

Unitat 3

La matèria mineral i la matèria cristal·lina. Propietats i mètodes d'estudi.

1. Introducció.
2. La matèria cristal·lina. Propietats
3. La matèria mineral. Propietats
4. Isomorfisme i polimorfisme.

1. Introducció

Tota la matèria que ens envolta està composta per àtoms. Els àtoms s'uneixen per formar molècules. Segons la seva composició, la matèria pot classificar-se en **matèria orgànica** (la matèria dels éssers vius), formada per estructures hidrocarbonades, els àtoms més abundants de les quals són C, H, O i N i, la **matèria inorgànica** (la que constitueixen els minerals i les roques), composta de molècules senzilles que són agrupacions d'àtoms diversos, principalment, Si, O, Al, Fe, Ca, Na, K i Mg . Segons la distribució dels àtoms en l'espai, la matèria pot classificar-se en **matèria amorfa** (sense cap ordenació interna) i **matèria cristal·lina** (àtoms disposats ordenadament en l'espai)

Totes les roques que constitueixen l'escorça terrestre es componen de minerals.

Podem definir els **minerals** com productes naturals, sòlids, inorgànics, **d'estructura cristal·lina** i amb una composició química definida. Per tant per a que es consideri mineral, qualsevol material terrestre ha de complir:

1. Ha d'aparèixer de forma natural
2. Ha de ser inorgànic
3. Ha de ser un sòlid
4. Ha de presentar una estructura interna ordenada, és a dir, els seus àtoms s'han de trobar ordenats segons unes formes geomètriques definides.
5. Ha de presentar una composició química definida, que pot variar dintre d'uns límits.

Els geòlegs només consideren minerals les substàncies que satisfan aquests criteris. No són minerals per tant, els diamants sintètics o altres materials útils produïts en laboratoris. Alguns vidres, artificials o volcànics, o alguns òxids, com l'òpal, l'ambre, la limonita, etc. són *substàncies amorfes*, sense cap ordenació interna, a aquestes substàncies se les anomena **mineraloides**.

2. La matèria cristal·lina. Propietats

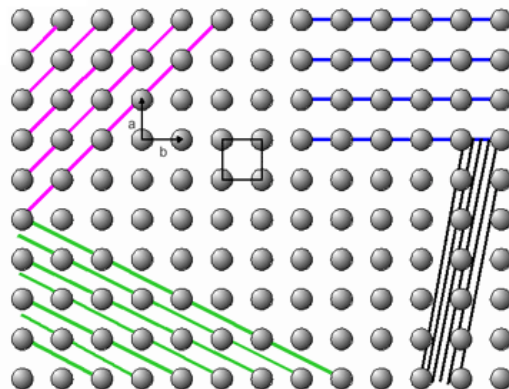
Els minerals es caracteritzen tal com hem dit, per presentar estructura cristal·lina. Els **materials cristal·lins** són aquells materials sòlids els elements constitutius dels quals (àtoms i molècules) es distribueixen d'una manera regular i ordenada en les tres direccions de l'espai.

La matèria cristal·lina presenta una **estructura interna** ordenada, aquesta ordenació interna no té per què manifestar-se a l'exterior, però en alguns casos, això sí que es possible i ens podem trobar matèria cristal·lina amb una forma polièdrica més o menys perfecta, limitada per cares, arestes i vèrtexs: en aquests cas parlem de **crystals**. És el cas del quars, la galena, la pirita, el granat, etc.

La propietat característica i definitiva de la matèria cristal·lina és la **periodicitat**. Això vol dir que, al llarg de qualsevol direcció, els elements que la formen (ions, àtoms o molècules) es troben repetits a la mateixa distància. Aquesta distància constant s'anomena *període d'identitat o de translació* o Aquest principi és vàlid partint des de qualsevol punt de l'estructura.

