابهة مثل بلورات معدن التورمالين Tourmaline . كذلك قد تتولد شحنات كهربية على بلورات ليس لها مركز للتماثل نتيجة للضغط الموجه على البلورة وتسمىهذه الخاصية بالكهرباء الإحتكاكية Piezoelectricity ، وتشبه الكهرباء الحرارية فى أنها أكثر وضوحاً على طول

المحاور القطبية التى تسمى بالمحاور الكهربية . وفى حالة بعض الخامات المعدنية الفلزية مثل خامات النحاس والرصاص تستخدم طرق الإستكشاف الجيوفيزيقى بالوسائل الكهربية للبحث عن هذه الخامات تحت سطح الأرض . وجدير بالذكر أنه فى الأغراض الصناعية تتم إحدى طرق فصل خليط من المعادن ذات خواص كهربية مختلفة بالوسائل الكهربية الاستاتيكية ، فعلى سبيل المثال يمكن باستخدام هذه الطريقة فصل معدن السفاليريت الموصل الردىء للكهرباء من معادن جيدة التوصيل الكهربى مثل الجالينا والبيريت .

خاصية الإشعاع الذرى Radioactivity

تنتج هذه الخاصية عن إحتواء المعدن لبعض العناصر المشعة مثل اليورانيوم أو الثوريوم ، وفى هذه الحالة يصدر عن المعدن إشعاعات Radiations لانراها أو نشعر بها ، ولكن إذا عُرضَ العدن للوح فوتوغرافى حساس فإن هذه الإشعاعات تؤثر على اللوح ، وتترك أثراً وصورة للمعدن المشع بعد تحميض اللوح ولذلك يمكن الكشف عن هذه المعادن المشعة بواسطة الألواح الحساسة الفوتوغرافية أو بواسطة أجهزة خاصة تتأثر بهذه الشعاعات وتحولها إلى صوت يمكن سماعه بسماعة الجهاز أو وميض ضوئى يمكن رؤيته . ومن أمثلة هذه الأجهزة عداد جيجر Geiger Counter وهو جهاز صغير يسهل حمله فى اليد ، ويساعد كثيراً فى الكشف عن الخامات المشعة على سطح الأرض .

التركيب الكيميائى للقشرة الأرضية

قام الجيولوجيون بجمع عينات كثيرة لأنواع مختلفة من الصخور ، ومن مناطق متعددة من سطح الأرض ، ثم قاموا بعد ذلك بتحليلها بغية الوصول إلى معرفة تركيبها الكيميائى . ومن هذه التحاليل توصلوا إلى معرفة متوسط التركيب الكيميائى للجزء الخارجى من القشرة الأرضية كما هو مبين فى الجدول التالى :

التركيب فى صورة عناصر			التركيب فى صورة أكاسيد		
إسم العنصر	الرمز	النسبة %	إسم الأكسيد	القانون	النسبة %
الأكسجين	O	٤٦.٧١	-	-	-
السيليكون	Si	٢٧.٦٩	سيليكا	SiO2	٥٩.٠٨
الألومنيوم	Al	٨.٠٧	ألومينا	Al2O3	١٥.٢٣
الحديد	Fe	٥.٠٥	أكسيد الحديد	FeO, Fe2O3	٦.٨١
الكالسيوم	Ca	٣.٦٥	أكسيد الكالسيوم	CaO	٥.١٠
الصوديوم	Na	٢.٧٥	أكسيد الصوديوم	Na2O	٣.٧١
البوتاسيوم	K	٢.٥٨	أكسيد البوتاسيوم	K2O	٣.١١
الماغنسيوم	Mg	٢.٠٨	أكسيد الماغنسيوم	MgO	٣.٤٥
المجموع		٩٨.٥٨	المجموع	-	٩٦.٤٨

من هذا الجدول يمكننا أن نلاحظ حقيقتان هامتان :

١) أن ثمانية عناصر فقط تكون حوالى ٩٩% بالوزن من تركيب القشرة الأرضية وأن بقية العناصر ومن بينها الذهب والفضة والنحاس والرصاص والزنك تكون فقط ١% بالوزن من تركيب القشرة الأرضية.

٢) أن الأكسجين هو أكثر العناصر الثمانية إنتشاراً على الإطلاق ولكن هذا لايعنى أن الأكسجين حر طليق فى القشرة الأرضية ولكنه مرتبط إرتباطاً كيميائياً فى الصخور المختلفة ـ كذلك الحال بالنسبة للعناصر السبعة الأخرى فهى لاتوجد بحالتها العنصرية هذه فى الصخور .

وتشير الدراسة الكيميائية أن العناصر سالفة الذكر عبارة عن فلزات بإستثناء الأكسجين والسيليكون فله ميل نحو الفلزات وكذلك خواصه تدل على أنه يقع بين الفلزات واللافلزات . وتتحد العناصر السبعة مع الأكسجين لتكون الأكاسيد :

مثال : $MgO + SiO_2 \longrightarrow MgSiO_3$

سيليكات الماغنسيوم (معدن الإنستاتيت Enstatite)

وعادة مايتحد أكثر من أكسيد فلزى مع أكسيد السيليكون لتكون سيليكات ثنائية أو ثلاثية أكثر تعقيدا مثل سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم .

مثال : $K_2O + Al_2O_3 + 6\ SiO_2 \longrightarrow AlSi_3O_8$

معدن الأرثوكليز Orthoclase

هذه السيليكات وغيرها من المركبات الكيميائية التى توجد فى الطبيعة وتكونت بفعل الطبيعة ، هى مانسميها بالمعادن ، وهى التى تدخل فى تركيب الصخور المختلفة التى تكون القشرة الأرضية والغلاف اليابس .

وهناك بعض العناصر تكون معادن بمفردها ، مثل الذهب والنحاس والكبريت والكربون . ونظراً لتواجد هذه المعادن فى الطبيعة مكونة من عنصر واحد فقط ، لذلك فإنها تعرف بإسم المعادن العنصرية Native Minerals ومن أمثلتها معادن الذهب والنحاس والكبريت والماس والجرافيت . ويجب أن نضع فى الإعتبار دائماً أن الخاصية الأساسية للمعادن أنها تنتج وتتكون بواسطة الطبيعة ، أى أنها منتجات طبيعية وليست صناعية .

وفى كثير من الأحوال لايوجد المعدن بمفرده فى الطبيعة ، ولكنه يوجد مختلطاً مع معدن آخر أو أكثر ، وينتج عن ذلك مخلوط من عدة معادن مثل هذا المخلوط الطبيعى من معادن مختلفة هو مايُعرَف بإسم صخر Rock.

دراسة الرواسب المعدنية Mineral Deposits

أصل المعادن وتجمعاتها وظهورها فى الطبيعة

تبحث هذه الدراسة فى طريقة تكوين الرواسب المعدنية من حيث أصلها Origin ، وكيفية نشأتها وتجمعاتها Paragenesis ، وظهورها فى الطبيعة Occurrence.

تختلف المعادن إختلافاً بينـاً يتوقف على أصلها ، فينشأ بعضها من مصهور صخرى "صهير أو ماجما" Magma ، وبعضها من محاليل ، وقد ينشأ البعض الآخر من أصل غازى ، أو من مادة صلبة سبق تكوينها ثم اضطرت إلىالتغير أو التحول نتيجة لتغير الظروف الطبيعية المحيطة بها . وتتكون المعادن فى تجمعات طبيعية مميزة تدل دلالة واضحة على أصلها وكيفية نشأتها ، فالمعادن المكونة لإحدى التجمعات مرتبطة ببعضها إرتباطا وثيقا فى أصلها وبيئتها ، وغالبا ماتعبر تعبيراً صادقاً عن نسأتها من أصل واحد ، أى من مكونات متشابهة العناصر ، بل تعبر كذلك على ظروف بيئية أى ظروف نشأة واحدة ، فمثلاً يدل تجمع معادن الأباتيت ، الفلوريت

، التوباز ، التورمالين على أنها تتكون من أصل يحتوى على عناصر الفوسفور والبورون والفلور والكلور ، وأنها تكونت تحت درجة عالية من الحرارة والضغط ، فى حين أن تجمعاً من معادن الكبريتيدات مثل البايريت ، ستيبنيت (Stibnite (Sb2S3 وأرجينتيت (Argentite (Ag2S تدل دلالة قاطعة على أنها نشأت من أصل يحتوى على عنصر الكبريت بجانب عناصر أخرى تحت ظروف متوسطة من الحرارة والضغط . وتتكون الرواسب المعدنية بطرق مختلفة أهمها مايأتى :

تكون المعادن من الصهير "الماجما" Magma ، أو الحمم "لافا" Lava

الصهير عبارة عن سائل صخرى منصهر ، معقد التركيب ، ثقيل القوام ولزج لدرجة تسمح بتحرك العناصر المكونة له بحرية فى درجات الحرارة العالية ، ويوجد على أعماق بعيدة تحت سطح القشرة الأرضية . وأما الحمم أو اللافا فهى سائل صخرى منصهر يظهر على سطح الأرض متدفقا من فوهات البراكين الثائرة . ويتوقف نوع المعادن الناتجة من الصهير على تركيبه الكيميائى . ويتكون الصهير بصفة عامة من :

١) مكونات غير طيارة Non-volatile constituents : ذات درجة إنصهار عالية تزيد على ١٠٠٠ □م ، وتتكون ٩٩% من هذه المواد من أكاسيد سبعة أحدها حامضى وهو ثانى أكسيد السيليكون (SiO2) ويوجد بنسبة عالية جداً تتراوح ما بين ٣٥% إلى ٧٥% من مجموع المكونات غير الطيارة . وأما باقى الأكاسيد فهى قاعدية وتشمل أكسيد الألومنيوم (Al2O3) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى ٢٥% ، وأكاسيد الحديدوز والحديديك (FeO, Fe2O3) ، وتتراوح نسبتها ما بين صفر إلى ٢٠% ، وأكسيد الماغنسيوم (MgO) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى ٤٥% ، وأكسيد الكالسيوم (CaO) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى٢٠% وأكسيد الصوديوم (Na2O) من صفر الى ١٦% ، وأكسيد البوتاسيوم (K2O) من صفر إلى ١٢% . ولاتوجد كل هذه الأكاسيد مجتمعة فى كل ماجما ، فالصهير الغنى بالسيليكا والألومينا والقلويات

(صوديوم - بوتاسيوم) عادة ما يكون فقيراً فى أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والحديد . وتكثر الأكاسيد الثلاثة الأخيرة فى الصهير الفقير فى السيليكا والألومينا والقلويات .

٢) مكونــات طيــارة Volatile constituents : مثل الفلور ، الكلور ، البورون ، الكبريت ، بخار الماء وثانى أكسيد الكربون ، وتوجد بكميات ضئيلة جداً فى أنواع الصهير المختلفة ، ولكن قد تزداد كمياتها نتيجة تركيزها أثناء تصلد الصهير .وهذه المواد الطيارة ذات أهمية بالغة فى تكوين الركاز "خامات المعادن" Mineral Ores . وتكون المواد الطيارة مع بعض المواد غير الطيارة الأخرى الثانوية مايعادل ١% فقط من الصهير .

عندما يبرد الصهير يبدأ فى التصلد والتبلور باتحاد واحد أو أكثر من الأكاسيد القاعدية مع السيليكا الحامضية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط ليكون معادن السيليكات . ويتوقف نوع معادن السيليكات الناتجة على تركيب الصهير ، فذلك الغنى أصلا بالسيليكا والألومينا والقلويات يكون معادن الفلسبارات والكوارتز والماسكوفيت ، بينما تنتج المعادن الحديدوماغنيسية مثل الأوليفين ، والبيروكسينات ، الأمفيبولات ، والبيوتيت من صهير غنى أصلا فى السيليكا وأكاسيد الماغنسيوم والحديد والكالسيوم ، وأما الصهير الغنى بالقلويات والفقير فى السيليكا فإنـه يعطى معادن ذات نسبة عالية من القلويات تسمى المعادن الفلسباثية Felspathoids مثل النيفيلين Nepheline (NaAlSiO4) ، لوسيت Leucite (KAlSi2O4) .

تصلـــد الصهيـــر Consolidation of Magma

يتصلد الصهير فى مراحل مختلفة كمـايلــى :

١) **مرحلة الصهير القويم Orthomagmatic stage**: وتبدأ بعملية إنعزال أو تمايز Segregation لبعض الفلزات ، والأكاسيد الفلزية وبعض الكبريتيدات الفلزية الصعبة الذوبان أو الإمتزاج فى الصهير . وينتج عن عملية التمايز تركيز المواد ذات الأهمية الإقتصادية فى رواسب معدنية تحتوى على الفلزات مثل الذهب والبلاتين ،

والأكاسيد مثل معدن الماجنيتيت ، الإلمنيت Ilmenit (FeTiO3) ، الكروميت Chromite (FeCr2O4) ، والكبريتيدات مثل معدن الكالكوبيريت Chalcopyrite (CuFeS2) ، ومعدن بيروتيت Pyrrhotite (FeS) . وتسمى هذه المعادن عادة بالمعادن الإضافية Accessory minerals ، حيث أنها تكون جزءاً صغيراً جداً بالنسبة لكتلة الصهير ، وتسمى المعادن السيليكاتية معادن أساسية لأنها تكون مايقرب من ٩٩% من الصهير . وبإنخفاض درجة حرارة الصهير تبدأ المعادن الأساسية Essential mineralsفى التبلور حسب نظام معين :

فتتبلور أولا المعادن القاعدية الفقيرة فى السيليكا وذلك لأنها أقل ذوباناً من غيرها ، ثم تليها المعادن الأقل قاعدية المحتوية على نسبة كبيرة من السيليكا ثم الأكثر حامضية التى تحتوى على نسبة قليلة من العناصر القاعدية . وتعرف هذه العمليات الإنفصالية لمعادن السيليكات أثناء تصلد الصهير بالتبلور النوعى Crystallization differentiation أو التبلور التجزيئى Fractional Crystallization ؛ فمثلاً عند تصلد صهير متوسط التركيب تبدأ معادن السيليكات الحديدوماغنيسية Femic - المحتوية على نسبة عالية من عناصر الحديد والماغنسيوم فى التبلور مثل معادن **مجموعة الأوليفين** (سيليكات الحديد والماغنسيوم) ، تليها **معادن الفلسبارات البلاجيوكليزية** ، وتبدأ هذه بالمعادن الغنية بالكالسيوم (الأنورثيت - أكثر قاعدية من البلاجيوكليز الصوديومى) ثم تتدرج إلى المعادن البلاجيوكليزية الفقيرة فى الكالسيوم والغنية فى الصوديوم (ألبيت) . وقد تنفصل فى نفس الوقت **معادن البيروكسينات** وهى سيليكات الألومنيوم والماغنسيوم والحديد والكالسيوم مثل الإنستاتيت Enstatite (MgSiO3) ومعدن الأوجيت Augite ، ثم تلى البيروكسينات فى عملية التبلور النوعى **معادن الأمفيبولات** وهى سيليكات الألومنيوم والكالسيوم والحديد والماغنسيوم والماء مثل معدن الهورنبلند Hornblende . يتبع ذلك **معادن الميكا** مبتدئة بمعدن الميكا السوداء المحتوية على الحديد والماغنسيوم مثل البايوتيت Biotite (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والحديد والماغنسيوم والماء) ، ثم الميكا البيضاء الخالية من

الحديد والماغنسيوم مثل الماسكوفيت Muscovite (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والماء). وفى ذلك الوقت الذى تنفذ فيه كمية العناصر القاعدية (الماغنسيوم والحديد والكالسيوم) من الصهير تبدأ المعادن الأقل قاعدية ، الخالية من هذه العناصر والمحتوية على القلويات (الصوديوم والبوتاسيوم)، فى التبلور ، فتبدأ بالبلاجيوكليز الصوديومى مثل الأليجوكليز والألبيت Aligoclase & Albite (سيليكات الألومنيوم والصوديوم)، ثم **معادن الفلسبارات البوتاسية** مثل معدن الأرثوكليز والميكروكلين Orthoclase & Microcline (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم). ويصبح الصهير بعد ذلك خالياً من كل أكاسيد العناصر القاعدية فتزداد الحموضة نسبياً بإزدياد السيليكا ويبدأ **معدن الكوارتز Quartz** فى التبلور. وبانتهاء مرحلة الصهير القويم - التى يتم فيها تمايز بعض الفلزات وأكاسيدها وكبريتيداتها ثم إنفصال بقية المواد غير الطيارة بالتبلور النوعى - يصبح الصهير المتبقى غنياً فى المواد الطيارة Volatile constituents والمواد الصاهرة Fluxes. وتتكون المواد المتخلفة عن المرحلة الأولى من جزئيــن : جزء سائل أقل لزوجة عن المرحلة السابقة **ويعرف بالمرحلة البيجماتيتية Pegmatetic stage** ، ويشمل الجزء الآخر الغازات والأبخرة والمواد الطيارة ويكون المرحلة الغازية Pneumatolytic stage .

٢) المرحلة البيجماتيتية Pegmatetic stage :

يتكون الصهير فى هذه المرحلة من الجزء السائل الذى يزداد فيه تركيز بعض المعادن ذات القيمة الإقتصادية ، التى تتكون من العناصر الإضافية (غير الأساسية بالنسبة إلى الصهير كله). ويؤدى إغتناء هذا الجزء السائل بالمواد الصاهرة Fluxes إلى نمو بلورات المعادن فى هذه المرحلة إلى أحجام كبيرة تسمح باستغلالها . وتسمح درجة سيولة الصهير فى هذه المرحلة بحرية التحرك لمكوناته ، إذ غالباً مايغزو السائل البيجماتيتى الفراغات والشقوق ويتسرب بين مستويات الكسور فى الصخور المحيطة به - وقد يتسرب الى مسافات بعيدة - حيث تقل درجة حرارته وتبدأ مكوناته فى التبلور

ببطء ، فتنمو بذلك بلورات ذات حجم كبير لمعادن ذات قيمة إقتصادية مثل الفلسبار والكوارتز والميكا ومعادن الزينة مثل التوباز (الزمرد) والأباتيت والتورمالين .

٣) المرحلة الغازية Pneumatolytic stage :

هذه هى مرحلة الغازات المتبقية بعد المرحلتين السابقتين من تصلد الصهير ، وتتكون من غازات وأبخرة حارة نشطة ومواد طيارة قوية التفاعل . وتتسرب هذه الغازات احثة عن منفذ لها بين الشقوق والفواصل والفوالق والكسور والمسام فى صخور المكان Country Rocks أى المحيطة بالصهير ، حيث تتعرض للبرودة ، وتتفاعل مع بعضها وكذلك مع الصخور المحيطة بها ، أو قد تتفاعل مع المعادن التى قد سبق تكونها من تصلد الصهير فى مرحلتيه السابقتين ، فتكون معادن أخرى مميزة لهذه المرحلة مثل:-

أ - معادن الكاسيتريت (SnO2) Cassiterite، والولفرامايت

[(Fe,Mn)WO4]Wolframite : حيث يتفاعل الفلور (F) وهو أحد المكونات الطيارة للصهير مع القصدير (Sn) مكوناً فلوريد القصدير (SnF4) وهذه مادة طيارة سهلة التسرب والهروب من الصهير ، ثم تتفاعل مع الماء فى درجة حرارة منخفضة وينتج عن هذا التفاعل أكسيد القصدير (معدن الكاسيتريت "SnO2" Cassiterite) ، وحمض هيدروفلوريك (HF) الذى يتفاعل بدوره مع الصخور الجيرية المجاورة ليكون فلوريد الكالسيوم وهو معدن الفلوريت (CaF2) ، ولهذا غالبا مايوجد معدن الكاسيتيريت مصحوباً بمعدن الفلوريت أومجاورا لـه.

ب - معادن التيتانيوم : يتفاعل غاز الكلور مع التيتانيوم الذى قد يتواجد فى الصهير فينتج كلوريد التيتانيوم (TiCl4) الطيار الذى يتفاعل مع الماء وينتج عنه حمض الهيدروكلوريك وأكسيد التيتانيوم (TiO2) مثل معادن الروتيل Rutile، أناتاز Anatase ، بروكيت Brookite.

جـ - معادن الفوسفور : مثل الأباتيت Apatite (فوسفات وكلوريد أو فلوريد الكالسيوم) ، والمعادن الحاوية للبورون مثل معدن التورمالين Tourmaline (بوروسيليكات الألومنيوم والحديد والماغنسيوم والكالسيوم) ، والمعادن الحاوية للفلور مثل معدن التوباز Topaz [Al2(SiO4)(F,OH)2]. ومن الجدير بالذكر أن بعض الغازات الطيارة قد تتصاعد من فوهات البراكين الثائرة وقت إنفجارها فلا تلبث أن تبرد وتتجمد بسرعة نتيجة الإنخفاض المفاجىء فى درجة الحرارة والضغط الواقع عليها فتترسب مباشرة حول فوهات البراكين حيث توجد معادن الكبريت وأحياناً هاليت وملح الأمونيا Sal-ammoniac، وحمض البوريك .

٤) مرحلة المحاليل المائية الحارة Hydrothermal stage :

وهذه آخر مرحلة فى تصلد الصهير حيث يصبح الجزء المتبقى منه محلولاً مائياً حاراً جداً ذات نشاط كيميائى كبير ، ولذلك فهو قادر على إذابة وحمل معظم المركبات الفلزية ذات القيمة الإقتصادية . وتتسرب هذه المحاليل الحارة بما تحمله عبر الشقوق والفواصل والفجوات ، وقد تصل إلى مسافات بعيدة عن مصدرها ، وهناك تبدأ فى تفريغ شحنتها بترسيب ماتحمله من محاليل معدنية مختلفة نتيجة للبرودة وإنخفاض الضغط الواقع عليها . وتترسب أولاً المعادن القليلة الذوبان فى هذه المحاليل الحارة ثم تليها المعادن الأكثر قابلية للذوبان ، ويتوقف ذلك إلى حد كبير على درجة حرارة المحلول والضغط الواقع عليه أثناء الترسيب ، وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم الرواسب المعدنية من المحاليل الحارة إلى ثلاثة أنواع متباينة :

أ - رواسب عالية الحرارة Hydrothermal deposits :

تترسب من محاليل ذات درجة حرارة عالية بين ٥٠٠ - ٣٠٠ □□م وتحت ضغط كبير بمعنى أنها تترسب على أعماق بعيدة من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التى تتكون تحت هذه الظروف : ولفرامايت Wolframite [(Fe,Mn)WO4] ، موليبدينايت Molybdenite (MoS2) ، كاسيتيريت

توباز ، Garnet جارنت ،Cassiterite (SnO2) Apatite [F, Cl (Ca-phosphate)] الأباتيت ،Topaz [Al2(SiO4)(F,OH)2]

ب - رواسب متوسطة الحرارة Mesothermal deposits :

وتنتج عن محاليل متوسطة الحرارة ، تتراوح بين ٣٠٠ - ٢٠٠ م وتوجد على عمق متوسط من سطح الأرض حيث الضغط المتوسط . وأهم المعادن التى تتكون من المحاليل المتوسطة الحرارة هى : كبريتيدات الفلزات مثل الكالكوبيريت Chalcopyrite (CuFeS2) ، والسفاليريت Sphalerite (ZnS) ، الجالينا Galena (PbS)، الأرسينوبايريت Arsenopyrite (FeAsS) ، وتتراهيدريت Tetrahedrite [(Cu,Fe,Zn,Ag)12Sb4S13]. ومن الكبريتات معدن الباريت Barite (BaSO4) ، ومن الكربونات معدن الكالسيت Calcite (CaCO3) .

جـ - رواسب منخفضة الحرارة Epithermal deposits :

وهى تترسب من محاليل ذات درجة حرارة منخفضة ، تتراوح بين ٢٠٠ - ٥٠ م وتحت ضغط أقل من المتوسط بمعنى أنها تترسب قريباً من سطح الأرض ومن أمثلة المعادن التى تكون الرواسب المنخفضة الحرارة معدن السنابار Cinnabar (HgS) ، ستيبنيت Stibnite (Sb2S3) ، ماركازيت Marcasite (FeS2) ومن الكربونات معدن الكالسيت ومن الهالوجينات معدن الفلوريت ومن السيليكا معدن الكوارتز والأوبال .