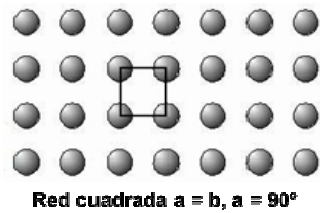
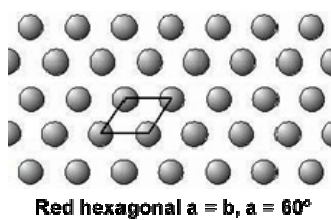
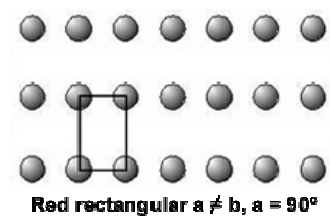
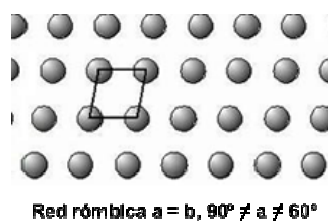
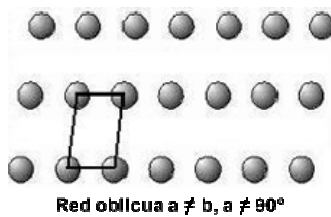
La matèria cristal·lina adopta una **estructura reticular** pròpia: els seus ions, àtoms i molècules es disposen, tot tenint en compte la seva mida i càrrega, en xarxes tridimensionals (**xarxes**

crystal·lines). Allò que en una xarxa anomenem **nus**, és ocupat en la matèria cristal·lina per un àtom, ió o molècula.

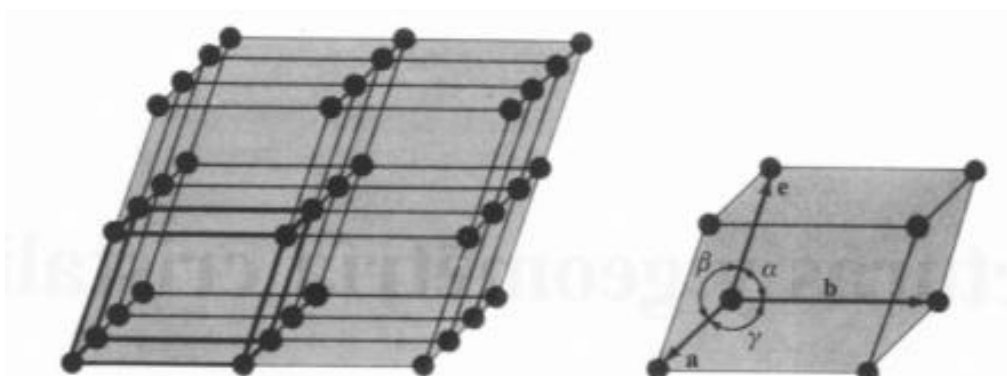


Si agafem les traslacions mínimes (traslacions fonamentals) i desenvolupem el paral·lelepípede que generem obtindrem la **cel·la elemental o cel·la unitat**. Cada cel·la elemental ve definida per la magnitud de les seves traslacions i per l'angle que formen entre elles. Per repetició de les cel·les elementals podem reconstruir la **xarxa cristal·lina**.

Xarxes planes: En aquest cas la xarxa ve definida per dues traslacions (a i b) i l'angle que formen entre elles (α). La cel·la elemental és un paral·lelogram. En el pla només existeixen 5 possibles tipus de xarxes, que reben el nom de xarxes planes.



Xarxes tridimensionals: En aquest cas la cel·la elemental queda definida per tres traslacions (a , b i c) i els angles α (entre b i c), β (entre a i c) i γ (entre a i b).