ولايقف نشاط محاليل الصهير الحارة على مجرد حمل وترسيب المعادن فحسب بل قد تتفاعل مع صخور المكان التى تمر بها أو تحيط بها . فبينما تذوب بعض هذه الصخور فى المحاليل الحارة فتزودها ببعض العناصر الأخرى ، قد يتم هناك إستبدال أو إحلال جزئى أو كلى لبعض عناصر المحاليل الحارة محل عناصر أخرى مشابهة لها أو متقاربة منها موجودة فى صخور المكان Country rocks فتنتج بذلك معادن أخرى جديدة ويعرف هذا التغيير فى التركيب المعدنى الناتج من إحلال بعض مكونات

المحاليل الحارة محل بعض مكونات صخور المكان التى تمر بها أو تتواجد معها بإسم "التحول السائلى " **أو "التغير الإستبدالى" Metasomatism**.

ويعزى التحول السائلى إلى أن بعض الصخور تُؤثِـر إختيار الفلز القاعدى الذائب فى المحاليل الجارية إذا كانت قابليته كبيرة للشق الحامضى الموجود فى هذه الصخور ؛ أو العكس بأن تكون قابلية الشق الحامضى الموجود فى المحلول تتوافق مع الشق القاعدى الموجود فى الصخور التى تمر بها . ومن أمثلة التحول السائلى تكون رواسب الحديد فى كليفلاند بأمريكا ، حيث حلت كربونات الحديد ($FeCO_3$) محل كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) نتيجة إحلال عنصر الحديد من المحاليل الجارية محل عنصر الكالسيوم فى الصخور الجيرية مما أدى إلى تكوين معدن **السيديرايت Siderite ($FeCO_3$)** . الذى ظل محتفظاً بجزء كبير من المظاهر الخارجية للصخور الجيرية الأصلية وكذلك أشكال بعض الحفريات التى كانت موجودة بها ، أى أن معدن السيديرايت يظهر فى هذه الحالة فى **شكل كاذب Pseudomorph** لكربونات الكالسيوم . وكذلك يبدو **الخشب السيليسى Silicified Wood** الموجود بالغابة المتحجرة بالقرب من القاهرة ، نتيجة إحلال السيليكا محل المواد السيليولوزية المكونة للخشب ، وذلك بواسطة محاليل الصهير الحارة المحملة بثانى أكسيد الكربون ، مع إحتفاظ الخشب بشكله ومظهره الخارجى **(ظاهرة الخداع الشكلى Pseudomorphism)** وبنفس الطريقة تتكون بعض الرواسب الغنية بمعدن الماجنيزيت ($MgCO_3$) Magnesite .

تكون المعادن من المحاليل السطحية

تشمل المحاليل السطحية المحتويات الذائبة فى مياه البحار والبحيرات والمحيطات والأنهار والمياه الأرضية Ground Water الناتجة من الأمطار التى قد تتسرب خلال الشقوق والفواصل والمسام فى الصخور المختلفة وتحمل معها قدر ما تستطيع من المواد التى قد تذيبها أثناء تسربها . وتترسب المعادن من هذه المحاليل

السطحية نتيجة تغير الظروف الطبيعية ، وتسمى تجمعاتها "خامات المعادن الرسوبية" Sedimentary ore-minerals وتتكون بإحدى الطرق الآتية :

١) **بخر السائل المذيب :** تتركز الأملاح الذائبة فى مياه البحيرات نتيجة تبخر الماء لدرجة تسمح بتبلور بعض المعادن فى ترتيب معين يتوقف على درجة ذوبان العناصر المكونة لهذه المحاليل ، فغالباً ما تترسب أملاح الكربونات أولاً مثل كربونات الكالسيوم (كالسيت) ثم كربونات الماغنسيوم (ماجنيزيت) ، ثم تلى الكربونات أملاح الكبريتات مثل كبريتات الكالسيوم (جبس) . ثم أملاح الكلوريد مثل كلوريد الصوديوم (هاليت)

٢) **بخر الغاز المساعد على الإذابة** : قد يذوب غاز ثانى أكسيد الكربون فى مياه الأمطار ويكسبها خاصية الحمض الضعيف (حمض الكربونيك) فتذيب بعض الصخور الجيـرية التى تتسـرب خلالـها وتنتج بيكـربونات الكالسيوم □CaH2(CO3)2□ ؛ وهذا المركب قابل للذوبان فى الماء إلا أنه غير مستقر ، بمجرد تعرضه لفقدان غاز ثانى أكسيد الكربون فإنه يتحول الى كربونات كالسيوم غير قابلة للذوبان فى الماء ، فتترسب هذه مكونة معادن الكالسيت والأراجونيت . وكثيراً ما يحدث ذلك فى الكهوف والمغارات التى توجد فى المناطق ذات الصخور الجيرية التى تتميز بغزارة الأمطار حيث تترسب كربونات الكالسيوم على هيئة أعمدة مخروطية الشكل تتدلى من أسقف هذه الكهوف وتكون مايسمى "ستلاكتيت" Stalactite ؛ وتتساقط نقط المحاليل الجيرية كذلك على أرضية الكهوف فتتعرض لفقدان غاز ثانى أكسيد الكربون وتترسب كربونات الكالسيوم فى أعمدة مخروطية الشكل ترتفع على قاع الكهوف وقد تتشكل بأشكال طبيعية جميلة وتسمى "ستلاجميت" Stalagmite.

وقد تتسرب هذه المحاليل إلى أعماق بعيدة عن سطح الأرض فتكتسب حرارة عالية نسبياً تساعد على فاعلية حمض الكربونيك فى الإذابة . ثم لا تلبث أن تجد مخرجاً لها على هيئة ينابيع ، فيتطاير منها ثانى أكسيد الكربون بتعرضها للجو والبرودة فتترسب كربونات الكالسيوم مباشرة حول الينبوع فى كتل مختلفة الأشكال تسمى "ترافرتين" Travertine ، و"السنتر الجيرى" Calc-sinter . وأحياناً أخرى تتسرب

محاليل المياه السطحية إلى أغوار بعيدة فترتفع حرارتها والضغط الواقع عليها لدرجة تمكنها من إذابة كل ما يصادفها حتى السيليكا ؛ فإذا ما وجدت مثل هذه المحاليل المنفذ المواتى لها فإنها تتصاعد إلى سطح الأرض على هيئة ينابيع حارة متفجرة تسمى "جيزر" Geyser ، وبمجرد تعرضها للجو حيث الإنخفاض المفاجىء فى درجة الحرارة والضغط فإن المحاليل ترسب مابها من أملاح ذائبة بالقرب من الينابيع الحارة المتفجرة على هيئة رواسب سيليسية دقيقة الحبيبات تسمى "جيزيريت" Geyserite أو سنتر سيليسى Siliceous-sinter.

تكون المعادن من مواد صلبة (التحول Metamorphism)

قد تنشأ بعض المعادن من مواد صخرية صلبة تحت تأثير الحرارة الشديدة أو الحرارة المصحوبة بضغط مرتفع ، فتتغير المعادن الأصلية المكونة لهذه الصخور تغيراً قد يكون جزئياً أو كاملاً فى بنائها وتركيبها وخواصها . وقد تنتج الحرارة من تداخل مواد الصهير أو محاليل مرتفعة الحارة فى صخور المكان Country Rocks ، ويحدث أن تنصهر صخور المكان فى منطقة التماس Contact أو التلامس بينها وبين مواد الصهير ، ثم تستعيد المعادن الأصلية المكونة لهذه الصخور بناءها من جديد بحيث يتناسب هذا البناء مع الظروف المستجدة ، أى تتحول المعادن الأصلية إلى معادن أخرى ؛ فمثلاً تتحول رواسب معادن الحديد المائية بفعل الحرارة الناتجة عن تداخل مواد الصهير إلى رواسب غنية بمعادن الهيماتيت والماجنيتيت فى منطقة التماس بين الصخور الأصلية ومواد الصهيرالمتداخلة وتعرف هذه التكاوين بإسم رواسب الخامات التماسية Contact ore deposits . فإذا ما كانت الحرارة ناشئة من تداخل محاليل حارة فى صخور المكان Country Rocks فقد تنشأ بينهما عمليات إحلال أو إستبدال لبعض العناصر المكونة لكل منهما وينتج عن هذا الإحلال المتبادل معادن جديدة تلائم الظروف الطبيعية الجديدة ، ويعرف هذا بالتحول السائلى الحار Pyrometasomatism . وأهم الرواسب المعدنية التى تتكون بطريقة التحول الحرارى Thermal Metamorphism رواسب الكبريتيدات مثل البيريت ،

الكالكوبيريت ، السفاليريت ، ومن الأكاسيد الهيماتيت والماجنيتيت . وغالبا ما يصحب هذه الرواسب تكوين بعض المعادن المميزة التى تسمى "سكارن" Scarn-minerals . مثل معدن الولاستونيت Wollastonite (CaSiO3) وينتج من إتحاد الكوارتز مع الكالسيت ، والجارنت الحديدى "جروسيولار {Ca3Al2[SiO4]3} Grossular" ، والبيروكسينات الحديدية ، ومعدن الإبيدوت {Ca2Fe+3Al2O[Si2O7] Epidote [SiO4](OH)}

ظهور الرواسب المعدنية فى الطبيعة

Occurrence of mineral deposits

يمكن تمييز الرواسب المعدنية على أساس تكونها وظهورها إلى نوعين مختلفين :

١) رواسب معدنية معاصرة Syngenetic mineral deposits :

تتكون معادن هذه الرواسب فى نفس الوقت التى تتكون فيه الصخور الحاوية لها أو المحيطة بها وتظهر منتشرة مبعثرة فيها . ومن أمثلة هذه الرواسب المعدنية المعاصرة تلك المعادن النافعة التى تظهر أثناء عملية تمايز الفلزات وأكاسيدها وبعض كبريتيداتها فى أولى مراحل تصلد الصهير (مرحلة الصهر القويم) فى نفس الوقت التى تتبلور فيه معادن السيليكات فوق القاعدية (الغنية جداً بالعناصر القاعدية ، مثل ظهور معدن الكروميت Chromite ($FeCr_2O_4$) فى الصخور فوق القاعدية Ultrabasic rocks . وكذلك بعض الرواسب المعدنية الطبقية Bedded mineral deposits التى تتكون فى وقت معاصر لتكوين طبقات الصخور الرسوبية الحاوية لها .

٢) رواسب معدنية لاحقة "غير معاصرة" Epigenetic mineral deposits :

تتكون معادن هذه الرواسب بعد ظهور الصخور الحاوية لها أو المحيطة بها . وغالباً ماتوجد فى الشقوق والشروخ والفواصل الموجودة فى الصخور ولذلك فإنها تتشكل بشكل هذه الفراغات ، وعادة ماتظهر على هيئة عروق Veins . وقد تمتد العروق فى معظم الأحيان إلى مسافات طويلة وأعماق بعيدة ولكنها قليلة السمك ، ويختلف سمكها من مكان لآخر . وتترسب المعادن فى أحيان كثيرة فى المسافات البينية Interstices للصخور وتعرف مثل هذه التجمعات بالرواسب المتسربة Impregnations ، وأحياناً أخرى تحل الرواسب المعدنية محل صخور المكان Country Rocks التى تتداخل فيها فتتخذ بذلك أشكالاً غير منتظمة .

تعرف الرواسب المعدنية التى تظهر فى نفس المكان أو الموضع الذى نشأت فيه بأنها رواسب أولية أو موضعية Primary or in situ . أما المعادن التى تنقلها الرياح أو تجرفها المياه من المكان الأصلى لنشأتها ثم ترسبها فى مكان آخر فتسمى رواسب ثانوية أو منقولة Secondary or placer deposits وتوجد مثل هذه الرواسب مختلطة بالحصى والرمال عند مصاب الأنهار وكذلك على جوانبها وفى مجارى السيول . وغالباً ما تتركز المعادن فى الرواسب المنقولة بعملية تصنيف طبيعى تتوقف على الوزن النوعى لها ، فتتواجد المعادن ذات الوزن النوعى الواحد أو المتشابه فى مجموعات يسهل فصلها عن بعضها . وأهم أنواع الرواسب المنقولة هى رواسب الذهب التى قد يتواجد معها رواسب الماجنيتيت والكروميت والزيركون .وكذلك رواسب الرمال السوداء المنقولة التى تحتوى أحياناً على بعض المعادن النادرة المشعة ذات القيمة الإقتصادية مثل رواسب الرمال السوداء عند ملتقى نهر النيل بالبحر الأبيض المتوسط عند رشـــيد .

تبدل المعادن Alteration of minerals :

تتعرض الرواسب المعدنية للتأثيرات الجوية ، وينتج عن ذلك تغير المعادن المكونة لها تغيراً قد يكون طبيعياً بسبب عملية التجوية Weathering أو قد يكون كيميائياً . ويؤدى التغير الطبيعى إلى تكسير المعادن وتفتيتها Disintegration بسبب التغير المستمر فى درجة الحرارة أو نتيجة لفعل الرياح أو الأمطار . وينتج عن التغير الكيميائى تحلل المعادن Decomposition وتغير تركيبها الكيميائى تغيراً سطحياً أو جزئياً ؛ فتؤدى عملية الأكسدة إلى تغير مظهر المعدن المعرض للجو ، وينتج عن وجود ثانى أكسيد الكربون عملية تكربن لسطح المعدن فيُغَطَـى بطبقة رقيقة من كربونات العناصر المكونة له . وقد تذوب المعادن جزئياً نتيجة للتفاعلات الكيميائة البطيئة ثم تُنقَـل بواسطة المياه أو الرياح إلى حيث تترسب من جديد فى مكان آخر تاركة خلفها المكونات غير القابلة للذوبان فى مكانها الأصلى والتى تُعرَف حينئـذ بالرواسب المتبقية Residual deposits مثل رواسب البوكسيت (أكسيد الألومنيوم

المائى) Bauxite، ورواسب الكاولينيت (سيليكات الألومنيوم المائية) Kaolinite [Al4(Si4O10)(OH)8].

رابعاً - الدراسة الوصفية للمعادن

Descriptive Mineralogy

تختص هذه الدراسة بوصف المعادن ذات الأهمية الإقتصادية من حيث صفاتها الطبيعية والكيميائية ، وأصلها ونشأتها وتكوينها وأماكن وجودها وفوائدها .

تصنيف المعادن Classifcation of Minerals

توجد عدة طرق مختلفة لتصنيف المعادن تعتمد كل منها على أسس معينة ومنها :

١) **التصنيف الكيميائى Chemical classfication** : تمكن العالم الامريكى دانا J.D. Dana من تصنيف المعادن المختلفة على أساس خواصها الكيميائية التى تتوقف على نوع الشق الحامضى Acidic radicle ، إلى مجموعات مختلفة مثل الأكاسيد ، الهالوجينات (كلوريدات وفلوريدات) ؛ الكبريتيدات ، الكربونات ، الكبريتات ، الفوسفات والسيليكات . ومن أهم مميزات هذا التصنيف أن أفراد المجموعات التى تحتوى على شق حامضى مشترك تتشابه فيما بينها تشابهاً كبيراً يفوق التشابه الذى قد يوجد بين أفراد المجموعات التى تحتوى على شق قاعدى Basic radicle مشترك ، فمثلاً تتشابه أفراد مجموعة الكبريتات المختلفة بدرجة أكبر من تشابه معادن النحاس أوالحديد فيما بينهما ، وذلك لأن المجمعة الأنيونية Anionic group {O-2, Cl-1, F-1, (CO3)-2, (SO4)-2 .....etc. } أى الشق الحامضى يتكون من عناصر كبيرة الحجم نسبياً (ذات نصف قطر ذرى كبير) ويميل إلى التحكم فى نظام التعبئة أو طريقة رص الذرات فى الترتيب الفراغى وبذلك تصبح هى المسئولة أساساً عن الخواص الكيميائية والبلورية للمعادن . وليس هذا فحسب بل إن أفراد المجموعات ذات الشق الحامضى المشترك قد تتواجد فى الطبيعة فى بيئات جيولوجية Paragenesis متشابهة إن لم تكن موحدة ، فقد لوحظ أن المعادن الكبريتيدية تتكون مجتمعة مع بعضها فى عروق رواسب المحاليل الحارة أو أثناء عملية التمايز فى المرحلة الأولى من تصلد

الصهير (مرحلة الصهير القويم) ، فى حين تتكون أفراد المجموعات ذات الشق القاعدى المشترك تحت ظروف وبيئات جيولوجية عديدة مختلفة .

٢) **التصنيف البلورى الكيميائى Crystal-chemistry classfication** :

ويعتمد هذا التقسيم أساساً على الشكل البلورى بجانب الخواص الكيميائية . فبالرغم من تشابه المجموعات العدنية ذات الشق الحامضى المشترك إلى حد كبير إلا أن هناك معادن كثيرة تتشابه فيما بينها فى معظم صفاتها وخاصة فى أشكالها البلورية علماً بأن لها تركيباً كيميائياً مختلفاً ، ومن البديهى أن هذا التشابه نتيجة لتركيب ذرى بلورى متشابه أو موحد . وهذا مما حدى بالعالم نيجلى P. Niggli إلى تصنيف المعادن إلى مجموعات على أساس خواصها الكيميائيى البلورية .

٣) التصنيف الإقتصادى الكيميائى Economic chemical classfication :

تقدم العالم ريـد H. Read بطريقة ثالثة لتصنيف المعادن إلى مجموعات تتوقف أولاً وقبل كل شىء على القيمة الإقتصادية للعناصر الأساسية المكونة لها بالرغم مما قد يكون فيما بينها من تباعد بلورى أو كيميائى أو بيئى ، ثم صنَّف كلاً من هذه المجموعات لإلى أفراد على نظام معين متبعاً فى ذلك نظام الترتيب الدورى Periodic classification of elements للعناصرالمكونة لهذه الأفراد المعدنية ، فمثلاً تشمل المجموعة الأولى (Group I) فى هذا التصنيف ما يأتى :

أ - كل المعادن الهامة التى تتكون أساساً من عناصر الليثيوم ، والصوديوم ، والبوتاسيوم .

ب - كل المعادن الإقتصادية التى تعتبر خامات : النحاس ، والفضة ، والذهب .

وتقع معادن الحديد فى المجموعة الثامنة (Group VIII) من هذا التصنيف وتشمل أفراد ذات شق حامضى مختلف فمنا الأكاسيد مثل الماجنيتيت Magnetite (Fe_3O_4) ، والهيماتيت(Fe_2O_3) Hematite ، الأكاسيد المائية مثل الليمونيت

Limonite ($2Fe_2O_3 , 3H_2O$) وجوثيت Geothite (Fe_2O_3, H_2O) ومنها الكربونات مثل السيديريت Siderite ($FeCO_3$) ، والكبريتيد مثل البايريت Pyrite (FeS_2) ثم الكبريتات والفوسفات والسيليكات .

وبذلك إستطاع ريـد Read أن يجمع معادن خامات العناصر المتشابهة إلى حد مـا فى خواصها الكيميائية فى مجموعة واحدة ، ويُعتَـقَد أن هذه هى أحسن طريقة بالنسبة للمبتدىء فى دراسة الجيولوجيا الإقتصادية ، بالرغم من أنها تفصل بين المعادن المتشابهة ذات الشق الحامضى الواحد وتفرقها فى مجموعات مختلفة .

وسنتبع فى دراستنا الطريقة المستخدمة حالياً على نطاق واسع وهى طريقة التصنيف الكيميائى :

تُصَّنَف المعادن على أساس الشق الحامضى المكون لها إلى أقسام تسمى "نظـم" Classes ويحتوى كل نظام على مجموعات أصغر ، مختلفة فيما بينها ولكنها متشابهة فى صفة مشتركة هى نوع الشق الحامضى وتسمى هذه المجموعات الصغيرة "عائلات" Families ، يتكون كل منها من أفراد مختلفة تسمى " أنواع " Species . وقد تتشابه بعض أنواع العائلة الواحدة فى صفاتها وتسمى حينئذ "مجموعة" Group أو "متسلسلات" Varieties مختلفة فيما بينها إلى حد ما ولكن تجمعها مع بعضها الصفات النوعية .

١) المعادن العنصرية Native Minerals

أ - المعادن العنصرية الفلزية Native Metals : مثل الذهب (Au) ، والفضة (Ag) والبلاتين (Pt) .

ب - المعادن العنصرية اللافلزية Native Non-Metals : مثل الكبريت (S)، والماس (C) والجرافيت (C) .

٢) المعادن الكبريتيدية والأملاح الكبريتية Sulfides and Sulfosalts :

أ - المعادن الكبريتيدية :-

أرجينيت(Argenite (Ag2S	كالكوسيت (Cu2S) Chalcocite
كالكوبيريت Chalcopyrite (CuFeS2)	بايريت Pyrite (FeS2)
ماركازيت Marcasite (FeS2)	جالينا Galena (PbS)
سفاليريت Sphalerite (ZnS)	سنابار Cinnabar (HgS)
أرسينوبايريت Arsenopyrite (FeAsS)	ستيبنيت (Stibnite (Sb2S3

موليبدينيت Molybdenite (MoS2) .

ب - الأملاح الكبريتية Sulfosalts : هى كبريتيدات مزدوجة تتكون باتحاد فلز وشبه فلز (مثل الزرنيخ والأنتيمون) مع الكبريت مثل معدن التتراهيدريت Tetrahedrite [(Cu,Fe,Zn,Ag)12Sb4S13].

٣) معادن الأكاسيد Oxides :

أ - أكاسيد فلزات لامائية Non-hydrated Metal Oxides :-

ماجنيتيت Magnetite (Fe3O4)	هيماتيت Hematite (Fe2O3)
كروميت Chromite (FeCr2O4)	إلمنيت Ilmenite (FeTiO3)
كوبريت Cuprite (Cu2O)	كورانـدوم Corunum (Al2O3)
روتيل Rutile (TiO2)	كاسيتريت Cassiterite (SnO2)
بايرولوسيت Pyrolusite (MnO2)	كوارتز Quartz (SiO2)

ب - أكاسيد فلزات مائية Hydrated Metal Oxides :

جوثيت Geothite (Fe2O3, H2O)

ليمونيت Limonite (2Fe2O3 , 3H2O)

مانجانيت Manganite (Mn2O3. H2O) .

بوكسيت Bauxite (Al2O3.2H2O) .

أكاسيد سيليكون مائية (SiO2.NH2O) مثل معدن الأوبال Opal .

٤) معادن الهالوجينات (الهالويدات) Haloids :

مثل معادن الهاليت Halite (NaCl) ، فلوريت Fluorite (CaF2) ، كريوليت Cryolite (Na3AlF6) .

٥) معادن الكربونات والنيترات والبورات

أ - الكربونات Carbonates :

مجموعة الكالسيت :

كالسيت Calcite (CaCO3) دولوميت Dolomite [CaMg(CO3)2]

ماجنيزيت Magnesite (MgCO3) سيديريت Siderite (FeCO3)

مجموعة الأراجونيت :

أراجونيت Aragonit(CaCO3) ويذيريت Witherite (BaCO3)

سترونشيانيت Strontianite (SrCO3) سيروسيت Cerussite (PbCO3)

مجموعة المالاكيت :

مالاكيت Malachite [Cu2CO3, (OH)2] .

أوزوريت Azurite [Cu3(CO3)2,(OH)2] .

النيترات Nitrates : مثل نتر الصودا Soda Niter (NaNO3) .

البورات Borates مثل الكيرنيت Kernite [Na2B4O7.4H2O]

البوراكس Borax [Na2B4O7.10H2O] .

٦) معادن الكبريتات - الكرومات - الموليبدات - التنجستات :

أ - معادن الكبريتات Sulphates :

كبريتات لامائية (مجموعة الباريت) :

أنهيدريت Anhydrite (CaSO4) سيليستيت Celestite (SrSO4)

باريت Barite (Ba SO4) أنجليزيت Anglesite (PbSO4)

كبريتات مائية Hydrous Sulphates :

جبس Gypsum (CaSO4,2H2O)

كالكانثيت Chalcanthite (CuSO4, 5H2O)

ميلانتريت Melanterite (FeSO4, 7H2O)

إبسوميت Epsomite (MgSO4, 7H2O)

ب - معادن الكرومات : Chromates :

مثل كروكويزيت Crocaisite (PbCrO4) .

جـ- معادن الموليبدات Molybdates :

مثل وولفينيت Wulfenite (PbMoO4) .

د - معادن التنجستات Tungstate :

مثل معدن ولفراميت Wolframite [(Fe,Mn)WO4] .

ومعدن شيليت Scheelite (CaWO4) .

٧) معادن الفوسفات - الزرنيخات - الفانادات

أ - معادن الفوسفات Phosphates :

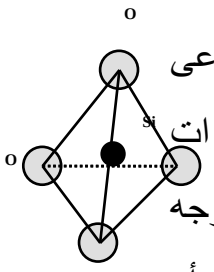
مونازيت Monazite [(Ce,La,Y,Th)PO4] ، أباتيت Apatite [Ca(F,Cl,OH)(PO4)3] ، توركواز Turquois [CuAl6(OH)8(PO4)4.4H2O] ، أوتونيت Autonite [Ca(UO2)(PO4)2.10-12H2O] .

ب - معادن الفانادات Vanadates :

فانادينيت Vanadinite [Pb5Cl(VO4)3]

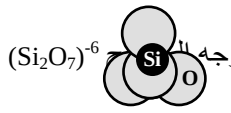
كارنوتيت [K2(UO2)2(VO4)2.3H2O] Carnotite .

٨) معادن السيليكات Silicates

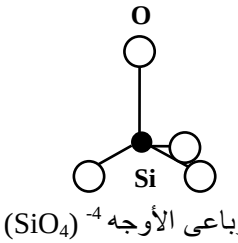


تتكون هذه المعادن من وحدة (SiO4) -4 فى هيئة رباعى الأوجه ، مكونة من ذرة سيليكون فى المركز وتحيط بها أربع ذرات من الأكسجين فى كل ركن من الأركان الأربعة لشكل رباعى الأوجه (كما هو مبين بالشكل) ، وبارتباط هذه الوحدة مع وحدة أخرى أو أكثر تنتج أنواع مختلفة من السيليكات :

١) مجموعة رباعى الأوجه المستقلة (SiO4) -4 Independant

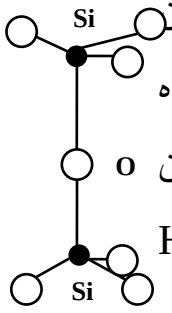


Tetrahedral group : تتكون بلورات هذه المعادن من وحدات (SiO4) -4 (كما فى الشكل المقابل) مرتبطة ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى مثل الماغنسيوم والحديد ، ومن أمثلة هذه المعادن :-



أوليفين Olivine (Mg,Fe)2SiO4 ، جارنت Garnet (سيليكات أيونات ثنائية وثلاثية التكافؤ) ، زيركون Zircon (ZrSiO4) ، توباز Topaz [Al2(F,OH)2SiO4] ، أندالوسيت Andalusite (Al2SiO5) ، سيليمانيت Silimanite (Al2SiO5) ، كايانيت Kyanite (Al2SiO5) ، شتوروليت Staurolite [2Feo.5Al2O3.4SiO2.H2O] ، سفين Sphene (CaTiSiO5) .

٢) مجموعة رباعى الأوجه المزدوجة Double tetrahedral



group (Si2O7) -6 : تتكون أفراد هذه المجموعة باشتراك وحدتين من (SiO4) فى ذرة أكسجين (كما فى الشكل المقابل) وتتكرر هذه الوحدة المزدوجة بارتباطها بواسطة كاتيونات أخرى كما فى معدن هيميمورفيت Hemimorphite [Zn4Si2O7(OH)2.H2O] وهو من المعادن الثانوية النشأة.

٣) **مجموعة رباعى الأوجه الحلقية Ring Structure :**

أ - حلقة ثلاثية 6 - Trigonal Ring (Si3O9): وتتكون باشتراك ثلاث وحدات (SiO4) ، حيث أن كل وحدتين متجاورتين تشتركان فى ذرتين أكسجين (كما فى الشكل المقابل)، ومن أمثلة هذه المعادن :-

بنيتوتيت Benitotite (BaTiSi3O9) ، رودونيت Rhodonite (MnSiO3) ، ولاستونيت Wollastonite (CaSiO3) .

حلقة ثلاثية $(Si_3O_9)^{-6}$

ب - حلقة سداسية 12- Hexagonal Ring (Si6O18) :

تتكون أفراد هذه المجموعة من ترابط ست وحدات (SiO4) (أنظر الشكل المقابل)، تتراص فى هيئة حلقات فوق بعضها فى أعمدة ، وتترابط هذه الحلقات ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى ومن أمثلة هذه المعادن :

حلقة سداسية $(Si_6O_{18})^{-12}$

معدن البيريل Beryl (Be3Al2Si6O18) .

معدن التورمالين Tourmaline

[(Na,Ca)(Mg,Fe +2,Fe+3,Al,Li)3Al6(BO3)3Si6O18(OH)4]

معدن الكورديرايت Cordierite (Mg2Al4Si5O18) .

٤) **مجموعة رباعى الأوجه السلسلية Chain Structure وتشمل** :

أ - تراكيب سلسلية مفردة 2- Single Chain (SiO3) (كما فى الشكل التالى) كما فى معادن البيروكسينات Pyroxene مثل :

إنستاتيت Enstatite (MgSiO3) ، هيبرثين Hyperthene [(Mg,Fe)SiO3] ، دايوبسيد Diopside [(Ca,Mg)Si2O6] ، أوجيت Augite [Ca(Mg,Fe+2,Al)(Si,Al)2O6] ، إيجيرين Aegerine (NaFeSi2O6) .

سلسلة مفردة 2- (SiO3)

ب - تراكيب سلسلية مزدوجة 6- Double Chain (Si4O11) :

وتنتج من ترابط سلسلتين باقتسام ذرات الأكسجين بينهما عند مسافات منتظمة (أنظر الشكل التالى) كما فى معادن الأمفيبولات Amphiboles مثل : أنثوفيللـيت Anthophyllite [(Mg,Fe)7Si8O22(OH)2] ، تريموليت Tremolite [Ca2Mg5Si8O22(OH)2] ، هورنبلند (سيليكات كالسيوم وماغنسيوم وحديد مائية معقدة) Hornblende .

سـلسـلـة مزدوجـة 6- (Si4O11)

جـ- تراكيب سلسلية رباعية Quadriple Chain: تتكون من ترابط أربعة سلاسل باقتسام ذرات الأكسجين بينها مثل معدن الإبيدوت Epidote [Ca2(Al,Fe)3Si3O12(OH)] .

٥) **<u>مجموعة رباعيات الأوجه الصفائحية Sheet Structure</u>** : تتكون من إرتباط وحدات (SiO4) عند ثلاثة أركان من كل منها وتمتد فى إتجاهين فى ترتيب شبكى على هيئة صفائح لانهائية 4- Endless Sheets (Si4O10) (كماهو موضح بالشكل التالى) وتشمل :

أ - معادن الميــكا Mica group: مثل :

ماسكوفيت Muscovite [KAl3Si3O10(OH)2] ،

بيوتيت Biotite [K(Mg,Fe+2)3(Al,Fe+3)Si3O10(OH)2]،

فلوجوبيت Flogopite [KMg3 AlSi3O10(OH)2]

ب - معادن الكلوريت Chlorite Minerals:-

كلوريت Chlorite [(Mg,Fe+2,Fe+3)6AlSi3O10(OH)8]

سربنتين Serpentine [(Mg,Fe)3Si2O5(OH)4] .

جـ - معادن التلك Talc Minerals:

تلك Talc [Mg3Si4O10(OH)2]

د - المعادن الطينية Clay Minerals :

مثل الكاولينيت Kaolinite [Al4Si4O10(OH)8]

٦) **مجموعة رباعى الأوجه الشبكى ذو الأبعاد الثلاثة -Three dimensional Network :**

تتكون أفراد هذه المجوعة نتيجة إرتباط رباعيات الأوجه (SiO4) بعضها ببعض عند أركانها الأربعة (كما فى الشكل المقابل) ، بمعنى أن كل ذرة أكسجين تُقتَسَم بين إثنين من وحدات رباعيات الأوجــه وتكون نسبة السيليكون للأكسجــين فيها (١ : ٢) ورمز التركيب (Si3O6)N وتشمل هذه المجموعة :

أ - أكاسيد السيليكون (SiO2):

مثل معدن كوارتز Quartz (فصائل الثلاثى والسداسى)، تريديميت Tredimite (فصيلة المعينى القائم) ، وكريستوباليت (فصيلة الرباعى) Cristobalite .

ب - معادن الفلسبارات : Feldspars :

١) فلسبارات بوتاسية Potash Feldspars مثل :

أرثوكليز Orthoclase (KAlSi3O8) (فصيلة أحادى الميل)، ميكروكلين Microcline (KAlSi3O8) (فصيلة ثلاثى الميل).

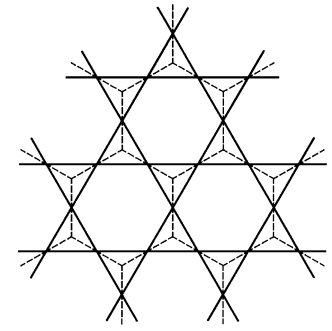
٢) فلسبارات بلاجيوكليزية Plagioclase Feldspars مثل :

أنورثيت Anorthite (CaAl2Si2O8) ، بايتونيت Bytownite ، لابرادوريت Labradorite ، أنديزين Andisine ، أوليجوكليز Oligocalse ، ألبيت Albite (NaAlSi3O8) .

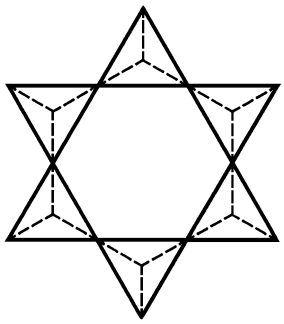
جـ - معادن الفلسباثويدز Felspathoids : تشبه هذه المعادن معادن الفلسبارات إلا أنها أفقر منها فى كمية السيليكا مثل :

لوسيت Leucite (KAlSi2O6) ، ونيفيلين Nepheline (NaAlSiO4) .

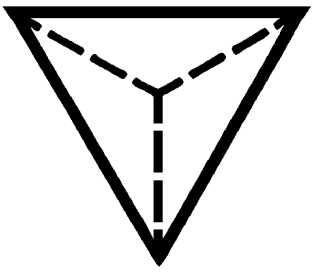
د - معادن الزيوليت Zeolites : وهى سيليكات الألومنيوم والصوديوم وتحتوى على نسبة كبيرة من الماء .



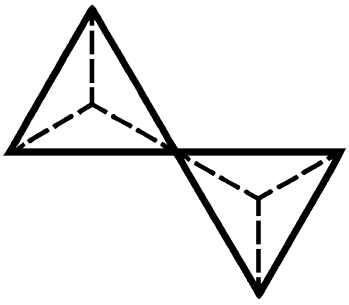
سليكات ورقية 2-(Si2O5)
Phyllosilictates



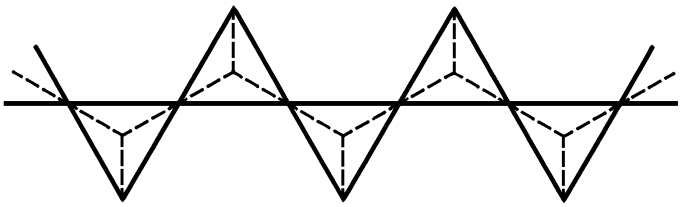
سليكات حلقية (Si6O18)-12
Cyclosilicates



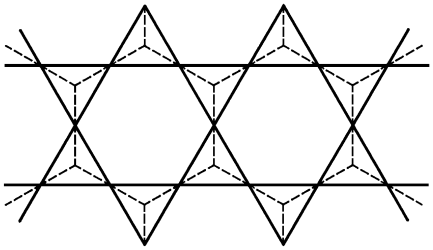
سليكات مفردة (SiO4)-4
Nesosilictates



سليكات مزدوجة (Si2O7)-6
Sorosilictates



سليكات سلسلية (SiO3)-2
Inosilicates



سليكات سلسلية (Si4O11)-6
Inosilicates

الخواص الكيميائية البلورية للمعادن

Crystal Chemistry of Minerals

(العلاقة بين التركيب الكيميائي والبناء الذرى)

تتداخل بلورات بعض المعادن أثناء نموها لتكون بلورات نطاقية Zonal growth . وعلى الرغم من اختلاف التركيب الكيميائي لهذه البلورات المتداخلة فى كل من الشكل والبناء الذري ، ومعنى هذا أن الذرات ولو أنها مختلفة من الناحية التركيبية إلا أنها متشابهة في حجمها ، وفى مواضعها داخل البلورة . وبذلك يمكنها أن تحل محل بعضها مما يدل على وجود علاقة بين التركيب الكيميائي والبناء الذرى (أو الشكل البلوري) للمعادن

وكذلك يختلف الوزن النوعي للمعدن على أساس اختلاف ترتيب الذرات داخل البلورة (مثل معدن الماس الذي يتميز بوزن نوعى ٣.٥ حيث توجد ذراته متراصة في تقارب واحكام ، بينما يتميز الجرافيت بوزن نوعى ٣.٢ حيث توجد الذرات المكونة له في نظام رص متباعد ، علما بأن التركيب الكيميائي لكليهما واحد وهو عنصر الكربون " c "). وهذا الاختلاف ليس قاصرا على الوزن النوعي فقط ، ولكنه يمتد إلي جميع الخواص الفيزيائية الأخرى للمادة ذات البناء الذرى المختلف ، أو بمعنى آخر يمكن أن توجد المادة الكيميائية الواحدة فى أكثر من شكل بلوري واحد ، وهذه علاقة أخرى بين التركيب الكيميائي والبناء الذرى (الشكل البلوري) للمعادن .

هذه أمثلة تشير إلى وجود علاقة من نوع أو آخر بين التركيب الكيميائي والبناء للمعدن. أهمية هذه العلاقة الكيميائية البلورية أدت إلى إنشاء علم جديد يعرف باسم الكيمياء البلورية Crystal Chemistry .

ومن الأسباب التي أدت إلى دراسة العلاقات الكيميائية البلورية وفهمها على أساس علمي صحيح ،الملاحظات والأسئلة المحيرة التى نتجت عن محاولات العلماء تصنيف المعادن على أساس تركيبها الكيميائي

وفى مثل هذا التقسيم تبرز عدة أسئلة محيرة منها:

١- لماذا تشذ المعادن كثيرا في خواصها عن الخواص التي نتوقعها لها على أساس التركيب الكيميائي فقط .

٢- كيف نفسر وجود المعادن متعددة الأشكال Polymorphous مثل الجرافيت والماس .

٣- لماذا يؤثر الشق الحامضى Anion على خواص معظم المركبات أكثر مما يؤثر الشق القاعدي Cation .

٤- ما هو العامل المشترك بين المعادن متشابهة البلورات ولكنها مختلفة في التركيب الكيميائي .

وقبل أن نعرف الاجابه عن هذه الأسئلة وغيرها ، يجب علينا أن نفسر قليلا بعض خواص البناء الذري للمعادن .

البناء الذرى للمعادن Atomic Structure Of Minerals

يقصد بالبناء الذرى للمعادن البنود الثلاث آلاتية :-

١- الترتيب الهندسي في الفراغ للذرات والجزيئات والأيونات التي تكون وحدات البناء في المادة .

٢- درجة التقارب بين هذه الوحدات البنائية و طريق رصها وتعبئتها في المادة.

٣- نوع القوى الكهربائية التي تربط بين هذه الوحدات البنائية وخواصها .

١- الترتيب الهندسي الفراغي للذرات والأيونات :

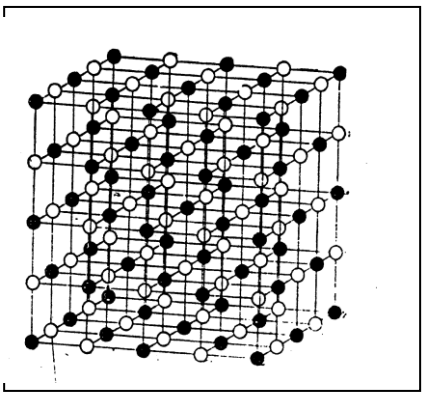
توجد هذه الوحدات البنائية مرتبة داخل البلورة في نظام هندسي يخضع لعناصر تماثلية معينة ، ويعكس هذا الترتيب الذرى الداخلي نفسه في الخارج في هيئة الأوجه البلورية المنتظمة التوزيع .

وقد قسمت البلورات طبقا للخواص البلورية للمعادن إلى سبعة نظم بلورية هي النظم الأعلى تماثلاً (كاملة التماثل) في الفصائل البلورية السبعة وبالإضافة إلى هذه النظم فتوجد نظم أخرى أقل تماثلاً بحيث يكون مجموعها جميعاً ٣٢ نظام بلوري 32 classes of symmetry ، تمثل الطرق المختلفة لترتيب الذرات والأيونات تبعا

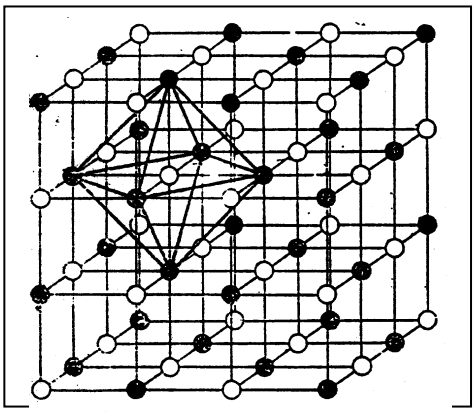
لعناصر التماثل الخارجية . و لكن إذا أضيفت إلى هذه العناصر الخارجية عناصر أخرى تماثلية داخلية ، فإنه من الممكن ترتيب الذرات و الأيونات بمائتين وثلاثون (٢٣٠) طريقة أو في مائتين وثلاثون مجموعة فراغية space group .

٢- تعبئه الذرات و الأيونات :

حيث أن المادة المتبلورة تتميز بترتيب ثابت للأيونات أو الذرات في الأبعاد الثلاثة، فإنه يمكن تمثيل الترتيب الفراغي للأيونات والذرات فإنه يمكن تمثيل الترتيب الفراغي للأيونات والذرات بأشكال تخطيطية حيث تمثل الروابط bonds بين هذه الأيونات أو الذرات بخطوط (كما في الشكل أ) الذي يمثل البناء الفراغي Lattice Structure لمعدن الهاليت (NaCl) Hallite حيث تمثل الكرات البيضاء أيونات الصوديوم (Na) بينما تمثل الكرات السوداء أيونات الكلورين (C).



(أ)



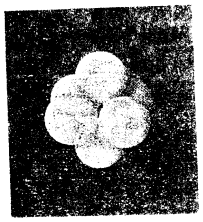
(ب)

هذا الهيكل الفراغي لا يمثل الحقيقة ولكنه يؤخذ فقط لغرض إعطاء صوره للمواقع النسبية لمراكز الوحدات المكونة للمادة (سواء كانت أيونات أو ذرات....الخ) أي أنه يدل على مواضع نقط الترتيب الفراغي space lattice points

يلاحظ في الشكل (ب) أن الترتيب الفراغي لأيونات الصوديوم والكلورين في الهاليت هو من النوع المكعبى Cube ، ويحاط كل أيون للصوديوم بستة (٦) أيونات

للكلورين في هيئة ثماني الأوجه (octahedron) (الشكل ب) . وكذلك إذا فحصنا هذا الشكل بعناية سنلاحظ أن كل أيون للكلورين محاط أيضاً بستة أيونات صوديوم .

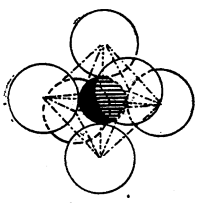
نلاحظ في الشكلين السابقين أننا لم نأخذ في الاعتبار الحجم النسبي لأيونات الصوديوم والكلورين ، وأن الأيونات لابد أن تكون متماسة بعضها ببعض (وهذه حقيقة أساسية في المواد الصلبة أو المتبلورة) .إننا نفترض أن الأيونات ذات أشكال كروية أو شبه كروية ، لو أخذنا الكرات السوداء التي تمثل أيونات الكلورين والموجودة عند أركان شكل ثماني الأوجه وحركناها على طول الروابط في اتجاه بعضها حتى تتماس مع بعضها ، فإننا نصل إلى الترتيب المستقر لهذه الأيونات كما هو مبين في شكل (ج) .

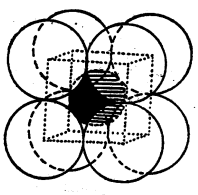


(ج) (د)

وفي مركز هذا الثماني الأوجه يوجد تجويف hole نصف قطره يساوى ٤١٤ ،- من نصف قطر أيونات الكلورين ، ويمكن لأيون بمثل هذا الحجم أن يجد مكاناً له في هذا التجويف ، ويكون متماسا مع الأيونات الستة الكبيرة المحيطة به (كما في شكل د)

من الناحية النظرية لا يمكن للأيون المركزي (الموجود في المركز) أن يكون أصغر من أيون نسبة نصف قطره إلى نصف قطر الأيون الأكبر المحيط به كنسبه ٤١٤.، ـ إذ سوف لا يكون مثل هذا الأيون الصغير في حاله تماس مع جيرانه ، لذا يلزم





في هذه الحالة ترتيب آخر اكثر استقراراً. هذا الترتيب موجود حيث يحيط بالأيون

المركزي الصغير أربعة أيونات موجودة عند الأركان الأربعة لشكل رباعي الأوجه Tetrahedron (شكل هـ) . (كما في البناء الذرى للمعادن السليكاتية حيث يحيط بأيون السليكون أربعة أيونات للأكسيجين والنسبة بين نصف قطر الأيون المركزي الصغير (Si) ، ونصف قطر أيون الأكسيجين (o) هي ٣٠، -). أما إذا كان الأيون المركزي اكبر من الأيون ذو النسبة ٤١٤، -. فإن الأيونات المحيطة سوف تضطر للابتعاد عن بعضها إلى الخارج ولن تتماس إلا مع الأيون المركزي فقط ويمكن تمثيل هذا الترتيب كما في شكل(و) ، حيث تكون النسبة بين نصف قطر الأيون المركزي ونصف قطر الأيون المحيط به كنسبة ٦٦و. ويوجد الترتيب الثماني الأوجه في هذه الحالة أيضاً ويبقى كترتيب مستقر حتى تساوي نسبة نصفي القطرين ٧٣٢و. (أو اكثر) . وعند هذه القيمة الحرجة يتكون ترتيب اكثر استقرارا ، حيث اصبح هناك مكان لأكثر من أيون يتلامس مع بقية الأيونات الخارجية الستة ومع الأيون المركزي فإذا رُتِبَت ثمانية أيونات كروية في شكل مكعبي (شكل و) فان نصف قطر التجويف المركزي سوف يساوى ٧٣٢و. بالنسبة لنصف قطر الكرات الموجودة عند أركان المكعب و التى تساوي قيمتها ١ (واحد) . وهذا هو الترتيب المستقر يتراوح بين نسبة ١: ٧٣٢و. ونسبة ١:١ .

(هـ) (و)

وفى معدن الهاليت (NaCl) نجد أن النسبة بين نصف قطر أيون الصوديوم ونصف قطر أيون الكلورين هي ٥٦٤و. وتدل هذه القيمة على أن أيونات الكلورين لابد أن تحيط بأيونات الصوديوم في ترتيب ثماني الأوجه ولقد أثبتت الأدلة التجريبية صدق هذا الرأي .