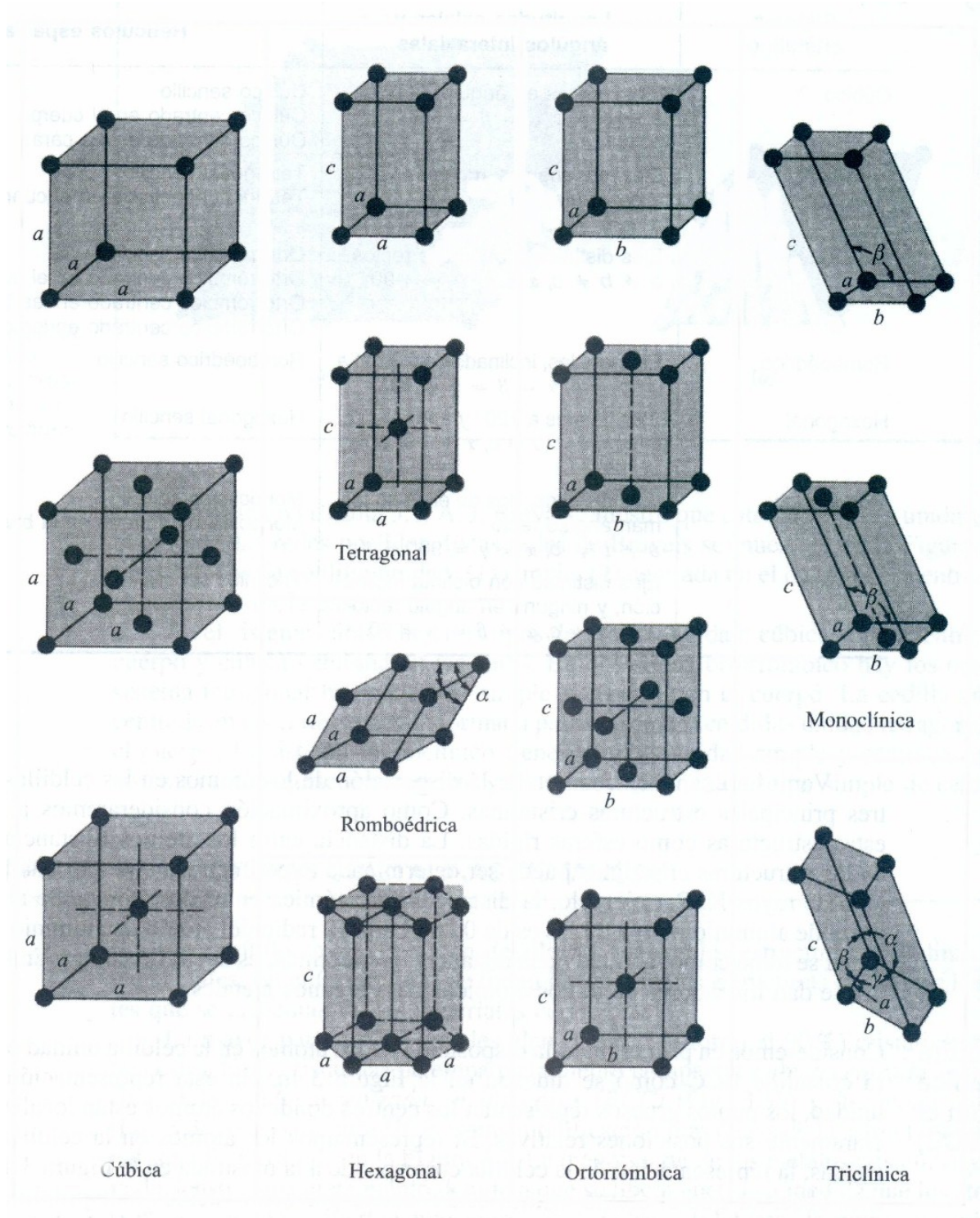


Existeixen 14 tipus diferents de xarxes tridimensionals (xarxes de Bravais) que s'agrupen en 7 sistemes cristal·lins diferents. Cada sistema cristal·lí ve caracteritzat per uns determinats valors de les traslacions i dels angles que formen les cel·les elementals (veure taula)

A la cel·la elemental més senzilla (només elements als vèrtexs) se l'anomena *primitiva* (P). Poden existir, segons els grups, altres tipus de cel·les: centrada en l'interior (I), centrada en 2 cares (C), o centrada en totes les cares (F). En el sistema cúbic hi ha tres tipus possibles de cel·les unitat: cúbica senzilla, cúbica centrada en l'interior i cúbica centrada en les cares. En el sistema ortorròmbic hi ha quatre tipus possibles: ròmbic senzill, ròmbic centrat en l'interior, ròmbic centrat en dos cares i ròmbic centrat en totes les cares. El sistema tetragonal presenta dos tipus de cel·les unitat possibles: tetragonal senzilla i tetragonal centrada en l'interior. El sistema monoclínic té cel·les unitat senzilla i centrada en dos cares. Els sistemes romboèdric, hexagonal i triclínic tenen sols el tipus senzill de cel·la unitat.

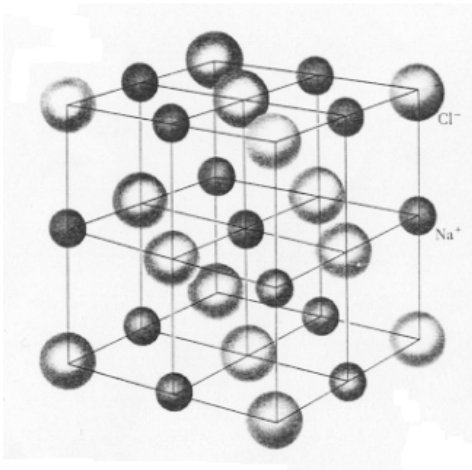
Classificació de xarxes espacials en sistemes cristal·lins