عدد التناسق Coordination Number:

عدد التناسق لأيون أو ذرة عنصر ما هو إلا عدد الأيونات أو الذرات التي تحيط و تلامس هذا الأيون أو هذه الذرة . فمثلا في (شكل هـ) حيث يحيط بـأيون السيليكون (الكرة السوداء المركزية) ويتلامس معها أربعة أيونات للأكسيجين (الكرات البيضاء الكبيرة) ، يكون عدد التناسق للسيليكون هو(٤) والنسبة بين نصفي القطرين هي ٣٠و. وقد يكون للعنصر اكثر من عدد تناسق واحد فمثلاً : قد تحاط ذرة ماغنسيوم بستة ذرات أكسيجين عندما يتحد الاثنان لتكوين أكسيد الماغنسيوم (MgO) وفي هذه الحالة يكون عدد التناسق للمغنيسيوم "٦" والنسبة بين نصفي القطرين في هذا المركب هي ٤٧و. أما في مركب تلوريد الماغنسيوم (MgTe) ، فالنسبة تساوى ٣١و. ويكون عدد التناسق للماغنسيوم يساوى ٤ ، حيث تحاط ذرة الماغنسيوم بأربعة ذرات تريليوم في ترتيب رباعي الأوجه tetrahedron

ولما كان الأكسيجين مكون عام في تركيب كثير من المعادن ، فعندما نذكر عدد التناسق لعنصر ما بدون تمييز فإننا نقصد عدد ذرات الأكسيجين التي تتناسق مع ذرات العنصر المذكور . فمثلا عندما يكون عدد التناسق يساوى ٨ فان ثماني ذرات أو أيونات تحيط بذرة أو أيون العنصر المركزي في شكل مكعبي . وعلى ذلك نجد أن عدد التناسق يتوقف على النسبة بين نصف قطر الأيون المركزي ونصف قطر الأيون المتناسق حوله ، كما يتبين من الجدول التالي :

عدد التناسق	ترتيب الأنيونات حول الكاتيونات	النسبة بين نصف قطر الكاتيون إلى الأنيون
٣	أركان مثلث متساوي الأضلاع	من ١٥،. إلى ٢٢،.
٤	أركان رباعي الأوجه	من ٢٢،. إلى ٤١،.
٦	أركان ثماني الأوجه	من ٤١،. إلى ٧٣،.
٨	أركان المكعب	> ٧٣،.

(٣) الروابط الكيميائية Chemical Bonds :

تتوقف كثير من خواص المعدن ومميزاته على نوع وشدة القوى الكهربائية التي تربط ذرات المادة بعضها إلى بعض فمثلا انفصام الميكا إلى صفائح رقيقة بسهولة يتوقف على الروابط الكهربائية التي تربط الذرات ببعضها ، حيث نجد أن الأيونات مرتبطة ببعضها ارتباطاً قوياً في الصفائح في الاتجاه الموازى للانفصام ، أما القوى التي تربط كل صفيحة بجاراتها فإنها قوى ضعيفة لا تصمد أمام أي ضغط ، وبالتالي تنفصم الصفائح عن بعضها في هذه المستويات ذات الروابط الضعيفة . وقد أثبتت الدراسات البلورية بالأشعة السينية هذا الرأي . و يُفَسَر الانفصام بصفة عامة على أنه إنفصال يحدث في بناء البلورة في المستويات ذات الروابط الكيميائية الضعيفة وقد وُجدَ عموماً أنه كلما كانت الرابطة قوية كلما زادت صلابة البلورة وكذلك درجة انصهارها ، بينما يقل معامل تمددها الحراري . ولذلك تعزى صلادة الماس العالية ألي الروابط الكهربائية القوية جدا بين ذرات الكربون فيه .

وهناك أربعة أنواع رئيسية من الروابط الكيميائية هي : الأيونية ، المشتركة ، الفلزية ، فان درفال .

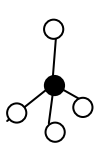
١- الرابطة الأيونية Ionic Bond :

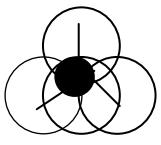
وهذه هي الرابطة التي تربط بين الأيونات ذات الشحنات الكهربائية المختلفة في البلورة ، ولذلك تعرف هذه الرابطة أيضا باسم " الرابطة الكهربائية الاستاتيكية " Electrostatic bond ". ومن أمثلتها الرابطة التي تربط أيون الكلورين بأيون الصوديوم في بلورة كلوريد الصوديوم. مثل هذه المركبات التي يغلب في بنائها الذرى الرابطة الأيونية ، عندما تذوب في مذيبات مثل الماء فإنها تُكسِب هذه المذيبات خاصية "المحاليل الموصلة" التي تحتوي على أيونات حرة . أما من ناحية الخواص الطبيعية فنجد أن البلورات ذات الرابطة الأيونية لها صلابة متوسطة ، و كذلك وزنها النوعي متوسط . أما عن درجات الانصهار والغليان فهي عالية ، كما أن هذه البلورات موصلة رديئة جداً للكهرباء والحرارة .

٢- الرابطة المشتركة Covalent Bond :-

وتسمي كذلك الرابطة الإلكترونية المشتركة Electron sharing bond وهذه أقوي أنواع الروابط . وتتميز المعادن ذات الرابطة المشتركة بأنها غير قابلة للذوبان بصفة عامة ، وبأنها مستقرة stable ، وذات درجة انصهار ودرجة غليان عاليتان جداً .ولا تعطي هذه المعادن أي أيونات في المحاليل التي تكونها ،وعلي ذلك فهي مواد موصلة رديئة للكهرباء في كلتا الحالتين السائلة والصلبة .وهذه الرابطة تتكون نتيجة لاشتراك إلكترون بين ذرتين.فإذا وجد فراغ في المسار الإلكتروني الخارجي للذرة فان كل طاقة الذرة تُسْتَنفَذْ في هذه الرابطة التي تربط ذرة بجارتها ، ويتكون عندنا جزئ مستقر (مثل جزئ الكلورين) الذي لا يُظْهر أي ميل للاتحاد بجزيء آخر .

وهناك عناصر أخرى مثل الكربون والسيليكون والألمونيوم لها اكثر من فراغ في المسار الإلكتروني الخارجي لذراتها . ولذلك فإن ذرة العنصر منها تتحدد بعدد من الذرات المجاورة بواسطة الرابطة المشتركة لتنتج مجموعات ذرات مستقرة ذات أشكال و أبعاد ثابتة ، ومن أمثلة ذلك ذرات السيليكون التي لها أربعة فراغات في مساراتها الخارجية تملؤها بإلكترونات مشتركة مع أربعة ذرات أكسيجين ، وبذلك تكون مجموعة SiO_4 مرتبطة بروابط مشتركة قوية في هيئة رباعي الأوجه Tetrahedron حيث توجد ذرات الأكسيجين الأربعة عند أركان هذا الشكل الرباعي (كما في الشكل التالى) .





وقد ترتبط مجموعتان أو اكثر من هذه المجموعات الرباعية SiO_4 لينتج عنها أشكال هندسية مختلفة هي الأساس في البناء الذري للأنواع المختلفة من المعادن السليكاتية .

٣- الرابطة الفلزية Metallic Bond:-

وهذه هي الرابطة التي تربط ذرات الفلزات ، وفيها تحاط نواة ذرة الفلز بسحابة من الإلكترونات الحرة الانتقال في البناء الذرى للفلز دون أن تسبب إخلالاً لميكانيكية الروابط . ويعزى إلى هذه الرابطة جميع الخواص المميزة للفلزات مثل القابلية للطرق والسحب وسهولة التشكيل ، والتوصيل الجيد للكهرباء والحرارة ، وانخفاض كل من الصلابة ودرجة الغليان ودرجة الانصهار .

٤- رابطة فان درفال Van der Waal Force:

وهذه عبارة عن القوى الضعيفة التي تربط الجزئيات المتعادلة بعضها ببعض ، وهى عبارة عن قوى متبقية على سطح هذه الجزئيات أو المجموعات البنائية غير المشحونة في البلورة .

وغالبا ما تضم البلورات المعدنية اكثر من نوع واحد من الروابط الكيميائية .فمثلا في الجرافيت ترتبط الذرات ببعضها في الصفائح بواسطة الرابطة المشتركة القوية ،بينما يحدث الانفصام في المستويات التي ترتبط برابطة فان درفال الضعيفة .أما في الميكا فترتبط الذرات في الصفائح بواسطة الرابطة المشتركة القوية حيث توجد مجموعات السليكات الرباعية ،وترتبط الصفائح ببعضها بواسطة الرابطة الأيونية الضعيفة عن طريق أيونات البوتاسيوم وينتج عن هذا البناء الذرى ذو الروابط المختلفة أن ينفصم معدن الميكا بسهولة جداً في المستويات ذات الرابطة الايونية الضعيفة .وتعرف البلورات التي يوجد بها روابط من أنواع مختلفة باسم Heterodesmic ، بينما تُعْرَف بلورات المعادن التي يوجد بها نوع واحد من الروابط باسم Homodesmic مثل الكوارتز والماس .

التشابه الشكلى Isomorphism:

هذه الظاهرة تنتج من تواجد مواد مختلفة في التركيب الكيميائي ومتشابهة في الشكل البلوري ،والمواد المرتبطة بهذه الظاهرة تعرف باسم مواد متشابهة الأشكال Isomorphous Substances ومثل هذه المواد المتشابهة الأشكال تتشابه بشكل ملحوظ في خواصها الطبيعية والكيميائية والبلورية ولها تقريبا نفس الزوايا بين الوجهية ونفس النسبة المحورية .

وتتشابه المواد المتشابهة الأشكال في بنائها الذرى (متشابهة البناء Isostructural) كما أن مثل هذه المواد تتداخل بلوراتها مع بعضها inter-crystallize.فإذا حللنا بلورة سترونشيانيت ($SrCO_3$) وغالبا ما نجد فيها كمية لا بأس بها من الكالسيوم (Ca) وكذلك الباريوم (Ba) .حيث حلت هذه العناصر (Ca, Ba) محل جزء من الاسترانشيوم (Sr) ويعرف هذا بإسم إحلال أو استبدال التشابه الشكلي (Isomorphous replacement) (supstitution).ولا يتم الإحلال بين عنصر و آخر إلا إذا تقاربا في الحجم ، أي أن لهما نصفى قطرين ذريين متساويين تقريباً . ويجب ألا يزيد الفرق بين نصفى القطرين عن ١٥% .ويجب أن تكون المادة الناتجة من الإحلال متعادلة كهربياً .فإذا حل أيون عنصر أحادى التكافؤ (مثل الصوديوم ونصف قطرة الذرى٩٧، أنجستروم) محل أيون عنصر ثنائي التكافؤ (مثل الكالسيوم ونصف قطره الذرى ٩٩، انجستروم) فلابد أن يحدث إحلال آخر في نفس الوقت بين عنصرين آخرين (الألومنيوم الثلاثي التكافؤ محل سيليكون رباعي التكافؤ) حتى ينتج التعادل الكهربي للمادة الناتجة :

$$Na^{1+} + Si^{4+} = Ca^{2+} + Al^{3+}$$

$$NaAlSi_3O_8 \longrightarrow CaAl_2Si_2O_8$$

والإحلال بين العناصر المختلفة قد يكون جزئياً أو كاملاً . ومن أمثلة الإحلال الجزئي إحلال الحديد محل الزنك في معدن السفاليريت (ZnS) حيث لا يسمح بناء المعدن بأكثر من ١٨% من الحديد لتحل محل الزنك ويتدرج لون المعدن من عديم اللون إلى بني إلى أسود بازدياد نسبة الحديد من صفر إلى ١٨% .

أما الإحلال الكامل : فإنه يظهر بوضوح بين طرفي مجموعة معادن الفلسبارات البلاجيوكيزية وهما الألبيت (NaAlSi3O8) والأنورثيت (CaAl2Si2O8) حيث محل الصوديوم والسليكون إحلالا كاملا محل الكالسيوم والألومنيوم لتنتج مركبات متوسطة بين الاثنين (تحتوي علي الصوديوم والكالسيوم والألومنيوم والسيليكون) ولها خواص متدرجة بين خواص الطرفين فمثلا يتدرج الوزن النوعي من ٢,٦١ للألبيت حتى ٢,٧٥ للانورثيت .

التعدد الشكلي Polymorphism :

تصف هذه الظاهرة وجود أكثر من مادة لها نفس التركيب الكيميائي ولكنها تختلف في بنائها البلوري وشكلها البلوري . مثال ذلك : الماس والجرافيت معدنان لهما نفس التركيب الكيميائي (عنصر الكربون) ، ولكنهما يختلفان عن بعضهما في الخواص الطبيعية مثل الصلابة والوزن النوعي والنظام البلوري ... الخ.

مثال آخر:-

كربونات الكالسيوم يمكن أن تتبلور تحت ظروف خاصة لتعطى بلورات معينية الأوجه (Rhombodedrad) تابعة لفصيلة الثلاثي وهى معدن الكالسيت ، وتحت ظروف أخرى تعطى بلورات معينية قائمة (Orthorhombic) هى معدنى الكالسيت والأراجونيت و كلاهما (الكالسيت والاراجونيت) له خواص طبيعية مختلفة عن الآخر .

ويطلق على المواد التي توجد في شكلين بلوريين مختلفين اسم ثنائية التشكل Dimorphous مثل الكربون وكربونات الكالسيوم . أما إذا وجدت المادة في ثلاثة أشكال فإنها تعرف ثلاثية التشكل Trimorphous مثل ثاني أكسيد السليكون الذى

يوجد في ثلاثة أشكال هي الكوارتز (فصيلة الثلاثى) والتريديميت (فصيلة المعينى القائم) والكريستوباليت (فصيلة الرباعي).

ويجب ملاحظة أن الأشكال المختلفة للمادة الكيميائية الواحدة لا تتكون كلها فى ظروف واحدة ؛ بل تتكون في ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة والبيئة الكيميائية (درجة التركيز- درجة الحموضة- درجة القلوية)٠

فمثلاً٠: يتكون الماس في ظروف من الضغط والحرارة العاليين جداً٠ بينما يتكون الجرافيت تحت الضغط الميكانيكى٠ ويتكون الكوارتز في درجة حرارة أقل من ٧٧٠م أما التريديميت فيتكون بين درجتى الحرارة ٨٧٠° م و١٤٧٠° م ، في حين يتكون الكريستوباليت في درجة حرارة أعلى من١٤٧٠° م ويتكون معدن البيريت (FeS2) من المحاليل القلوية والمتعادلة عند درجات حرارة متوسطة وعالية تحت الضغط ، أما الماركازيت (FeS2) فيتكون من محاليل حمضية تحت درجة ٤٥٠ م ٠

الخداع الشكلى Pseudomorphism:

إذا حدث تعديل للبلورة بحيث يتغير بناؤها الذرى الداخلي دون أن يحدث أي تغيير على الشكل الخارجي (أي تحتفظ البلورة بشكلها الخارجي) فإنها توصف في هذه الحالة باسم شكل خادع أو شكل كاذب **pseudomorph** أو **False Form** ، وفي البلورة الخادعة الشكل يتبع التركيب الكيميائي والبناء الذري معدناً معيناً بينما يتبع شكلها الخارجي معدناً آخر .

مثال ذلك :

قد يتغير معدن البيريت (FeS2) ليعطى معدن الجيوثيت (HFeO2) الذي يظل يحتفظ بالشكل المكعبى الخارجي المميز لمعدن البيريت، وتعرف بلورات هذا المعدن في هذه الحالة بأنها شكل كاذب لمعدن الجيوثيت الناتج من البيريت . وتتكون الأشكال الكاذبة في الطبيعة نتيجة لإحدى العمليات آلاتية .

(١) التغير الشكلي (Paramorphism) دون حدوث تغير في التركيب الكيميائى:

يطلق اسم الشكل المغاير Paramorph على البلورة التي تغير بناءها الذري دون أن

يُحدِثْ ذلك أي تغيير للشكل الخارجي لها . أو بمعنى آخر أنها عبارة عن البلورة التي تغير بناءها الذرى دون أن يتغير تركيبها الكيميائي : مثال ذلك معدن الكالسيت (CaCO3)الناتج من معدن الاراجونيت (CaCO3) ، ولكن الكالسيت الناتج (رغم أن بناؤه الذرى الداخلي يتبع فصيلة الثلاثي حيث نتج عن تعديل نظام ذرات الاراجونيت المعينى القائم) إلا أنه لا يزال يحتفظ بالشكل المعينى القائم الخارجي الخاص بمعدن الاراجونيت (أي يبدو من الخارج كأنه أراجونيت أي يعطى "شكل كاذب") ، لأن جميع خواصه الفيزيائية (والتى تتوقف على البناء الذرى الداخلي الذرى اصبح في هذه الحالة كالسيت) تكشف ان المعدن اصبح كالسيت وليس أراجونيت وان الشكل الخارجي الظاهر للعين ما هو إلا شكل خادع .

٢- <u>حدوث تغير في التركيب الكيميائى الذي يتم بطريقتين :</u>

أ- <u>الإحلال أو الاستبدال replacement or substitution</u> ينتج الشكل الكاذب في هذه الحالة بإزالة مادة البلورة الأصلية وإحلال مادة جديدة محلها وترسيبها في نفس الوقت دون أن يحدث أي تفاعل كيميائي بين المادة المزالة والمادة المترسبة.

مثال : الكوارتز (SiO2) يحل محل الكالسيت (CaCO3)

الكوارتز (SiO2) يحل محل الفلوريت (CaF2)

<u>ب- التحلل Alteration :</u>

ينتج الشكل الكاذب في هذه الحالة إذا تغير التركيب الكيميائي للبلورة الأصلية سواء تم ذلك بإضافة مادة جديدة أو بإزالة جزء من مادتها الأصلية (أو الإثنين معاً : الإضافة والإزالة) دون أن يحدث تغير فى الشكل البلوري الخارجي البلوري الأصلية.

مثال : إزالة بعض المواد (العناصر) : -

الهيماتيت (Fe2O3) يتكون من الماجنيتيت (Fe3O4) بإزالة الحديد .

***مثال : إضافة بعض المواد (العناصر) :**

الجبس (CaSO4.H2O) يتكون من الأنهيدريت (CaSO4) بإضافة الماء .

***إزالة وإضافة بعض المواد:**

الجيوثيت ($HFeO_2$) يتكون من البيريت (Fes_2) بإزالة الكبريت وإضافة الماء.

٣-أشكال قشرية كاذبة Incrustation Pseudomorph أو قوالب Casts:-

تحدث هذه الأشكال عندما يترسب معدن على سطح بلورة معدن آخر في هيئة قشرة تغلف البلورة بأكملها وفى هذه الحالة يعرف الشكل الكاذب بانه قالب خارجي external cast مثل الكوارتز الذى يحيط بمكعب الفلوريت (CaF_2) ويأخذ شكله الخارجى . وقد يحدث في بعض الأحيان أن يترسب المعدن في الفراغات الناتجة من إذابة بعض البلورات السابقة ويملؤها ويأخذ شكلها وفى هذه الحالة يعرف الشكل الكاذب الناتج باسم قالب داخلي Internal Cast ، ومن أمثلتها بعض أنواع الصخور المملوءة بمعادن الزيوليت Zeolites والنحاس .

استخدامات المعادن فى الحياة

يرجع إستغلال الثروات المعدنية الى آلاف من السنين التى مضت ، ومنذ ذلك الزمن البعيد والمعادن تسهم بنصيب وافر فى بناء حضارة الإنسان.

فى العصر الحجرى القديم إستعمل الإنسان الأول مواداً غير فلزية هى الصوان والكوارتز وأحجاراً صلدة وأخرى رخوة ، وذلك لعمل أسلحته وأدواته وأغراض الحفر . لقد إستخدم إنسان العصر الحجرى القديم فى الفترة مابين ١٠٠٠ ، ٧٠٠٠ سنة قبل الميلاد ثلاثة عشر نوعاً من المعادن نذكر من بينها الكوارتز بأنواعه والبيريت والكالسيت والكهرمان والتلك . أما فى العصر الحجرى الحديث فقد تعرف الإنسان على الذهب والنحاس والفيروز وغيرها من المعادن . أما عن استخراج المعادن الكريمة وصناعتها فقد وصلت الى مرتبة عالية من الفن أيام قدماء المصريين والبابليين والآشوريين والهنود . وازدادت معرفة الإنسان بالمعادن والصخور وإستخدامه لها على مر السنين ، وأمكنه إستخلاص الفزات منها ، وإنتقل من عصر النحاس إلى عصر الحديد والفحم ثم عصر البترول وحالياً فى عصر المواد المشعة مثل اليورانيوم .

ومن هذا نرى الأهمية القصوى للمعادن فى بناء حضارة الإنسان واقتصادياته إذ أن جميع المواد غير العضوية التى تُتَداول فى التجارة إما أن تكون معادن أو مواد أصلها معادن وقد قسمت المعادن تبعاً لاستعمالاتها كالآتى :

١- معادن خامات الفلزات Ores of Metals .
٢- معادن الطاقة الذرية Minerals for atomic energy.
٣- معادن الحراريات Refractories.
٤- معادن الصنفرة وأحجار التجليخ Abrasives.
٥- معادن الخزف والزجاج والميناء Pottery, glass and enamel.
٦- معادن صاهرة Fluxes.

٧- معادن المخصبات Fertilizers.

٨- معادن الأجهزة البصرية والعلمية .

٩- معادن الزينـــة Ornamental Minerals.

١٠- معادن الأحجار الكريمة Gem Minerals.

١١- معادن تستعمل فى صناعات أخرى .

١- معادن خامات الفلزات Ores of Metals

مثل الذهب و الفضة والبوكسيت (أكسيد الألومنيوم) ، معادن خامات الحديد المختلفة (الماجنيتيت ، الهيماتيت ، الليمونيت ، السيديريت) ، معادن خامات النحاس المختلفة (مالاكيت ، أزوريت ، كوبريت وغيرها) ، معادن خامات النيكل والموليبدنوم والمنجنيز والرصاص والقصدير والتنجستن والزئبق والزنك والكروميوم.

٢- معادن الطاقة الذرية

تشمل المعادن المشعة معادن اليورانيوم والثوريوم . ومعادن اليورانيوم فى الوقت الحاضر هى المصدر الهام الوحيد للطاقة الذرية حيث يستخلص منها اليورانيوم ٢٣٥ ، وكذلك يحضر منها عنصر البلوتونيوم . وأهمية الثوريوم تأتى من أنه يمكن الحصول منه على أحد نظائر اليورانيوم المسمى يورانيوم ٢٣٣ ، وهذا الأخير قابل للإنقسام الذرى مثل البلوتونيوم واليورانيوم ٢٣٥ .

معادن اليورانيوم :-

يوجد عنصر اليورانيوم فى نهاية الجدول الدورى للعناصر حيث أن له أكبر وزن ذرى وهو ٢٣٨ . ولايوجد اليورانيوم كمعدن عنصرى Native فى الطبيعة ، بل إن مركباته موزعة فى القشرة الأرضية بكميات ضئيلة جداً فى جميع أنواع الصخور تقريباً . وكذلك فى المياه الطبيعية بما فيها مياه البحار . واليورانيوم هو العنصر الوحيد الذى يوجد فيه طبيعياً أحد النظائر التى تنقسم إنقساماً ذرياً بسهولة ، وهو اليورانيوم ٢٣٥ ، ونسبته فى اليورانيوم الطبيعى دائماً تقدر بنسبة ١ : ١٤٠ .

ولليورانيوم ميل شديد للإتحاد مع الأكسجين ، فلا يوجد عنصرياً ولا فى هيئة كبريتيدات ، ولكن معادنه عادة تكون عبارة عن أكاسيد أو فوسفات أو زرنيخات أو كبريتات أو كربونات أو سيليكات . ويوجد اليورانيوم فى أكثر من مائة معدن مختلف ، ولكن القليل منها له أهمية إقتصادية ، وهى المعادن المعروفة باسم معادن الخام Ore Minerals وهى معادن توجد مركزة نسبياً ، ويكون تركيبها الكيميائى مناسباً بحيث يمكن استخلاص اليورانيوم منها بتكاليف معقولة . أما المعادن الأخرى فلها أهميتها العلمية ، ولا قيمة ها فى الصناعة الآن إلا أنها تدلنا على إحتمال وجود المعادن الإقتصادية فى أماكن تواجدها .

معادن الثوريوم :

تعتبر معادن الثوريوم قليلة إذا ماقورنت بمعادن اليورانيوم ، ذلك لأن معادن الثوريوم لايتكون منها معادن ثانوية إلا نادراً ، ومع أن آثاراً من الثوريوم وُجِدَت فى أكثر من مائة معدن ، إلا أن عدداً قليلاً منها يبلغ حوالى ١٤ معدناً تُعتَبَر معادن هامة للثوريوم ، وغالباً ماتحتوى معادن الثوريوم على جزء بسيط من عنصر اليورانيوم ، والعكس كذلك صحيح إذ أن معظم معادن اليورانيوم الأولية تحتوى على آثار ضئيلة من الثوريوم .

ويُلاحَظ أن هناك بعض أنواع من معدنى الثوريوم يُعرفان باسم ثوريت Thorite ($ThSiO_4$) ، وثوريانيت Thorianite (ThO_2) تحتوى على ٢٠ - ٣٠ % من اليورانيوم .

توجد معادن الثوريوم عادة فى صخور الجرانيت والبيجماتيت أو فى رواسب التجمعات Placers المشتقة منهما ، كما أكتشف عدد من العروق التى تحتوى على معادن للثوريوم . ويُلاحَظ أن الثوريت والثوريانيت هما المعدنان اللذين يوجد فيهما الثوريوم كمكون أساسى ولكنه لايُستَغَل منهما إقتصادياً فى الوقت الحاضر. أما معادن الثوريوم الأخرى مثل المونازيت والألانيت والزينوتيم والجادولينيت وغيرها فتحوى من ١ إلى ١٥ % من الثوريوم فى هيئة مكون ثانوى غير أساسى فى تركيب المعدن ،

حيث أنها أساساً مركبات للزركونيوم (Zr) والعناصر الأرضية النادرة . ويجدر بالذكر أن معدن المونازيت هو المصدر الوحيد المُستَغَل إقتصادياً فى الوقت الحاضر لاستخراج الثوريوم .

٣- معادن الحراريات Refractories

تحتاج الصناعات الفلزية الحرارية الحديثة إلى مواد حرارية لتبطين الأفران التى تتحمل درجات الحرارة العالية ، أما إذا إنصهرت هذه المواد فى درجات من الحرارة أقل من ١٥٠٠ □□م فإنها لاتُعتَبَر مواد حرارية . ومن الشروط الأخرى الواجب توافرها فى المواد الحرارية هو عدم تفاعلها مع المواد التى تُصهَر فى الأفران ، كما يجب أن تكون هذه المواد الحراريةمن المتانة والقوة بحيث تتحمل ثقل المواد المصهورة والخبث الناتج ولا تتأثر بهما ، وألاَّ ينتابها شروخ أو إنتفاخ عند تغير درجات الحرارة ، كما يمكن تشكيل هذه المواد الحرارية فى صورة قوالب أو غيرها من الصور . وهناك أغراض أخرى لإستعمال المواد الحرارية غير تبطين الأفران - مثل الأغراض الكهربائية (العوازل وشموع الإحتراق) وصناعة الأسمنت وغيرها.

ومن أمثلة المعادن التى تستعمل فى تبطين الأفران معادن الجرافيت Graphite (C) ، البوكسيت ، الماجنيزيت Magnesite (MgCO3) ، والدولوميت Dolomite [CaMg(CO3)2] .

ومن أمثلة المعادن التى تستعمل فى صناعة الطوب الحرارى معادن الكروميت Chromite (FeCr2O4) ، والزيركون Zircon (ZrSiO4) ، والكاولينيت Kaolinite [Al4(Si4O10)(OH)8].

ويعتبر معدنى الكايانيت Kyanite (Al2SiO5) ، السيليمانيت Sillimanite (Al2SiO5) من أهم المعادن التى تستخدم فى صناعة الخزف عالى الدرجة الذى يمتاز بارتفاع درجة إنصهاره ، وانخفاض معامل تمدده ، وتحمله للصدمات ، وانخفاض قدرته على توصيل الكهرباء وكلها صفات تجعل هذا النوع من الصينى

صالحاً تماماً لصناعة شموع الإحتراق وأوانى المعامل وأغلفة الازدواج الحرارى والأنواع الخاصة من الطوب الحرارى المستعمل فى الأفران الكهربائية وأفران الحدادة وقمائن الأسمنت .

كذلك فإنه يستفاد من خاصية مقاومة الميكا لمرور التيار الكهربائى بدرجة لايعادلها أى بديل آخر صناعى أو طبيعى فى صناعة العوازل الكهربائية . وتعتبر الميكا فى الوقت الحاضر من المعادن الضرورية للحياة الحديثة .

ومن ناحية أخرى فإن التلك يستعمل فى صناعة الخزف لانتاج أنواع معينة من الخزف المستعمل فى الأغراض الكهربية ، وأدوات المائدة . وقد استعمل التلك المحروق فى صناعة المواد العازلة للكهرباء والحراريات .

أما الأسبستوس فيستفاد من خاصية عدم انصهار أليافه فى انتاج المواد غير القابلة للآحتراق (العوازل الحرارية) مثل حصائر التسقيف والألواح المضغوطة والألواح المسطحة والبويات غير القابلة للإحتراق والأسمنت . وكذلك يستعمل فى صناعة معاطف وملابس رجال المطافى وكذلك فى صناعة الستائر الواقية من الحريق فى المسارح . كما يستعمل فى صناعة مواد عازلة للكابلات الكهربية والأسلاك ولوحات التوزيع وغيرها من الأجهزة الكهربية وذلك نظراً لخاصية الاسبستوس فى مقاومة تمرير التيار الكهربائى

٤- معادن الصنفرة Abrasives

تشترك جميع المعادن المستعملة فى صناعة الصنفرة وكذا المواد المشتقة منها فى صفة واحدة هى الصلادة . ويمكن تصنيف مواد الصنفرة الى ثلاث مجموعات كما يلى :

١- مواد صنفرة طبيعية من الرتبة الأولى ، وتضم هذه المجموعة الماس والكوراندوم (Al_2O_3) والجارنت .

٢- مواد صنفرة سيليكية ، تتكون من الأنواع المختلفة من السيليكا .

٣- مواد صنفرة متفرقة وتضم مساحيق الصنفرة ، مثل البوكسيت والمجنيزيت والفلسبار والتلك .

وتجد الأنواع المختلفة من مواد الصنفرة استخدامات كثيرة فى جميع أغراض الصناعة وجميع أنشطة الإنسان .

٥- معادن الخزف والزجاج والميناء

يستعمل الكاولين ، وهو أنقى الرواسب الطينية وأغلاها ثمناً ولونه أبيض ، فى صناعة الخزف الأبيض والأنواع الأخرى من الخزف . أما بالنسبة للزجاج فإن السليكا (SiO_2) تعتبر المكون الرئيسى فى تركيب الزجاج ، حيث تستعمل الرمال التى تحتوى على سيليكا تتراوح كميتها من ٩٥ % الى ٩٩,٨ % فى صناعة الزجاج . أما معادن الفلوريت والفلسبار فانها تستخدم فى صناعة طلاء أدوات الطهى (المينا).

6-معادن الصهر Fluxes

مثل معادن الفلوريت والكالسيت والكوارتز حيث تستعمل هذه المعادن فى عمليات صهر الخامات لتجعل الجلخ أكثر سيولة (fluid slag) ، ولتساعد الفلز المصهور على الهبوط الى قاع الفرن حيث يسحب من الفتحات والصنابير المختلفة. ويتوقف نوع معدن الصهر على طبيعة الخام ، فمثلاً تحتاج خامات الحديد الى كثير من الصاهر الجيرى (الكالسيت) والفلوريت بينما تحتاج الخامات الغنية بالكبريت الى صاهر سيليكى .

7-معادن المخصبات Fertilizer Minerals

يحتاج النبات الى بعض العناصر مثل الفوسفور والبوتاسيوم والنيتروجين وتوجد هذه العناصر فى بعض المعادن التى تستخرج من المناجم لغرض استعمالها فى التسميد ومن أمثلة هذه المعادن ما يلى :

١- الفوسفات (معدن الأباتيت - الفوسفوريت وطبقات العظام وفضلات الطيور).

٢- النترات (النتر الصودى NaNo3) .

٣- البوتاش (معدن السلفيت KCl والكارناليت KMgCl3.6H2O).

٤- الجير والمارل .

٥- الكبريت . ٦- الجبس .

وقد تضاف معادن المخصبات الى التربة مباشرة وهى فى حالتها الطبيعية أو تجهز صناعياً بطرق كيميائية لجعلها أكثر ملاءمة لأغراض التسميد .

٨- معادن الأجهزة البصرية والعلمية

تستعمل بعض المعادن فى صناعة أجزاء خاصة فى الأجهزة البصرية مثل الميكروسكوبات وأجهزة الاسبكتروجراف وغيرها ، وكذلك فى بعض الأجهزة العلمية والراديو والرادار . ومن أمثلة هذه المعادن :

١- **الكالسيت (أيسلاندسبار Icelandpar):** وهو نوع من الكالسيت يمتاز بشفافيته ونقاوته واكتمال بلوراته..ويتميز الأيسلاندسبار بخاصية الإنكسار المزدوج . ويستفاد من هذه الخاصية فى صناعة منشورى نيكول Nicol Prisms (المستقطب Polarizer والمحلل Analyzer) المستخدمين فى الميكروسكوب المستقطب الذى يستعمل فى دراسة الشرائح الرقيقة للمعادن الشفافة والصخور والأسطح المصقولة لخامات المعادن المعتمة .

٢- **الفلوريت** : للفلوريت معامل انكسار منخفض ، وتفريقه للضوء ضئيل ، وليس له خاصية الإنكسار المزدوج . وتجعل هذه الخواص من الفلوريت الشفاف معدناً مرغوباً فيه لصناعة عدسات عالية التكبير فى الميكروسكوب لإصلاح العيب اللونى والكرى فى العدسات . ويستعمل الفلوريت كذلك فى أجهزة التحليل الطيفى وغيرها من الأجهزة التى تحتاج الى شفافية تامة لطرفى الطيف .

٣- **الكوارتز** : تستعمل بلورات الكوارتز النقية جداً ذات الخواص البصرية الأصلية فى صنع أجهزة الراديو وارادار والأجهزة التليفونية والتلغرافية . وتستخدم شرائح رقيقة جداً من الكوارتز فى الارسال اللاسلكى للتحكم فى تردد الموجات ويستخدم وتد الكوارتز Quartz wedge عند اختبار الشرائح الرقيقة للمعادن والصخور تحت الميكروسكوب المستقطب .

٤- **التورمالين Tourmaline**: معدن التورمالين من المعادن التى تكسر الضوء إنكساراً مزدوجاً ، وللأنواع الملونة منه خاصية الامتصاص التفاضلى لموجات الضوء فى الاتجاهات المختلفة مما يكسب المعدن خاصية التغير اللونى بكل وضوح . ويستفاد من هذه الخاصية فى صناعة بعض الأجهزة البصرية المستعملة فى دراسة الألوان والاستقطاب . كما تستعمل بلورات التورمالين فى أجهزة الإرسال اللاسلكى لتكسب الموجات ترددا معيناً .

الميكا Mica : تستخدم الصفائح الرقيقة من الميكا (المسكوفيت) المنفصمة فى المستويات القاعدية (001) والخالية من الشروخ فى صناعة شرائح الميكا Mica

plates التى تساعد فى اختبار الخواص البصرية للمعادن تحت الميكروسكوب المستقطب .

٩- معادن الزينة Ornamental Minerals

يستعمل كثير من المعادن فى أغراض الزينة ومن أمثلتها الكالسيت والرخام والألباستروالسربنتين والمالاكيت والجبس واللازوريت والرودونيت والفلسبار والكوارتز .

١٠- معادن الأحجار الكريمة Gem Minerals

الأحجار الكريمة مصطلح يطلق على المعادن التى لها خواص فيزيائية تجعلها محببة للإنسان ويرغب فى التحلى بها والتزين باستعمالها . والأحجار الكريمة تمثل واحدة من المواد القيمة والتى قدرها الانسان منذ الحضارات القديمة . تُصَنَّف الأحجار الكريمة إلى أحجار ثمينة Precious أو الجواهر النبيلة Nobel gems مثل الماس والزمرد والياقوت والأوبال الثمين ، ثم الأحجار نصف الثمينة Semi-precious ويوجد حوالى مائة معدن تابعة لمجموعة الأحجار الكريمة . ويجب أن يتمتع المعدن بالخواص الفيزيائية التالية حتى تجعل منه حجراً كريماً :

١- لون جذاب ، ٢- بريق ناصع ، ٣- تفرق ضوئى عالى ،

٤- صلادة عالية تقاوم التآكل ، ٥- سهولة الحمل ، ٦- الندرة .

وقد تُعزَى قيمة الحجر الكريم إلى واحدة فقط من هذه الخواص ، ولكن أحجاراً كريمة مثل الماس والزمرد والياقوت لها جميع هذه الخواص ، وعلى ذلك فهى تفوق جميع الأحجار الكريمة الأخرى ، ولذلك تُعرَف باسم الأحجار الكريمة الثمينة . أما الأحجار نصف الثمينة فإنها تتميز بلونها الذى يجذب الأنظار .

١١- معادن تستعمل فى أغراض أخرى

أ - صناعة حمض الكبريتيك : يستعمل الكبريت فى صناعة حمض الكبريتيك حيث يستخرج الكبريت من معدن البيريت (كبريتيد الحديد) بالإضافة الى معدن الكبريت العنصرى الذى يعتبر المصدر الإقتصادى الرئيسى لعنصر الكبريت . ويساهم الكبريت وحمض الكبريتيك سوياً إستعمالات كثيرة لاحصر لها فى الصناعات المختلفة نذكر منها على سبيل المثال : الكيماويات الثقيلة ، لب الورق والورق ، المفرقعات ، الكاوتشوك ، الأصباغ ومنتجاتها ، البويات ، المخصبات والمبيدات الحشرية ، الكيماويات ، الحديد والصلب ، النسيج ، منتجات الفحم ، أغراض فلزية أخرى .

ب - صناعة مركبات الليثيوم : يستعمل عنصر الليثيوم فى الوقت الحاضر- فى كثير من الصناعات الكيميائية - باضطراد حيث أنه أخف الفلزات المعروفة وله درجة إنصهار منخفضة . يوجد الليثيوم فى ثلاثة معادن إقتصادية هى السبوديومين (من معادن البيروكسينات) Spodumene [LiNa(Si2O6)]، والليبيدوليت (من معادن الميكا) Lepidolite [K2Li3Al3(AlSi3O10)2(OH2F)4]، والأمبليجونيت (من المعادن الفوسفاتية) Amblygonite [Ca5(OH)(PO4)3] .

تستعمل مركبات الليثيوم فى الصناعات الكيميائية الدوائية وفى لحام الألومنيوم وفى العوازل المختزلة وتنقية الهيليوم وغيره من الغازات وصناعة الأمونيا والحرير الصناعى والصباغة . كما يستعمل فلز الليثيوم لإنتاج سبائك مع الألومنيوم والماغنسيوم والزنك تمتاز بخفتها وتستعمل فى صناعة الطائرات . كما يستعمل الفلز كعامل مختزل ومنقى فى إنتاج فلزات النيكل والحديد والنحاس النقية وسبائكها .

جـ - صناعة مركبات الاسترونشيوم : يستعمل الإسترونشيوم عادة فى صورة أملاحه المختلفة وأهم إستعمال لها هو فى عمليات تكرير مولاس سكر البنجر . كما تستعمل مركباته المختلفة فى صناعة البطاريات الكهربائية والبويات والمطاط والشمع وتنقية الصودا الكاوية وفى صناعة الزجاج والمينا وفى المستحضرات الطبية . وأهم معادن الإسترونشيوم التى تُستَغَل هى السلستيت Celestite (SrSO4)، والسترونشيانيت Strontianite (SrCO3) .

د ـ معادن أخرى تسعمل فى صناعة الكيماويات : مثل:

* معادن الشب (شب البوتاس أو الألونيت): Alunite [KAl3(OH)6(SO4)2] الذى يستخدم فى معالجة الفراء ، وفى الأغراض الطبية .

* معدن الباريت Barite (BaSO4) : الذى يستخدم فى حفر الآبار ، وفى صناعة الورق والمنسوجات ، وفى مواد الزينة للسيدات ، وفى الطب .

هـ ـ صناعة سبائك خاصة : حيث يُستَغَل معدن البيريل (الزمرد) Beryl [Be3Al(Si6O18)] فى صناعة سبائك البيريليوم التى تستخدم فى صناعة أقراص نوافذ الأشعة السينية (X-Ray) فى أجهزتها المختلفة نظراً لسهولة نفاذ الأشعة السينية منها ، كما تستخدم هذه السبائك فى الأجهزة الميكانيكية للصواريخ الموجهة . ، وفى أغراض بنائية أخرى .

علم الصخور

علم الصخور هو العلم المختص بدراسة الصخور من حيث أصلها ونشأتها، مكوناتها وعلاقاتها بالعمليات الجيولوجية المختلفة في الأرض والتغيرات الناشئة عليها. كما يدل علي ذلك مصطلح (Petrology) وهو كلمة يونانية الأصل تتكون من مقطعين (Petro) ومعناها صخر و(Logy) والتى تعنى علم او معرفة.

التركيب الصخري للقشرة الارضية

الصخور الى جانب المعادن هى مكونات القشرة الارضية او ذلك الغلاف اليابس الذى يحيط بالارض Lithosphere وقد يتركب الصخر من معدن واحد او يكون خليط من عدة معادن ، وتشترك فى بناء جزء اساسى من القشرة الارضية. وتوجد ايضا صخور تتكون من اصل عضوى (ليس معدنى) مثل صخور الفخم او الصخور المتكونة من تكدس بقايا الهياكل العظمية للكائنات الحية. تختلف الصخور اختلافا واضحا يتوقف على نوع المعادن المكونة لها وعلى نسبة هذه المعادن وكذلك على كيفية نشأتها Mode of origin وطريقة تكوينها وتواجدها Mode of occurrence . **ويمكن حصر حميع انواع الصخور المعروفة فى ثلاثة انواع رئيسية هى الصخور النارية والصخور الرسوبية والصخور المتحولة.**

الصخر Rock: يعرف الصخر بأنه مادة صلبة تتكون من معدن واحد أو مجموعة من المعادن تكونت فى مكان واحد نتيجة ظروف تكوين معينة، والصخر هو وحدة تركيب سطح القشرة الأرضية

تصنيف الصخور

تختلف الصخور اختلافاً بيناً يتوقف علي التركيب المعدني لها، كيفية نشأتها وطرق تكونها وتواجدها. هنالك **مجموعة من الأسس التي تقوم عليها تصنيف الصخور منها:**

١) التركيب الكيميائي

٢) المكونات المعدنية

٣) أصل التكوين وبيئة النشأة (مكان التصلد وطريقة الظهور)

٤) ماتحتويها الصخور من أنسجة وتراكيب.

أولا الصخـور النـارية

وهى تتكون نتجة لبرود الصهير وتصلبها اما على السطح او علـى اعمـاق مختلفـة منـه. والصهير هو الخليط السائل او اللزج لمجموعة المعادن المصهورة التى توجد اصلا فى جوف الارض ، والصهير عبارة عن خليط من المواد الطيـارة Volatiles او الغازيـة Gaseous مثل ثـانى اكسيد الكربون وبخـار المـاء ، ومـواد غير طيـارة volatiles-Non مثـال اكاسـيد السـيلكون والألومنيـوم والحديـد والمغنسـيوم وغيرهـا . وفـى اثنـاء صـعود الصـهير مـن بـاطن الارض تجـاه سـطح الارض يقـل الضـغط كمـا تقـل درجـة الحرارة تدريجيا ، والنقص فى الضغط يمكن الغازات المجودة فى الصهير من الهروب او التسلل فى الصخور المجاورة ، بينما يؤدى انخفاض درجة الحرارة الى تبلور المواد الغير طيارة. وكلما كان نقص درجة الحرارة او عملية التبريد بطيئـة كلمـا ظـل الصـهير فى حالة سائلة اكبر وقت ممكن وهذا يسمح للجزيئات الدقيقة ان ترتب نفسها فى اشكال منتظمة وبالتالى تعطى الفرصة لتكون البلورات الكبيرة . و نجد ان التبريد السريع جدا الذى يحدث عندما يصـعد الصـهير علـى هيئـة طفوح بركانيـة الـى سطح الأرض وينـتج عنه نسيج صخرى ذو حبيبات دقيقة Fine grained او نسيج زجاجى.

<u>تتميز الصخور النارية بالخصائص الآتية:</u>

١-توجد في الطبيعة غالبا على هيئة كتل ضخمة ، ولا توجد على هيئة طبقات متتابعة بعضها فوق بعض .

٢- تخلو من الحفريات (بقايا المخلوقات النباتية و الحيوانية)

٣- غالبا ما تكون في حالة متبلورة ويختلف حجم بلورتها باختلاف سرعة تبريد الصهارة الذي تكونت منه ، لذا نجد الصخور التي تكونت في باطن الأرض جوفية ذات بلورات كبيرة الحجم لأنها بردت ببطء .

٤- تتكون من معادن اولية نارية (Pyrogenetic minerals

٥- لا يوجد مسامات أو فراغات بين حبيباتها ، فهي تعد صخورا صماء غير مسامية .

٦- تحتوي علي أنسجة (Textures) وتراكيب (Structures) أولية دالة علي العمليات النارية

الصهير او الماجما Magma

يعتبر الصهير او الماجما Magma وهى كلمة يونانية تعني الجسم اللدن وهو الأصل الذى تكونت منه الصخورالنارية

ويعرف الصهيرعلي أنه محلول معقد غليظ القوام من مادة صخرية مصهورة يتواجد علي مستويات مختلفة من الأرض وفي درجات حرارة عالية جداً وضغط كبير. ويكون تركيبه من نظام سائلى متعدد المكونات (Multi component system) من حالات المادة الثلاث .

يتميز الصهير بالخواص الطبيعية التالية:

١) **يوجد الصهير في درجات حرارة عالية** جداً

٢) **الصهير سائل غليظ القوام شديد اللزوجة** الاّ أن له المقدرة علي الحركة والإنسياب.

٣) الصهير القاعدى أقل لزوجة من الصهير الحمضي لذا نجد أن الحمم القاعدية تنساب الي مسافات بعيدة مقارنة بالحمضية ويعزي هذاالفرق في اللزوجة بين الصهير القاعدي والحمضي الي إرتفاع نسبة السليكا في الأخير.

تبلور وتطور الصهير وتكوين المعادن بالصخور النارية:-

فعندما يندفع الصهير من جوف الأرض الي أعلي فإنه يتبلور ويتصلد بفقدان الحرارة في داخل القشرة الأرضية او علي سطحها وخلال هذه العملية يمر الصهير بمراحل مختلفة تتم فيها مجموعة من العمليات الكيميائية والفيزيائية المعقدة (Igneous processes) تعرف قي مجملها بتطور الصهير والتى تقود الي تكوين ما يعرف بالصخور النارية (Igneous rocks). واهم هذه العمليات هو التبلورالتجزيئي Fractional Crystallization

تسمي عملية تعرض الصهير الي إنخفاض في درجة الحرارة والضغط ومن ثم تصلده بعملية التبلور، والتى تنبني عليها إنفصال بلورات معدنية من الصهير بصورة متكررة فيما يعرف بعملية **التبلور التجزيئي للصهير (Fractional crystallization).**

وضع العالم بوين (N. L. Bowen) قاعدة تسمي قاعدة بوين للتتابع التفاعلي (Bowen reaction principle) اعتبرت النموذج المثالي لشرح **عملية التبلور التجزيئي من الصهير القاعدي**

تصنيف وتقسيم الصخور النارية

هناك عدة طرق لتصنيف الصخور النارية يعتمد كل منها على صفات أو خصائص معينة أهمها ما يلي : ١ ـ كيفية التواجد (مكان التصلب) ٢ ـ التركيب الكيميائي و المعدني

٣ ـ النسيج ٤ ـ اللون

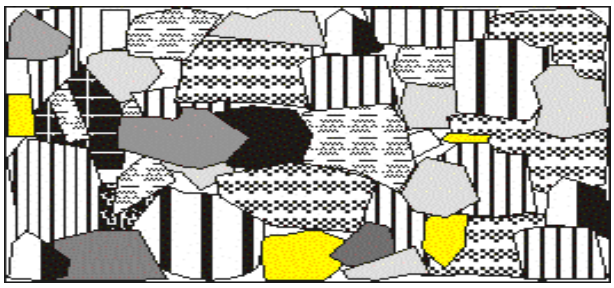
١ـ كيفية التواجد (مكان التصلب) للصخور النارية

من الصخور النارية ما يتكون تحت سطح الأرض خلال الشقوق والفجوات وتسمى الصخور المتداخلة Intrusive rocks ، ومنها ما يصعد حتى سطح الأرض وتعرف بالصخور السطحية Extrusive rocks او البركانية Volcanic rocks ، وكذلك يمكن تقسيم الصخور المتداخلة الى نوعين حسب العمق هما الصخور الجوفية Plutonic rocks والصخور تحت سطحية Hypa byssal rocks وفيما يلى وصف لهم:

أ ـ الصخور الجوفية Plutonic rocks

تتكون الصخور الجوفية على أعماق بعيدة فى جوف الأرض حيث تسمح عوامل الحرارة والضغط بعملية تبلور تام لمكونات الصهير ، نتيجة التبريد البطئ والضغط المستقر نسبيا ، ولذلك توجد المكونات المعدنية للصخور الجوفية فى هيئة

بلورات كبيرة الحجم ومتساوية فيما بينها فى النمو وفى ترتيب أفرادها ، وتوصف المعادن فى هذه الحالة بأنها كاملة التبلور Holocrystalline. وتعرف الهيئة الناتجة عن الحجم النسبى وشكل وطريقة ترتيب بلورات المعادن المكونة لصخر ما بالنسيج Texture. وتتميز الصخور الجوفية بنسيج كامل التبلور أى ذات بلورات واضحة المعالم "نموذجية الشكل" Idiomorphic (شكل ٢).



شكل ٢ ـ يبين النسيج كامل التبلور

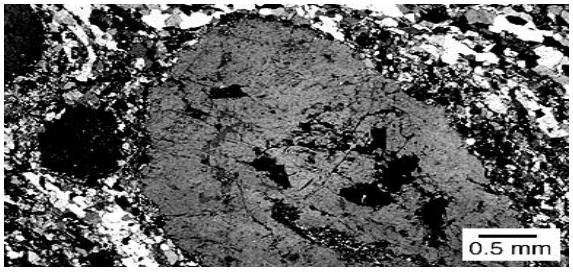
ويوصف النسيج فى هذه الحالة بأنه كبير الحبيبات Coarse grained texture أو جرانيتى Granitoid. وتتواجد الصخور الجوفية فى هيئة كتل ذات حجم ضخم ، تغطى مساحات شاسعة تبلغ مئات الكيلومترات ، وتتزايد مساحتها تدريجيا فى اتجاه قاعدتها على أعماق كبيرة جدا تحت سلاسل الجبال ، وعادة ما تكون أسقفها مخروطية الشكل وجدرانها شديدة الانحدار وغير متوافقة مع صخور مكانها وتعرف هذه الكتل الضخمة من الصخور النارية "باثوليث" Batholith ، وتسمى الأحجام الصغيرة منها "بوس" Boss أو "ستوك" Stock .

ب ـ الصخور تحت السطحية (المتداخلة)

يصعد الصهير أحيانا تحت ظروف اضطرارية داخل القشرة الأرضية ويتسرب إلى مناطق الضعف فى صخور المكان وخاصة الرسوبية منها وينتج عن ذلك تقوس الطبقات الموجودة فوق الصهير المتداخل فتتخذ هيئة قبو ذو قاعدة مستوية إلى حد ما ، وبذلك يوجد شبه توافق من نوع ما بين السطح العلوى لهذه الكتلة المتداخلة وطبقات الصخور الرسوبية المحيطة بها. وتسمى مثل هذه الكتل النارية المتداخلة ، التى قد تصل مساحتها عدة كيلومترات باسم لاكوليث Laccolith أو كتل جرسية.

وأحيانا يتداخل الصهير بين سطوح الطبقات الرسوبية حيث يتجمد فى هيئة جدد موازية sills ، وأحيانا أخرى يغزو الصهير الشقوق والفواصل أو الكسور التى غالبا ما تكون راسية أو مائلة فى صخور المكان ويتجمد مكونا كتلا نارية تعرف بالجدد القاطعة أو الراسية Dikes.

وتتميز الصخور تحت السطحية بنسيج بورفيرى ويتكون من بلورات كبيرة الحجم تسمى Phenocrystal منتشرة فى وسط من البلورات الدقيقة أو المجهرية Microcrystals أو فى وسط زجاجى ينعدم فيه التبلور نهائيا (شكل ٣). وينشأ النسيج اليورفيرى نتيجة تغير الظروف المحيطة بالصهير المتداخل أثناء تصلده ، فتتكون البلورات الكبيرة الحجم النموذجية الشكل أثناء وجود الصهير فى أعماق بعيدة نسبيا من سطح الأرض نتيجة التبريد البطئ ، فإذا ما تداخل الصهير بعد ذلك فى الطبقات القريبة من سطح الأرض حيث التبريد المفاجئ فإنه يتصلد حينئذ فى بلورات دقيقة الحجم أو مجهرية تملا وتتشكل بشكل الفراغات الموجودة بين البلورات النموذجية الشكل السابق تكوينها. وأحيانا أخرى يتعرض الصهير المتداخل إلى انخفاض شديد مفاجئ فى درجة الحرارة والضغط فيتصلد فى هيئة مادة خفية التبلور (لا يمكن تمييزها بعدسة مبكرة أو مجهر عادى) ، أو يتجمد فى هيئة مادة زجاجية عديمة التبلور ، لتكون الوسط الذى يحيط بالبلورات اللكبيرة الحجم.

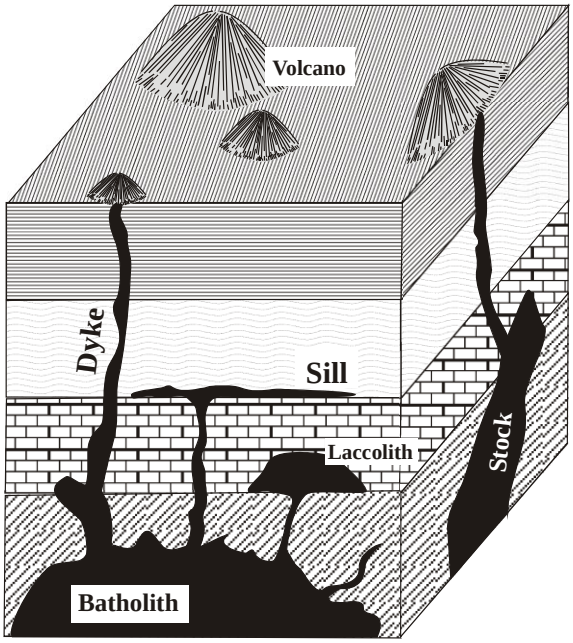


شكل ٣ ـ يبين النسيج البورفيرى فى الصخور النارية

ج ـ الصخور السطحية أو البركانية

تتكون هذه الصخور نتيجة تدفق الحمم أو اللافا من أفواه البراكين الثائرة ، أو من الشقوق والفواصل التى قد تصادف الصهير المتصاعد فى صخور المكان إلى

سطح الأرض ، وتتصلد الحمم حينئذ بسرعة فائقة لا تسمح لمكوناتها بأن تتخذ الأشكال البلورية الخاصة بها فتكون مادة زجاجية عديمة التبلور ، وأحيانا تتجمد الحمم فى كتل سميكة ، فتتكون الطبقة الخارجية منها فى نسيج زجاجى نتيجة تعرضها المباشر للجو حيث تفقد حرارتها بسرعة هائلة ، بينما تتمتع الأجزاء الداخلية منها بتبريد بطئ نسبيا فتتجمد فى نسيج دقيق أو حتى التبلور ، وغالبا ما تحتوى الحمم على غازات وأبخرة متعددة على هيئة فقاقيع كبيرة ، سرعان ما تتطاير بمجرد تعرضها للجو تاركة خلفها فراغات فقاعية فى الصخور النارية السطحية فتكون نسيجا فقاعيا. وقد تمتلئ هذه الفراغات الفقاعية فيما بعد بمعادن ثانوية لاحقة مختلفة الأصل وتظهر فى شكل لوزى ، ويوصف النسيج الناتج بأنه لوزى أو ميجدالى. وأحيانا تتجمع الغازات البركانية فى الحمم على هيئة فقاقيع صغيرة جدا كثيرة الانتشار ، وبمجرد تطايرها تترك الصخر البركانى على هيئة نسيج إسفنجى كما فى الحجر الخفاف.



شكل ٤ : يبين اهم الاشكال التى تكون عليها الصخور النارية الجوفية والمتداخلة والبركانية

وتظهر الصخور البركانية فى الطبيعة فى أشكال مختلفة تتوقف على التركيب الكيميائى للحمم ودرجة حرارتها ودرجة لزوجتها ، فالحمم الحامضية التركيب تظل لزجة لوقت طويل وخاصة فى درجات الحرارة العالية فتسيل إلى مسافات قصيرة غير بعيدة عن

مصدرها ، فى حين أن الحمم القاعدية التركيب قليلة اللزوجة أو مائية Mobile وتتحرك بسهولة فتصل إلى مسافات بعيدة نسبيا عن مصدرها. وتقذف البراكين قطع الحمم إلى ارتفاعات مختلفة فى هيئة كتل بركانية ، أو هيئة بيضاوية تعرف بالقنابل البركانية Volcanic bombs ، او قطع صغيرة الحجم ، أو تتطاير فى هيئة فتات أو حبيبات صغيرة تعرف بالغبار البركانى Volcanic dust. ثم تتساقط هذه القذائف البركانية وتكون الرواسب الفتاتية البركانية ، ومنها البريشيا البركانية (تتكون من قطع صخرية بركانية حادة الحواف). أما اللافا فإنها تسيل على جوانب البراكين الثائرة ، وعندما تبرد هذه الحمم المتدفقة فإنها تتخذ أشكالا حبلية ، عادة ما توازى السطح الذى تسيل عليه ، وغالبا ما تتبلور مكونات الجزء الداخلى لهذه الحمم المتحركة وتترتب موازية لبعضها فى اتجاه التحرك فينتج ما يسمى بنية الانسياب Flow structure . وقد تبرد اللافا متجمدة على هيئة وسائد متجمعة فوق بعضها فى بنية وسادية pillow structure ، وأحيانا تتجمد الحمم فى شكل أعمدة رأسية متلاصقة ذات مقطع سداسى منتظم يشبه خلايا النحل يعرف بالبنية العمدانية Columnar structure . وتنشأ هذه البنية عن الإنكماش المنتظم لسطح الحمم نتيجة التبريد وتنفصل فى أشكال منتظمة سداسية المقطع ، وتمتد الفواصل متعمقة إلى أسفل بازدياد التبريد والانكماش فتتكون أعمدة طولية متوازية متجاورة منفصلة عن بعضها.

٢ـ التركيب المعدنى للصخور النارية

تتكون الصخور النارية من تصلد مادة الصهير أو الحمم. وقد سبق الإشارة إلى أن تجمد الصهير يؤدى إلى تكون معادن السيليكات بالتبلور فى نظام وتتابع معين هو التبلور النوعى أو التبلور التجزيئى. ونتيجة لهذا فإن الصخور النارية تختلف اختلافا بينا فيما بينها فى تركيبها المعدنى وبالتالى فى تركيبها الكميائى. ولا يتوقف نوع الصخور النارية على مجرد خاصية التبلور النوعى فحسب ، بل يتوقف كذلك إلى حد كبير على التركيب الكميائى لمادة الصهير نفسه ، فالصهير الغنى أصلا بالسيليكا والألومينا والقلويات يتصلد مكونا معادن الفلزات القلوية والميكا البيضاء (ماسكوفيت)

والكـوارتز ، بينمـا تتكـون المعـادن الحديدوماغنيسـية مثـل الأوليفـين ، الأوجيـت ، الهورنبلند والميكـا السوداء (بايوتيت) من الصـهير الغنـى بـالجير والماغنيسيا وأكسيد الحديـد. وأمـا الصـهير الغنـى بالقلويـات (الصـوديوم والبوتاسـيوم) فإنـه يتصـلد مكونـا المعادن الفلسباثية مثل النيفيلين .

ويمكـن تصـنيف الصـخور النارية علـى أسـاس التركيـب المعدنى ، أى حسـب نسـبة السيليكا التى يحتويها الصخر إلى أقسام رئيسية هى :

١- صخور حامضية Acidic rocks

تحتوى على أكثر من ٦٦% سيليكا ونسبة صـغيرة من الحديد والماغنسيوم ولـذلك فـإن لونهـا غالبـا مـا يكـون فاتحـا ، وأهم المعـادن التـى تكـون هـذه الصـخور هـى الكـوارتز والفلسـبارات مثـل أرثـوكليز وميكـروكلين وقليـل مـن الفلسـبارات البلاجيوكلازيـة الحامضية مثل ألبيت وأوليجوكليز ، والميكا البيضاء وقليل من الميكا السوداء.

ومن أمثلة هذه الصخور:

الجرانيـت ((صـخر حامضـى يتكـون مـن المعـادن الأساسـية مثـل كـوارتز والفلسـبار البوتاسـى مثـل أرثـوكليز أو ميكـروكلين ، والميكـا البيضـاء (ماسـكوفيت) أو السـوداء (بيوتيت) وهذه معادن سائدة. وقد توجد بعض المعادن الأساسية الأخرى ولكن بنسبة أقل من المعادن السائدة ، فمثلا قد يوجد قليل من الهونبلند. **الجرانودايوريت** (يتشابه إلى حد ما مع الجرانيت فى تركيبه المعدنى إلا أن نسبة الفلسبار البوتاسى تقل بكثير فى الجرانودايوريـت ، وتزيـد نسـبة معـدن البلاجيـوكليز الصـودى جيـث تحـت محـل الأرثوكليز. ويتغير لون الجرانودايوريت بين فاتح وداكن حسب إزدياد البلاجيوكلاز والمعادن الحديدوماغنسية القاتمة مثل الهورنبلند. الرايوليت (صـخر سطحى ذو نسيج دقيق الحبيبات ، حامضى ذو لون فاتح يقابل الجرانيت فى تركيبه المعدنى ، إذ يتكون أساسـا مـن الكـوارتز وأرثـوكليز وقليـل مـن الميكـا وأحيانـا الهورنبلنـد ، ويوجـد صـخر

الرايوليت فى الطفوح البركانية حيث يتميز بنسيج دقيق أو خفى التبلور ، ويوجد أحيانا فى الصخور تحت السطحية المتداخلة.

٢- صخور متوسطة Intermediate rocks

تنحصر فيها نسبة السيليكا بين ٦٥% الى ٥٢% وتزداد بها نسبة الحديد والماغنسيوم عن النوع السابق ، وهى لذلك ذات لون متوسط ولكنه أقتم من الصخور الحامضية. ومن أهم المعادن المكونة لها : الفلسبارات البلاجيوكليزية المتوسطة التركيب مثل أنديزين ومعادن الأمفيبولات مثل الهورنبلد ، وقليل من الفلسبارات البوتاسية والميكا السوداء.

ومن أمثلة هذه الصخور

الأنديزيت والدايوريت (صخر متوسط التركيب المعدنى ومكوناته الأساسية السائدة هى البلاجيوكليز والهورنبلند وتوجد بكميات متوسطة ، والميكا السوداء بنسبة أقل من الهورنبلند ، وكذلك بعض معادن البيروكسينات بكميات قليلة. ويوجد الأرثوكليز بنسبة ضئيلة جدا).

٣- صخور قاعدية Basic rocks

تحتوى على نسبة ٥٢% الى ٤٥% من السيليكا وتكثر فيها نسبة المعادن الحديدوماغنسية مثل الأوليفين والبيروكسينات وكذلك الفلسبارات البلاجيوكليزية القاعدية مثل أنورثيت وبندر وجود معدن الكوارتز فى هذه الصخور. ولون هذه الصخور عادة قاتم يميل إلى السواد ومن أمثلتها صخر البازلت وصخر **الجابرو** (صخر قاعدى شائع الوجود يتكون أساسا من البلاجيوكليز والبيروكسينات وتوجد معادن أخرى غير سائدة مثل الهورنبلند والأوليفين) .

٤- صخور فوق قاعدية Ultra-basic rocks

تقل فيها نسبة السيليكا عن ٤٥% من تركيبها ، وتتكون أساسا من المعادن التى تحتوى على نسبة عالية جدا من الحديد والماغنسيوم مثل الأوليفين. ومن أمثلتها صخر

بريدوتيت ، دونيت ويتكونـان أساسـا مـن مـن معـادن الأوليفين ، وصـخر بيروكسينيت ومعظمه من معادن البروكسينات ، وكذلك صخر هورنبلنديت ويتكون من الهورنبلند.

٣-أنسجة الصخور النارية

يقصد بالنسيج الصخرى حجم وشكل البلورات الصخرية وكيفية ترتيبها داخل الصخر ، وحجم الفراغات البينية.

يُعرف النسيج الصخرى للصخور النارية بأنه وصف المظهر الكلى للصخر حسب حجم وشكل ونظام ترتيب حبيباته أو بللوراته المتماسكة. ويعتبر النسيج من أهم الخصائص المميزة للصخور لأنه يوضح الكثير عن البيئة التى نشأ فيها الصخر، ويمكن للباحث عن طريق فحص هذه الخواص أن يستنتج أسلوب نشأة الصخر بمجرد ملاحظة أنسجتها، إذ يمكن تحديد العمق الذى تبلرت عنده الصخور النارية بمجرد فحص أحجام بللوراتها، فمعدل برودة الصهير من أهم العوامل التى تؤثر فى اختلاف أنسجة الصخورالنارية، فالتبريد السريع ينتج بللورات دقيقة الحجم، ومن البديهى أن يكون معدل التبريد بطيئاً فى غرف الصهير الواقعة فى أعماق القشرة الأرضية وبذلك تنتج بللورات خشنة الحبيبات، بينما تتصلب طبقة رقيقة من لافا مائعة فى غضون ساعات فوق سطح الأرض، وبذلك لا تتمكن من تكوين أية بللورات ولذلك تبدو تحت المجهر عديمة البللورات مثل الزجاج الطبيعى.

و **يتم وصف أنسجة الصخور النارية من النواحي التالية:**

١) درجة التبلور

٢) – حجم البلورات

٣) – شكل البلورات.

<u>اولا- درجة التبلور:</u>

درجة التبلور في الصخر هي كمية البلورات مقابل الزجاج في ذلك الصخر. درجة التبلور تعتمد على عدة عوامل:

- التبريد السريع جدا يعتبر عاملا مهما في تكون الزجاج البركاني بينما التبريد البطئ تحت درجة حرارة التبلور يؤدي إلى تكون البلورات ونموها.
- اللزوجة العالية في الصهارات الغنية بالسيليكا (مثل الصهاره الرايوليتيه) تعيق

تحرك الأيونات إلى مواقع التبلور وبذلك تعيق تكون البلورات.

ويتم توصف درجة التبلور كالتالي:

زجاج كلي holohyaline.

خليط من زجاج وبلورات hypocrystalline.

بلورات كليه Holocrystalline.

ثانيا - حجم البلورات:

حجم البلورات في الصخور النارية يعتمد على سرعة التبريد في الصهير، لكن في الصخور الجوفيه يلعب محتوى الأبخره في الصهير دورا أكثر أهمية. هناك عوامل أخرى تؤثر في حجم البلورات مثل لزوجة الصهير وعدد نواة البلورات. الصخور دقيقة البلورات جدا والتي لا ترى بالعين المجردة تسمى Aphanitic.

و تقسم الصخور النارية حسب حجم بلورتها إلى:

١- دقيقة التحبب fine grained (أقل من ١ مم)

٢- متوسطة التحبب medium grained (١-٥ مم)

٣- خشنة التحبب coarse grained (٥-١٠ مم)

٤- شديدة الخشونة (بجماتيتي) very coarse grained (أكثر من ١٠مم)

اسباب تكون البلورات الخشنة في الصخور النارية :-

١- التبريد البطئ بحيث يكون هناك وقت كافي لتجميع مزيد من الأيونات لتلتصق حول البلورات النامية.

٢- الزوجة المنخفضة للصهير تسمح بتسرب سريع للأيونات في اتجاه البلورات النامية.

٣- عندما يكون عدد انواية البلورات قليلا يسمح بنمو البلورات دون أي إعاقة من البلورات المجاورة.

٤- البلورات الخشنة جدا في الصخور البجماتيتيه تعتمد على المحتوى العالي من المتبخرات والذي يتركز في المراحل الأخيرة من التبلور.

٥- ارتفاع نسبة الماء والأبخرة بالصهير تزيد من سرعة نمو البلورات، وذلك بتخفيض درجة اللزوجه للصهير وبالتالي تزداد سرعة تحرك الأيونات إلى مراكز الأنوية القليله فتصبح بلورات كبيرة.

ثالثا- شكل البلورات:

توصف أشكال البلورات فى الصخور النارية كالاتى:

كاملة الأوجه euhedral.

ناقصة الأوجه subhedral.

عديمة الأوجه anhedral.

وتوصف ايضا أشكال البلورات فى الصخور النارية كالاتى::

إذا كانت البلورات **متساوية الأبعاد** تسمى equant.

إذا كانت البلورات **صفائحية** تسمى tabular.

إذا كانت البلورات **منشوريه أو مستطيله** تسمى prismatic.

إذا كانت البلورات **إبريه الشكل تسمى** acicular.

كيفية وجود الصخور النارية

Modes of Occurrence of Igneous intrusions

قبل أن نتم الحديث عن التراكيب المختلفة التى توجد فى القشرة الأرضية يجب أن نشير إلى كيفية وجود الصخور النارية أى إلى التراكيب المختلفة التى تكونها هذه الأنواع المختلفة من الصخور النارية اثناء صعودها على هيئة مواد منصهرة من جوف الأرض خلال الطبقات المختلفة للقشرة الأرضية وتصلبها على أبعاد مختلفة من السطح.

وقد ثبت أن الصخور النارية الجوفية Plutonic Rocks هى الأهم فى هذه الدراسة إذ أنها توجد على هيئة تراكيب مختلفة داخل القشرة الأرضية. وفى بعض الأحيان نجد هذه الصخور مكشوفة على سطح الأرض نتيجة لعوامل التعرية المختلفة التى أزالت ما كان يغطيها من طبقات ، أما الصخور البركانية وهى الصخور النارية السطحية فهى تعتبر قليلة الأهمية بالنسبة للصخور الجوفية فيما يختص بما تكون من تراكيب ، إذ أنها توجد على هيئة طفوح بركانية فى الغالب Lava flows وتكون عادة متصلة بالصخور الجوفية بواسطة صخور متوسطة بين النوعين.

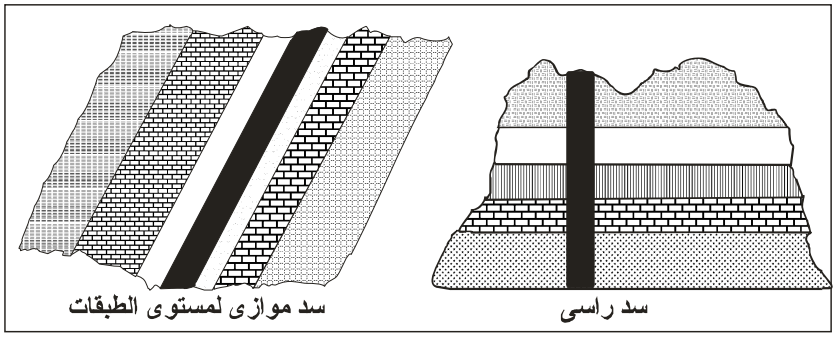
(أ) أهم الأشكال أو التراكيب التى توجد عليها الصخور الجوفيه والمتدخلة :

١- السدود القاطعة أو الرأسية Dykes

وهى ما يحدث عندما تصعد المجما أو المواد المنصهرة فى شقوق رأسية تقريبا وهكذا فإنها عندما تبرد تكون كتل رأسية من الصخور ذات جوانب متوازية تقريبا وتكون فى وضع عمودى أو قريب من العمودى على مستوى الطبقات وتختلف هذه السدود فى السمك من أقل من البوصة إلى مئات من الأقدام كما قد تصل فى الطول إلى عدة أميال. ويكون نسيج الصخر النارى فى هذه الحالة ذا حبيبات متوسطة أو دقيقة أو يكون نسيجا زجاجيا.

٢ – السدود الموازية لمستوى الطبقات Sills

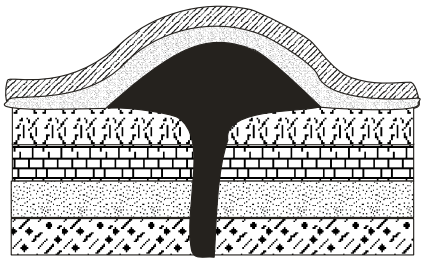
وفى بعض الأحوال تجد المجما طريقا لها على مستوى أحدى الطبقات ، وعادة تكون الطبقات فى هذه الحالة أفقية أو قريبة من الأفقية.



شكل: يبين سد راسى Dyke و سد موازى لمستوى الطبقات Sill

٣ – صخور نارية توجد على هيئة قباب

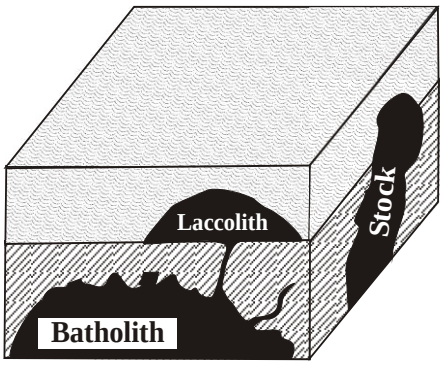
ومنها شكل أو تركيب يسمى لاكوليت ويتكون عندما تصعد المجما بين الطبقات خلال فتحة ضيقة وتكون على درجة كبيرة من اللزوجة very viscous وبدلا من أن تنتشر أفقيا فإنها تضغط الطبقات التى فوقها فى بعض الأحيان فتسبب تقوسها على شكل قبة وتكون قاعدتها أفقية (شكل٢٧). ويختلف هذا النوع من التراكيب فى السمك بين بضع مئات من الأقدام إلى ميل فى المنتصف ، أما قطره فيتراوح بين عدة مئات من الأقدام إلى عدة أميال. وعكس هذه الحالة تحدث فى بعض الأحيان مكونة قبة مقلوبة أو كتلة من الصخور النارية على شكل طبق أو حوض ويسمى هذا التركيب Lapolith .



شكل: يبين صخر نارى متداخل على هيئة قبة

٤ – <u>كتلة ضخمة من الصخور الجوفية</u>

إذا كانت هذه الكتل من الصخور النارية صغيرة نسبيا بحيث يصل قطرها إلى عدة أميال فقط فإنها نسمى Stocks. وتكون مستديرة أو بيضاوية الشكل ، وقد تكون كتل الصخور النارية كبيرة جدا بحيث تنتشر على مساحات تقدر بمئات أو آلاف الأميال المربعة ، وعادة تكون أسقف هذه الكتل غير منتظمة الاستدارة وتكون حوائطها غائرة إلى أسفل إلى أعماق بعيدة ، وتعرف هذه الكتل الضخمة باسم Batholiths (شكل ٢٨) ، وتوجد دائما فى قلب سلاسل الجبال ذات الأعمار الجيولوجية المختلفة كجبال الألب والهيمالايا وجبال الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء ، ولا تظهر على السطح إلا نتيجة لتعرية ما يغطيها من الصخور بواسطة العوامل المختلفة.



شكل ٢٨ : يبين بعض الاشكال التى تتواجد عليها الصخور النارية

ويختلف التركيب الكيماوى للصخور المكونة لهذا النوع من التراكيب فمنها الجرانيت والجرانوديوريت والسيانيت والجابرو أى أنه يتكون من صخور حامضية وأخرى قاعدية. ويحيط عادة بهذه الكتل مساحات من الصخور المتحولة التى تحولت بفعل الحرارة المتصاعدة من المواد المنصهرة قبل برودها وتجمدها وكذلك بفعل الضغط الناشئ نتيجة للحركة الأرضية التى ساعدت على تكوين مثل هذا التركيب.

٥ – أعناق البراكين Volcanic Necks

وهى عبارة عن اللافا المتجمدة فى أعناق البراكين ويكون شكلها أسطوانيا تقريبا ويتراوح قطرها بين بضع مئات من الأقدام إلى ميل أو أكثر ، وفى بعض الأحيان يتآكل ما حولها من صخور أو رواسب فيظهر جزء منها على شكل أسطوانة من الصخر النارى.

(ب) الأشكال التى تظهر عليها الصخور البركانية أو السطحية

١ – الطفوح البركانية Lva flows

وهى عبارة عن المواد المنصهرة أو اللافا التى صعدت إلى سطح الأرض عن طريق فوهات البراكين أو الشقوق وانتشرت على السطح ثم بردت بسرعة لملامستها للهواء / وهكذا فإن نسيجها يكون زجاجيا أى غير متبلور. والطفوح البركانية قد تتراكم حتى تبلغ مئات أو آلاف من الأقدام فى السمك ، وقد تنتشر فى مساحة تقدر بعدة أميال.

٢ – المواد المفتتة Fragmental Materials

وتتكون هذه المواد المفتتة نتيجة لثورات البراكين ، ومنها ما يعرف باسم البريشيا البركانية Volcanic Breccia ، وتنتج من تكسير مواد الأعناق البركانية عند ثورة البركان وتفتيتها إلى قطع صخرية حادة تنتشر حول البركان حيث تتراكم على هيئة رواسب من أصل نارى مكونة من هذه القطع الصخرية الحادة ، فى قاعدة أو أرضية من تراب بركانى دقيق.

ومن هذه المواد المفتتة أيضا ما هو فى حجم الذرات الدقيقة وتعرف باسم الرماد البركانى Volcanic Ash ، ويترسب هذا الرماد حول البركان أو تحمله الرياح بعيدا لترسبه فوق أسطح البحار أو فى أى مكان على سطح الأرض. وقد يتكون المخروط البركانى من الطفوح البركانية والمواد المفتتة.

وقد يحدث أن تنثنى الصخور البركانية بعد تكوينها أو تنكسر أو يحدث بها فواصل تماما كالصخور الرسوبية ، كما قد يحدث هذا فى بعض أنواع الصخور الجوفية ، ولكن الكتل الضخمة مثل الـ Batholiths لا تنثنى فى العادة نتيجة لصلابتها الشديدة ولكنها قد تنكسر وقد تقطعها بعض السدود الرأسية Dykes نتيجة لدخول المواد المصهورة فى الفواصل أو الشقوق التى حدثت بعد تبريدها.

ثانيا الصخور الرسوبية

تتكون الصخور الرسوبية نتيجة تفتت صخور أخرى سبق تكوينها ، ثم ترسب المواد الناتجة فى مكان جديد تحت ظروف عادية من الضغط والحرارة. ويتم ذلك بواسطة عوامل التعرية ، فتؤدى التجوية Weathering إلى تكسير الصخور الأصلية وتفتيتها تحت تأثير النشاط الميكانيكى أو الكيميائى للأمطار والرياح والجليد والصقيع أو الاختلاف الدورى فى درجة الحرارة ، ثم نقل المواد الناتجة من عمليات التجوية أما فى حالة صلبة على هيئة حبيبات صغيرة أو مواد دقيقة غير قابلة للذوبان ، أو فى حالة سائلة على هيئة محاليل من مكانها الأصلى بواسطة عوامل النقل مثل المياه الجارية أو الرياح إلى حيث تتجمع فى هيئة رواسب صخرية. وعادة ما تتكون هذه الرواسب فى هيئة طبقات متعاقبة – الأحدث فوق الأقدم منها – وتختلف فيما بينها فى سمكها وتكوينها وحجم الحبيبات المكونة لها وألوانها وجميع صفاتها الأخرى ، وبذلك يمكن تمييز مستويات أو سطوح فاصلة لكل من هذه الطبقات. ثم يأتى بعد ذلك دور تماسك أو تصلد هذه الرواسب الصخرية وذلك بالتحام مكوناتها مع بعضها تحت تأثير الضغط الناشئ من ثقل الرواسب الأخرى التى تعلوها ؛ أو قد يتم التصلد بواسطة مادة لاصقة أو مادة مادة لحامة مثل كربونات الكالسيوم أو السيليكا أو أكاسيد الحديد ، التى قد تتواجد بين مكونات هذه الرواسب. وتتكون الصخور الرسوبية من خليط مواد مختلفة ذات أصل متعدد وتركيب كيميائى أو معدنى متباين ، تحت ظروف متنوعة وبيئات مختلفة ، وذلك مما يؤدى إلى تعدد أنواعها. وتصنف الصخور الرسوبية حسب طريقة تكوينها وظروف نشأتها إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

١- صخور رسوبية ميكانيكية النشأة

تشمل هذه المجموعة كل الصخور الرسوبية التى تتكون من قطع وفتات الصخور السابقة التكوين التى يتم نقلها - بواسطة المياه أو الرياح أو الثلاجات أو بفعل الجاذبية الأرضية – دون أن يطرأ عليها أى تغير كميائى إلى حيث تترسب بطريقة آلية ، ثم

تتماسك وتتصلد. يمكن تمييز الصخور الرسوبية الميكانيكية فى ثلاثة أنواع رئيسية تتوقف على حجم الحبيبات المكونة لها كما يلى :

أ– صخور رسوبية ميكانيكية كبيرة الحبيبات

تتكون من حبيبات كبيرة الحجم – ذات قطر لا يقل عن ٢ سم ، قد يصل أحيانا إلى بضعة سنتمترات – تعرف عامة بالحصاء Gravel أو "الحصى" Pebbles وأهم هذه الصخور هى : كونجلومرات Conglomerats وهى تتكون من قطع صخرية مختلفة الأصل ، ذات حواف مستديرة بسبب تقلبها واحتكاكها ببعضها أثناء نقلها عن طريق مياه الأنهار التى تحملها لترسبها عند مصابها بالقرب من شواطئ البحار. وتتصلد مكونات هذا الصخر من حصاء وحصى وأحيانا حبيبات رمل خشن مع بعضها بواسطة مواد لاحمة مختلفة مثل اللحام الجيرى أو السيليكى أو حديدى. ومن الصخور الرسوبية الميكانيكية ايضا صخر البريشيا Berccia تختلف البريشيا عن صخر الكونجلومرات فى شكل الحبيبات المكونة لها ، إذ هى ذات حواف حادة الزوايا وليست مستديرة كما فى الكونجلومرات ، وذلك لأن البريشيا تتكون عادة فى البحيرات والخلجان المقفولة بعيدا عن تأثير التيارات البحرية القوية حيث لا تتعرض حبيباتها للاحتكاك ومن ثم عدم التآكل والاستدارة.

ب – صخور رسوبية ميكانيكية متوسطة الحبيبات

يختلف حجم الحبيبات المكونة لهذه الصخور ، فيتراوح قطرها ما بين ٢ و ١/١٦ مم ، وتعرف هذه الصخور عامة بالصخور الرملية حيث أنها تتكون من حبيبات معدنية يسودها الكوارتز (أو الرمل) الذى يصعب تأثره بعوامل التعرية ، وتوجد حبيبات قليلة من معادن أخرى مثل الفلسبار والميكا ، وأحيانا الماجنيتيت. وقد تحتوى كذلك على بعض أجزاء مفتتة من قشور أو هياكل الكائنات الحية. وأهم هذه الصخور الحجر الرملى Sandstone : يتكون من الرمل الذى تسوده حبيبات الكوارتز المتوسطة أو الدقيقة الحجم ذات الحواف المستديرة . وتتماسك هذه الحبيبات مع بعضها

بواسطة مادة لاحمة قد تختلف من صخر لآخر. وتتميز أنواع الحجر الرملى حسب المادة اللاحمة.

ج – صخور رسوبية ميكانيكية دقيقة الحبيبات

تتكون هذه الصخور من حبيبات دقيقة لا يزيد قطرها عن ١/١٦ مم ، تنتج عن تحلل وتفتت معادن السيليكات وخاصة سيليكات الألومينا المائية (المعادن الطينية Clay minerals). وقد تحتوى الصخور الطينية على بعض البقايا العضوية المتحللة أو يقايا نباتية متفحمة ، وذلك مما يكسب بعضها الألوان القاتمة أو السوداء. وهناك بعض الصخور الطينية التى يشوبها اللون الأحمر أو الأصفر أو الأخضر نتيجة احتوائها على بعض المواد الملونة مثل أكاسيد الحديد أو المنجنيز. وأهم الصخور الطينية : الطين (صلصال) Clay : يتكون نتيجة تماسك حبيبات طينية دقيقة جدا ، ويحتوى على نسبة كبيرة من الماء (لا تتجاوز ١٥%) كافية لأن تكسبه خاصية اللدانة "قابلية التشكل" Plasticity. الحجر الطينى Mudstone : يتحول الطين إلى حجر طينى عندما يفقد الجزء الأكبر من محتوياته المائية نتيجة للجفاف أو زيادة الضغط الواقع عليه بحيث يفقد لدانته. الطفل (الحجر الطينى الصفحى) Shales : ينتج هذا الصخر عن الحجر الطينى نتيجة لزيادة الضغط الذى يفقده كل محتوياته المائية وكسبه خاصية الترتيب الصفحى أو الترتيب الورقى "التورق" Lamination. ولذلك يتميز صخر الطفل بظاهرة التفسخ الصخرى Fissility حيث يمكن فصله أو تقشره هيئة وريقات ، وترجع هذه الخاصية إلى إحتواء صخر الطفل على بعض قشور دقيقة من المعادن الصفائحية مثل الميكا ، وقد تحتوى بعض صخور الطفل على شوائب عضوية فحمية أو بترولية فتكسبها اللون القاتم أو الأسود.

٢- صخور رسوبية كيميائية النشأة

تتكون هذه الصخور نتيجة ترسيها من محاليل تحتوى على مواد مذابة عندما ترتفع درجة تركيزها تحت تأثير الظروف الطبيعية المحيطة بها. أو قد تتكون الرواسب

نتيجة تفاعل كيميائى بين مكونات هذه المحاليل. يمكن تمييز الأنواع الآتية من الصخور الرسوبية الكيميائية على أساس تركيبها:

أ- صخور رسوبية جيرية

تتكون نتيجة ترسب كربونات الكالسيوم من المحاليل الجيرية المحتوية على بيكربونات كالسيوم ذائبة وأهم أنواعها : *الحجر الجيرى* (غير عضوى): وهو صخر أبيض أو رمادى اللون إذا كان نقيا ، ولكنه غالبا ما يحتوى على شوائب تكسبه ألوانا مختلفة. *الحجر الجيرى البطروخى* Oclitic limestone : ويتكون من حبيبات كروية صغيرة جدا نتيجة تفاعل كيميائى بين محاليل الأملاح فى مياه البحار والبحيرات ، يؤدى إلى ترسيب كربونات الكالسيوم فى طبقات رقيقة حول نواة دقيقة (مثل حبيبة رمل أو فتات صدفة حيوان) فى هيئة كريات صغيرة تتماسك مع بعضها بأية مادة لاصقة لاحمة غالبا ما تكون جيرية.

ب-صخور رسوبية سيليكية

تتكون من ترسب السيليكا مثل فلينت (صوان) Flint : صخر قاتم ، أسود أو رمادى اللون يتكون من خليط من السيليكا المتبلورة فى هيئة عقد أو درنات مختلفة الحجم ، ويحتوى عادة على بعض الشوائب الملونة مثل أكاسيد الحديد أو الماغنسيوم. وأحيانا يتكون الفلينيت من حبيبات أو كربونات صغيرة جدا فى هيئة طبقات رقيقة بين طبقات الصخور الرسوبية الأخرى. صخر الشيرت Chert : وهو نوع من الصخور السيليكية غير النقية التى تحتوى على نسبة عالية من الجير. ويتكون عادة من حبيبات دقيقة جدا من السيليكا غير متبلورة فى هيئة طبقات رقيقة من الصخور الجيرية.

ج- صخور رسوبية ملحية

يؤدى تبخر مياه البحيرات والبحار المقفولة إلى تركيز المحاليل الملحية الموجودة بها ثم ترسبها فى هيئة طبقات متعاقبة ، تبدأ بطبقات الأملاح القليلة الذوبان فى الماء. وتوجد الرواسب الملحية فى مناطق متعددة فى مصر فيكثر صخر الجبس فى

الصحراء الشرقية وعلى ساحل البحر الأحمر ، ورواسب ملح الطعام فى ملاحات إدكو ورشيد والمكس ورواسب النطرون (كربونات الصوديوم المائية) مع أملاح أخرى بوادى النطرون.

٣- صخور رسوبية عضوية النشأة

تنشأ الصخور الرسوبية العضوية نتيجة تراكم بقايا الكائنات الحية ، الحيوانية منها والنباتية فى طبقات سميكة ، وتحللها بواسطة الفطريات والبكتريا خلال أزمنة طويلة ، ثم تتماسك مع بعضها فى هيئة صخور ، وذلك إما لمجرد الضغط الواقع عليها من الطبقات التى تعلوها ، أو نتيجة عملية اختزال أو تفحم (فى البقايا النباتية) تؤدى إلى تماسكها وتصلدها. ومن امثلة الصخور العضوية :

ا- الحجر الجيرى العضوى

وهو أهم الصخور الجيرية وأكثرها انتشارا ، ويتكون من تراكم وتحلل قشور وهياكل الحيوانات البحرية بعد موتها. وغالبا ما تتكون الهياكل العظمية لهذه الحيوانات من كربونات الكالسيوم ، كربونات الماغنسيوم ، ثانى أكسيد السيليكون وكذلك فوسفات الكالسيوم. ويتكون الحجر الجيرى العضوى بصفة أساسية من البقايا الجيرية للحيوانات فى هيئة حبيبات غاية فى الصغر متماسكة مع بعضها فى كتل أو طبقات. وقد تحتوى الصخور الجيرية على نسبة كبيرة من كربونات الماغنسيوم وتعرف حينئذ بالدولوميت.

ب- صخر الفوسفات

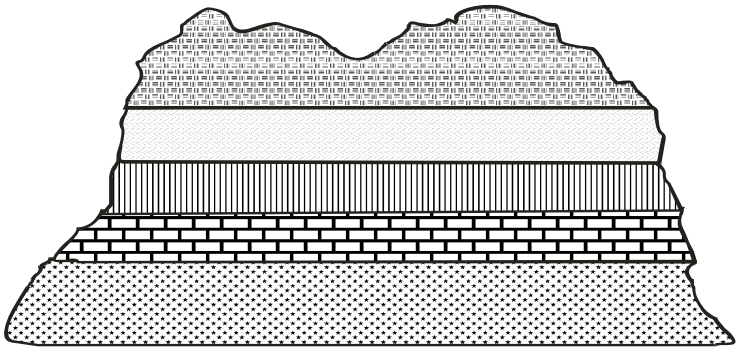
يتكون من فوسفات الكالسيوم مع مواد أخرى مثل الجير فى هيئة طبقات أو درنات أو تكاوين عدسية فى طبقات الحجر الجيرى أو الرملى. وينتج صخر الفوسفات عن ترسب عظام الأسماك والزواحف وتحللها. ثم حدوث تفاعل كيميائى بين الأملاح الموجودة فى مياه البحار والمواد الفوسفورية الناتجة من هذا التحلل. وتوجد طبقات الرواسب الفوسفاتية فى مناطق الواحات الخارجة والداخلة بالصحراء الغربية.

كيفية وجود الصخور الرسوبية فى القشرة الأرضية

التطابق Bedding

أن من أهم الصفات المميزة للصخور الرسوبية هى تكوينها فى طبقات متتابعة ويستدل على هذا التطابق بوجود اختلاف فى التركيب والنسيج والصلابة ودرجة التماسك واللون ويعرف المستوى الفاصل بيم طبقتين بالمستوى الطبقى (شكل ١٢).

والطبقة الواحدة نجد بها مستويين طبقين ويختلف سمكها من عدة أقدام إلى جزء من البوصة وعندما يكون سمك الطبقات رفيع جدا يطلق عليها صفيحات Laminae وفى هذه الحالة يكون التركيب صفحى نتيجة لترسيب معادن دقيقة صفحية مثل الميكا كما أنه قد تكون نتيجة لضغط مصدره هو الحمل الذى يعلو الطبقات والذى يسبب دوران بلورات المعادن العمودية والصفيحة الدقيقة إلى وضع تكون عموديا لاتجاه الضغط. وترتيب المعادن المكونة للطبقة بهذا النظام ينتج عنه الانشقاق ، وهى قابلية بعض الصخور الرسوبية للانفصال على هيئة صفائح موازية لمستويات التطابق ، وعندما تظهر صفة الانشقاق فى الصخور الخشنة تكون غالبا نتيجة لوجود طبقات رقيقة من الطفل أو معادن صفحية كالميكا بين طبقات الصخر الرسوبى الخشنة ، وعندما تكون المستويات فى الطبقة متوازية تقريبا تسمى هذه الظاهرة بالتطابق المتوافق.

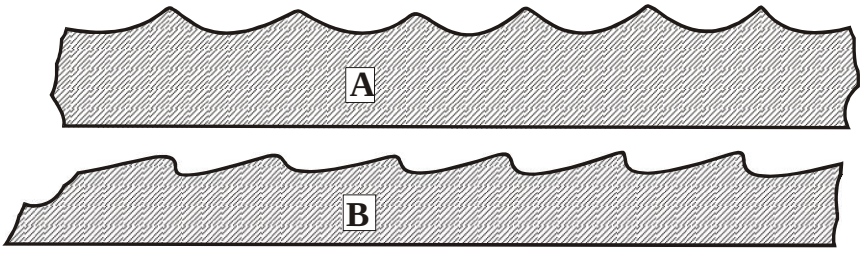


شكل١٢ ــ يبين الصخور الرسوبية الموجودة فى صورة طبقات افقية متتابعة

غير أنه فى بعض الأحوال تظهر طبقة بها تطابق ثانوى تميل مستوياته بالنسبة للمستويات الرئيسية للتطابق ويعرف هذا النوع باسم التطابق المائل أو المتقاطع أو التيارى current bedding or cross bedding ، الذى يظهر على هيئة طبقات ذات مستويات مائلة تحدها طبقات متوافقة. ويدل هذا التطابق التيارى على التغيير السريع فى اتجاه وشدة مياه الأنهار الحاملة للمواد الرسوبية فى جانبى النهر أو الدلتا.

علامات التماوج Ripple marks

كثيرا ما يشاهد على سطح بعض الصخور الرسوبية كالرمال مثلا تموجات منتظمة تعرف باسم علامات التماوج ، وهذه التموجات توجد على أسطح الترسيب الحالية للشواطئ نتيجة لفعل التيارات البحرية أثناء عملية الجزر كما أنها تتكون أيضا على المسطحات الرملية الصحراوية نتيجة لفعل التيارات الهوائية ، غير أن شكل علامات التماوج يختلف باختلاف ظروف تكوينها ، وتكون علامات التماوج غير متماثلة الجوانب إذا كانت ناشئة عن تيارات مائية أو هوائية بينما تكون متماثلة الجوانب فى حالة تكوينها بفعل الأمواج على الشواطئ (شكل١٣).



شكل ١٣ ــ قطاعات تبين اشكال علامات التموج : A تكونت بفعل الامواج ، B تكونت بفعل التيرات الهوائية

ومن أشكال هذه التموجات يمكن استنباط الظروف الطبيعية لترسيب الصخور الرسوبية وكذلك التعرف على الأسطح العلوية والسفلية لها.

الطبقات المتوافقة وغير المتوافقة

ومن هذه الأمثلة أيضا ما يحدث للرواسب البحرية حيث تتكون على هيئة طبقات أفقية بادئ الأمر ، ولكن تتابع هذه الطبقات فى مجموعها لا يكون متوافقا conformable فى كل الأحوال ، إذ كثيرا ما تكون مجموعات هذه الطبقات غير متوافقة unconformable ، حتى ولو كانت متوازية الأسطح ، نتيجة لعوامل كثيرة.

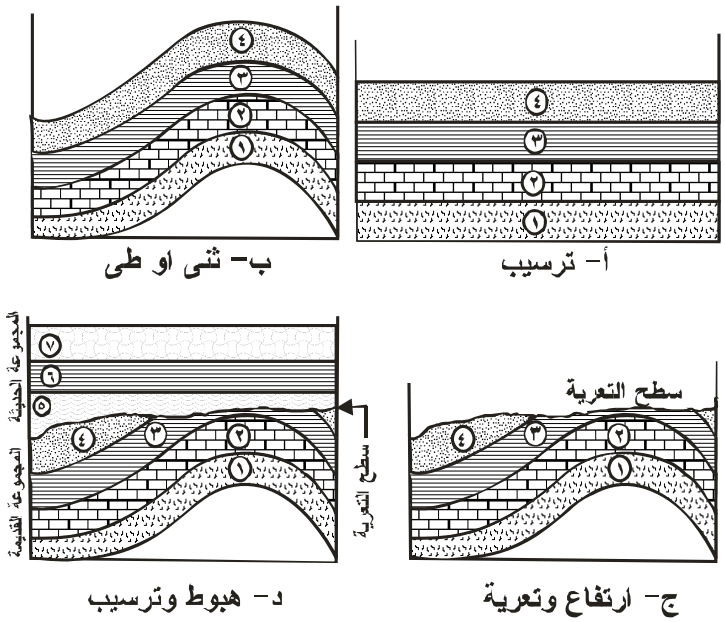
ويعتبر عدم التوافق ظاهرة تركيبية بحتة ، مع أنه يتضمن فى الأصل عمليات كثيرة كالترسيب والتعرية بالإضافة إلى تأثير التحركات الأرضية بأنواعها. وعلى ذلك يمكن اعتبار عدم التوافق عموما سطح تعرية Surface of Erosion أو سطح توقف

عن الترسيب ، وبفعل هذا السطح ما بين مجموعتين من الطبقات أحداهما أقدم من الأخرى.

ويمكن تمييز سطح التعرية فى كثير من الأحيان بوجود الكونجلوميرات إذ أن وجوده يعتبر دليلا على أن المنطقة كانت فى وقت من الأوقات جزءا من الشاطئ ، ويسمى عادة بالكونجلوميرات القاعدى Basal Conglomerate لأنه يكون قاعدة المجموع العليا من الطبقات فوق سطح التعرية.

ويتم عدم التوافق فى العادة على عدة مراحل تبدأ بترسيب المجموعة القديمة من الطبقات تحت سطح البحر فى نظام أفقى حسب قانون تعاقب الطبقات الذى ينص على أن كل طبقة تتكون بحيث تكون أحدث من الطبقة التى تحتها ولكن قد يحدث أن يتعرض قاع البحر الذى ترسب عليه هذه الطبقات لنوع من الحركات الأرضية الرأسية بسبب ارتفاع وانحسار مياه البحر عنه وتعرضه بالتالى لعوامل التعرية المختلفة. وقد تقع هذه الطبقات قبل أو أثناء ارتفاعها إلى فوق سطح البحر تحت تأثير نوع آخر من الحركات الأرضية الأفقية مما يتسبب عنه أثناء هذه الطبقات وتظل هذه المجموعة من الطبقات معرضة للجو ، واقعة تحت تأثير العوامل المختلفة التى تحاول جاهدة إزالة أكبر جزء منها ، حتى تتعرض نفس المنطقة من جديد إلى حركة أرضية أخرى تهبط بها من جديد تاركة للبحر فرصة أخرى للتقدم عليها حيث يبدأ فى ترسيب مجموعة أخرى من الطبقات فى نظام أفقى فوق سطح التعرية. وتكون النتيجة مجموعتان غير متوافقتان من الطبقات بمعنى أن ترسيبها لم يكن متصلا ، بل أن هناك فترة انقطع فيها الترسيب وهى الفترة التى تعرضت فيها الطبقات للجو وأزيل منها جزء كبير بفعل عوامل التعرية ، مما يدل على وجود فجوة بين المجموعتين غير المتوافقتين يمثلها سطح التعرية.

وعادة يكون التعرف على ظاهرة عدم توافق الطبقات صعبا للغاية إذا ما كانت طبقات المجموعتين متوازية وهذا يعرف باسم Disconformity (شكل ١٤) ، ولكن الاستعانة بدراسة الحفريات وتطورها تسهل هذه العملية وتمكن من تحديد الطبقات الناقصة وأعمارها بالضبط.



شكل ١٤ : *يبين المراحل المختلفة لتكوين مجموعتين غير متوافقتين*

التشققات الطينية أو الشمسية Mud cracks: وتشاهد هذه التشققات على اسطح الصخور الرسوبية الدقيقة كالطين وهى تظهر على شكل شقوق تتخلل الصخور وتحصر فيما بينها مساحات متعددة ألأركان. وقد يحتفظ الصخر بهذا المظهر طويلا إذا مست هذه الشقوق بالرمال أو بأنواع أخرى من الطين. وتنشأ هذه الظاهرة عن تعرض الرواسب الطينية للجو لمدة طويلة.

بعض الصفات للصخور الرسوبية

أولا – مسامية الصخور

الصخر المسامى Porous rock هو ذلك الصخر الذى يحوى فتحات صغيرة دقيقة بين حبيباته تسمى المسام.

وتقدر مسامية الصخر كنسبة مئوية لحجم الفراغ إلى الحجم الكلى للصخر.

$$\text{مسامية الصخر} = \frac{\text{حجم الفراغ الموجود فى الصخر} \times ١٠٠}{\text{حجم الصخر كله}}$$

وبهذه النسبة يمكننا مقارنة مسامية الصخور بعضها ببعض فقد وجد أن مسامية الطين قد تبلغ٥٠% والصخر الطباشيرى Chalk ٥٠% والرمل والحصى الغير متماسك٢٠ – ٤٧% والصخر الرملى المتماسك ٥ – ١٥% والصخر الجيرى ٥ – ٢٠% والجرانيت والصخور النارية الأخرى أقل من ١%

ومن هذا يظهر أن الطين والصخور الطباشيرية Chalk أكثر مسامية من الصخر الرملى. ومع ذلك فإن الماء يمر بسهولة خلال الثلاث ولا يمر خلال الأولين. والسبب فى ذلك راجع إلى خاصية أخرى تسمى الإنفاذ.

ثانيا – <u>النفاذية</u>

الإنفاذ هو السهولة التى تسمح الصخور بها لمرور الماء بين حبيباتها. فالطين مثلا صخر غير منفذ بينما الرمل منفذ جيد والسبب فى ذلك أن حبيبات الطين صغيرة جدا ولذلك فإن الحبيبات متقاربة من بعضها جدا والمسام التى بينها صغيرة جدا ولذلك فإن الماء يمسك فى هذه المسام بواسطة الخاصية الشعرية ، وعلى ذلك لا يسمح الطين بمرور الماء فيه بل يمتصه ويبقيه فيه أما الرمل فإن حبيباته كبيرة نسبيا ومتباعدة بعضها عن الآخر فيمر بينها الماء بسهولة ويسر.

ثالثا – <u>الإمرار</u>

هناك صخور تسمح بمرور الماء فيها بالرغم من أنه ليس بها مسام البتة ، فالجرانيت مثلا مساميته ضئيلة جدا وكذلك الصخر الد ولوميتى ولكنها غالبا ما تسمح بمرور الماء فيها وذلك لوجود شقوق وفواصل تعمل كأنابيب تسمح بمرور الماء. فالماء هناك لا يمر خلال الصخر نفسه بين حبيباته بل يمر خلال هذه الشقوق والفواصل ونسمى هذه صخور ممررة Pervious لنميزها عن الصخور المنفذة Permeable التى ذكرناها آنفا. ومن هذا نرى أنه يمكننا تقسيم الصخور بالنسبة لدراسة المياه الأرضية إلى أربعة أنواع هى :

(١) صخور مسامية منفذة Porous & permeable.

(٢) صخور مسامية غير منفذة Porous & impermeable.

(٣) صخور غير مسامية ممررة Non-porous & pervious.

(٤) صخور غير مسامية وغير ممررة Non-porous & Non-pervious.

فصخور النوع الأول والثالث هى التى تسمح بحرية تحرك المياه فيها وتكون ما يسمى بالصخر الخازن للمياه التحت سطحية .وعموما فإن أحسن الصخور الخازنة للمياه هى الصخور الرملية والصخور الجيرية (إذ أن هذه الأخيرة تنفصل – يتكون بها فواصل – بسرعة).

العوامل التى تتوقف عليها *مسامية الصخور*:

أولا : <u>درجة التقارب بين أحجام الحبيبات المكونة للصخر</u>

فالرمال التى تكون حبيباتها متساوية أو متقاربة فى الحجم أكثر مسامية من الرمال المكونة من حبيبات مختلفة فى الحجم ، إذ تملأ الحبيبات الصغيرة فى هذه الحالة الفجوات التى بين الحبيبات الكبيرة وبذلك تقلل من مسامية الصخر (شكل ١٠ – ٢,١).

ثانيا : <u>شكل الحبيبات المكون للصخر Shape of the grains</u>

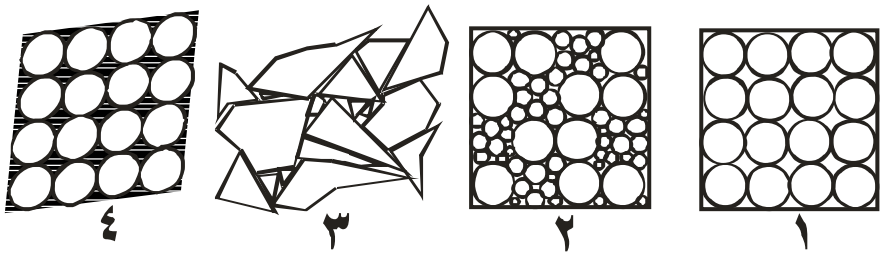
فمن الواضح أنه إذا كانت الحبيبات حادة Angular (شكل ١٠ – ٣) فإن الزوايا تدخل فى الفجوات بين الحبيبات الأخرى وتقلل المسامية.

ثالثا : <u>طريقة ترتيب (أى رص) الحبيبات Manner of packing</u>

وطريقة رص الحبيبات (أى ترتيبها بالنسبة لبعضها) متوقف غالبا على مقدار الضغط الذى وقع على الراسب بعد ترسيبه نتيجة لتراكم الطبقات فوقه Degree of compaction أى إنه توجد علاقة مباشرة بين مسامية الصخر والعمق الذى يوجد فيه تحت سطح الأرض.

رابعا : <u>درجة تماسك الصخر Cementation</u>

إذا ترسبت رواسب كيميائية بين حبيبات الصخر أدى ذلك إلى تقليل مساميته ، فالصخر الرملى إذا ترسبت بين حبيباته أكاسيد الحديد أو أكسيد السيليكون (السيليكا) أدى ذلك إلى تماسكه وفقدانه الجزء الأكبر من مساميته (شكل ١٠ – ٤).



شكل ١٠ : يبين طريقة رص الحبيبات فى الرواسب المختلفة

ثالثا – الصخور المتحولة

يعرف التحول بأنه التغير الذى يطرأ على صخور سابقة التكوين (نارية أو رسوبية) وإعادة بنائها نتيجة تغير للظروف الطبيعية مثل درجة الحرارة أو الضغط أو كليهما معا.

تتميز مجموعة الصخور المتحولة بالخصائص الآتية:

أ) تتكون بواسطة العمليات التحولية Metamorphic processes، وتحدث هذه عمليات في درجات حرارة مرتفعة جداً وضغط مرتفع جداً.

ب) تتكون من معادن تم إعادة تبلورها و/ أو معادن تحولية جديدة نتجت من المعادن الموجودة في الصخر الأصلي

ج) تتواجد دائماً علي شكل سهول Plains وجبال منخفضة نسبياً ممتدة لمسافات شاسعة.

د) تحتوي علي أنسجة Textures وتراكيب Structures تحولية واضحة دالة علي العمليات التحولية.

هـ) قد تحتوى علي أجزاء من الصخور الأصلية Xenoliths.

تعريف التحول

يحدث التحول في أعماق الأرض وهو التغيرات النسيجية والمعدنية والتركيبية التي تطرأ على صخور نارية أو رسوبية أو متحولة قديما وهي في حالتها الصلبة. تتمثل هذه التغيرات في بنية الصخرة و نسيجها و تركيبها المعدني الناجم عن تغير الشروط الفيزيائية (كالضغط و الحرارة) و الكيميائية للوسط الصخري. تنتج هذه التغيرات والتي تحدث خلال عملية التحول، عند إعادة التوازن مع الظروف الجديدة التي أخضعت إليها الصخرة الأم فتؤدي إلى تكوين صخور أخرى مختلفة عن الأولى في تركيبها المعدني و نسيجها و بنيتها و تصبح تسمى صخور متحولة

يمكن أن تتم التحولات في ظروف كيميائية ثابتة أي أن التركيب الكيميائي للصخرة الأولية لا يتغير خلال التحول ما عدا حركات في بعض المكونات الطيارة مثل الماء ($\mathbf{H_2O}$) و ثاني أكسيد الكربون ($\mathbf{CO_2}$).

و يمكن كذلك أن تحدث خلال التحول حركات لبعض المكونات على مسافات قد تصل إلى أمتار عديدة فينتج عن هذا صخور متحولة ذات تركيب كيميائي مختلف عن الصخرة الأصلية قبل التحول.

والجدير بالذكر أن عمليات التحول تحدث في الحالة الصلبة خلافا للصخور النارية التي تنتج عن تصلب الصهير.

٢- حدود التحول

أ- حدود التحول العليا

بما أن التحول يحدث في الحالة الصلبة، تعتبر حدود التحول العليا عند حد انصهار الصخور الأولية الأصلية الذي يؤدي في البداية إلى تكوين نوع من الصخور الذي يسمى بالميجماتيت (**migmatite**) و هو عبارة عن مزيج من السليكات المنصهرة و المعادن غير المنصهرة. تتأثر الحدود العليا للتحول بالتركيب الكيميائي للصخرة الأولية الأصلية حيث أن درجات انصهارها تقع بين ٧٠٠ و ٩٠٠° م.

ب- حدود التحول الدنيا

تكون ظروف التحول الدنيا أكبر من ظروف التراص (compaction) و التصخر (diagenèse) التي تطرأ على الصخور الرسوبية و تتراوح، حينئذ، درجات الحرارة بين٥٠ و ١٠٠° م. تكون ظروف التحول الدنيا بدرجات حرارة و ضغط أعلى من ظروف الصخور الرسوبية و تتم ظروف التحول العام في الأعماق تحت نطاق الظروف السطحية و فوق نطاق الانصهار.

٣-العوامل المؤثرة على التحول

تتأثر ظاهرة التحول بعدة عوامل أهمها الحرارة و الضغط و المحاليل الكيميائية. قد تعمل هذه العوامل مجتمعة أو منفردة. و حسب شدة تأثيرها، تنتج صخور مختلفة عن بعضها البعض من ناحية تركيبها المعدني، النسيج...

كلما اتجهنا نحو باطن الأرض كلما ارتفعت الحرارة و كذلك الضغط. إذن، كلما انغمرت الصخور في الأعماق تبدأ تتأثر بعوامل التراص ثم تدريجيا، مع ارتفاع الحرارة و الضغط، تبدأ تتغير بنيتها و نسيجها...هنا تبدأ عملية التحول.

١.٣- الحرارة : (Temperature)

من العوامل الرئيسية و المؤثرة في تحول الصخور، الحرارة التي تتسبب في التفاعلات المختلفة بين المعادن نتيجة عدم استقرارها في الظروف الجديدة المرافقة لعملية التحول حيث تظهر عملية إعادة التبلور (Recrystallization) للصخور الأولية الأصلية منتقلة إلى صخور متحولة.

يمكن ذكر عدة مصادر للحرارة المؤدية إلى تحول الصخور و أهمها:

- الحرارة الصادرة من جسم صهاري جوفي أو سطحي (بركاني) عندما يخترق الصهير أو يلامس الصخور المجاورة.
- المحاليل حارة المنتقلة من خلال شقوق داخل الصخور.
- الحرارة الناتجة عن احتكاك الطبقات خلال الحركات التكتونية
- الحرارة الناتجة من باطن الأرض خلال دفن القشرة في الأعماق

٢.٣- الضغط

العامل الرئيسي الثاني الذي يدخل ضمن عمليات التحول هو الضغط. و يتولد الضغط نتيجة مجموع القوى الموجودة داخل القشرة الأرضية و الناتجة أساسا

- من ثقل الصخور حسب العمق
- او المحاليل المتحركة داخل الصخور (ضغط المحاليل)
- او تشوهات الصخور داخل القشرة نتيجة الحركات التكتونية البانية للجبال و المسببة للضغط الموجه.

ويؤدى الضغط المرتفع غير المصحوب بتغير كبير فى درجة الحرارة فى مناطق التكسر أو التفلق إلى تغيير أو تحول طفيف نسبيا فى الصخور "الموضعية" الواقعة

علـى جـانبى هـذه الفوالـق ، ويعـرف هـذا النـوع بـالتحول الموضـعى أو التحـول بتغيـر الأوضاع.

أما الضغط المرتفع المصحوب بحرارة عالية والناتج من تحركات القشرة الأرضية التى تشمل مناطق شاسعة (الحركات البانية للجبال) فإنه يؤدى إلى تحول واسع النطاق يمتد فى أقاليم كبيرة ومساحات واسعة ولذلك يعرف بالتحول الإقليمى Regional metamorphism ، ويوصف أحيانا بالتحول الديناميكى إذ أنه ينتج عن حركة. وحدة قياس الضغط في أغلب الحالات هي الكيلوبار (Kilo bar)

٣.٣- المحاليل : (Solutions)

إضافة إلى دور العاملان الفيزيائيان، الضغط و الحرارة، تلعب المحاليل دورا كيميائيا أساسا؛ حيث يمكن أن تكون لها أهمية كبيرة في بعض الحالات. فوجود الماء، مثلا، يساعد كثيرا في التفاعلات الكيميائية بين و مع المعادن المكونة للصخر الأولي الأم لتنتج بعد ذلك معادن جديدة مستقرة في الظروف المرافقة لعملية التحول من ارتفاع في الضغط و الحرارة. تلعب المحاليل دورا هاما في نقل الأيونات أو بعض المركبات الكيميائية التي تساهم في التفاعلات الكيميائية.

أنواع التحول

التحول الحراري (التماسي)

يحدث التحول الحرارى فى الصخور التى تتداخل فيها مـادة الصـهير – عـادة مـا تكون مصحوبة بأبخرة ومحاليل شديدة الحرارة – ويكون التـأثير الحـرارى لهذه المـواد المتداخلة على أشده فى المناطق المجاورة لها ، ويقل تدريجيا بعيدا عن منطقـة التمـاس التى قد يتراوح اتساعها بين عدة أمتار ومئات الأمتار. ويتوقف ذلك علـى شدة الحـرارة الناتجة عن تداخل الصـهير ، أى على كتلة مادة الصـهير نفسها ودرجـة حرارتهـا وكـذلك على نوع صخور المكان المحيطـة بهـا ، فبينمـا يكون التحـول الناشـئ من تـداخل الجـدد الصـغيرة طفيفـا ، قد يـؤدى التـأثير الحـرارى لجـدد الكبيـرة وكتـل اللاكوليـت إلـى تحـول واضح يمتد أثره إلى مسافات بعيدة فى صخور المكان.

ويتوقف نوع الصخور المتحولة بالحرارة ، أى نوع المعادن الجديدة التكون فى حلقة التحول ، على نوع صخور المكان الأصلية أى التركيب المعدنى لها ، وكذلك على التركيب الكيميائى للمادة المصهورة المتداخلة : فمثلا يتحول الحجر الرملى إلى نوع آخر أصلب وأشد تماسكا ، ويعرف هذا الصخر باسم كوارتويت Quartzite ، بينما تتحول الصخور الطينية ذات الحبيبات الدقيقة إلى صخور أشد صلادة تسمى هورنفلس وتحتوى على معادن حديدية ومميزة هى معادن سيليكات الألومنيوم مثل سيليمانيت. وأما الصخور الجيرية فإنها تتحول إلى رخام Marble: حيث تتحول الصخور الجيرية النقية إلى رخام أبيض اللون ذو نسيج موازيكى منتظم ، يتكون من حبيبات دقيقة أو متوسطة الحجم من معدن الكالسيت بصفة أساسية. والمعروف أن الصخور الجيرية نادرا ما تكون نقية ، وتحتوى فى معظم الأحيان على كربونات الماغنسيوم (ماجنيزيت) بالإضافة إلى شوائب أخرى مثل أكاسيد الحديد ومكونات طينية وكربونية ، ولهذا فغالبا ما يكون الرخام مختلف الألوان فمنه الأحمر أو الأخضر أو يكون مخططا أو منقوشا بهذه الألوان أو باللون الأسود الناتج من بعض الشوائب الكربونية مثل الجرافيت.

التحول الإقليمي

ينشأ التحول الإقليمى نتيجة تغير صخور سابقة التكوين فى مناطق إقليمية شاسعة تحت تأثير الضغط العالى المصحوب بارتفاع درجة الحرارة والناتج من حركات القشرة الأرضية. وغالبا ما يؤدى هذا النوع من التحول إلى ترتيب المعادن المكونة للصخور الأصلية (رسوبية أو نارية) فى نظام يناسب الظروف الجديدة. وقد تشتد وطأة التحول إلى درجة تزول فيها معالم الصخر الأصلى تماما ، فقد تنكسر أو تتفتت بعض المكونات المعدنية وأحيانا قد تنصهر أو تذوب ثم تستعيد كيانها من جديد ، متبلورة ومصفوفة بحيث تشغل أقل حيز ممكن تحت تأثير الضغط الواقع عليها ، وذلك بأن تترتب المعادن الجديدة بحيث يكون الاتجاه الطولى لبلوراتها متعامدا على اتجاه الضغط. وينتج عن هذا الترتيب تجمع المعادن فى هيئة طبقات رقيقة أو شرائط

Bands ، ورقات Folia ، رقائق أو صفحات Laminae ، متوازية ومتعامدة على اتجاه الضغط. ويوصف النسيج حينئذ بأنه شريطى Banded texture ، ورقى Foliate ، صفحى Laminate أو شيستوزى Schistose. وهذا النسيج مميز لهذه الصخور ، وتوجد فيه بلورات المعدن الواحد مرتبة فى صفوف أو صفائح بلورات المعادن الأخرى.

ومن امثلة الصخور المتحولة اقليميا صخر النيس Gneiss :وهو صخر متحول إما عن صخر نارى أو عن أصل رسوبى. ويتكون من حبيبات كبيرة متبلورة مرتبة ومصفوفة فى هيئة شرائط سميكة إلى حد ما ، قد تكون متقطعة أى عدسية الشكل ، وغالبا ما تتكون من معدن واحد وتترتب متوازية ومتبادلة مع بعضها. ويختلف لون النيس تبعا للمعادن المكونة له ، ويعرف صخر النيس باسم الصخر الأصلى له مثل نيس جرانيتى Granitic gneiss : وهو الناشئ عن تحول صخر الجرانيت ، نيس دايوريتى Dioriuc gneiss وهو دايوريت متحول بالضغط والحرارة.

اما صخر شيست Schist : صخر متحول يتكون من صفائح رقيقة متشابهة فى تركيبها ، ومتصلة أى غير متقطعة كما فى صخر النيس. وتتكون هذه الصفائح غالبا من معادن قشرية مثل الميكا والكلوريت والتالك ، أو أليافية مثل هورنبلند. وتترتب الصفائح متوازية ، وتحصر بينها حبيبات دقيقة متبلورة من المعادن الأخرى مثل الكوارتز الذى يعتبر كمعدن أساسى. وينتج عن هذا الترتيب الصفائحى النسيج الشيستوزى المميز لصخور الشيست.

****