Sistema cristalino	Longitudes axiales y ángulos interaxiales	Retículos espaciales
Cúbico	Ejes iguales en ángulos rectos $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Cúbico sencillo Cúbico centrado en el cuerpo Cúbico centrado en las caras
Tetragonal	Ejes en ángulos rectos, dos de ellos iguales $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Tetragonal sencillo Tetragonal centrado en el cuerpo
Ortorrómbico	Ejes distintos en ángulos rectos $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ortorrómbico sencillo Ortorrómbico centrado en el cuerpo Ortorrómbico centrado en las bases Ortorrómbico centrado en las caras
Romboédrico	Ejes iguales, inclinados por igual $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Romboédrico sencillo
Hexagonal	Ejes iguales a 120° y a 90° con el tercero $a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Hexagonal sencillo
Monoclinico	Ejes distintos, dos de ellos no forman ángulo recto $a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Monoclinico sencillo Monoclinico centrado en la base
Triclinico	Ejes distintos con distinta inclinación, y ninguno en ángulo recto $a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Triclinico sencillo



Les 14 cel·les unitat de Bravais agrupades en sistemes cristal·lins

Exemple de xarxa cristal·lina



En la xarxa del **clorur de sodi** els ions clorur formen una xarxa cúbica centrada en les cares i els ions sodi ocupen llocs octaèdrics, formant també una xarxa cúbica centrada en les cares. Per tant cada ió sodi està envoltat per 6 ions clorur i cada ió clor per 6 ions sodi. Els ions clorur que estan al llarg de la diagonal d'una cara del cub no es toquen.

A més de la **periodicitat** que ja hem mencionat abans, la matèria cristal·lina presenta aquestes altres propietats:

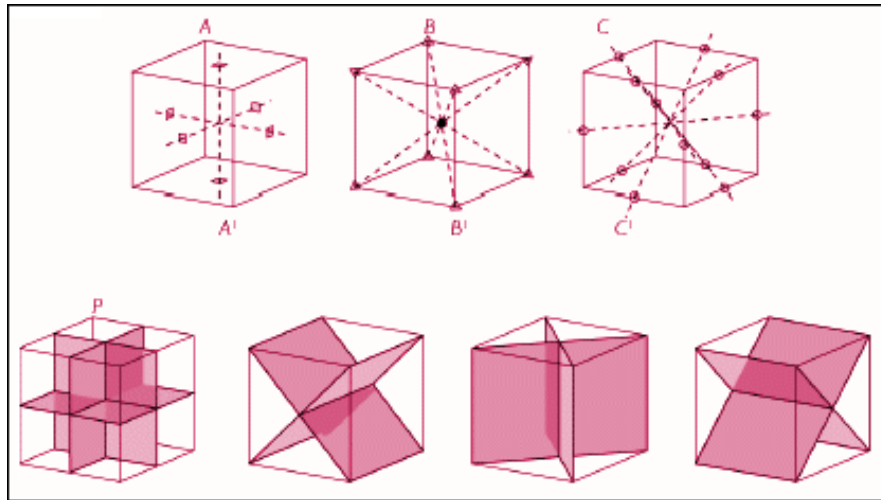
- **Homogeneïtat.** En la matèria cristal·lina, cada àtom o molècula està sempre envoltat pels mateixos àtoms o molècules veïnes que es col·loquen sempre en la mateixa disposició.
- **Anisotropia.** Les xarxes cristal·lines es caracteritzen per presentar una separació entre nusos que varia segons la direcció que considerem. Per aquesta raó algunes propietats físiques d'una substància poden variar depenen de la direcció en que la mesurem (per exemple, la conductivitat elèctrica i calorífica, la dilatació tèrmica, la velocitat de propagació de la llum pel seu interior, etc).

Els cristalls i la seva simetria

Del fet que la matèria cristal·lina sigui periòdica i homogènia se'n deriva una nova propietat, molt important en la matèria mineral: la **simetria**.

La simetria és una regularitat geomètrica que permet la superposició d'un cristall amb ell mateix mitjançant un moviment determinat que pot ser:

- **Reflexió sobre un pla**, que divideix el cristall en dues meitats de manera que l'una és el reflex de l'altra.
- **Rotació o gir a l'entorn d'un eix de simetria** interior del cristall. Un gir complet al voltant de l'eix farà coincidir el cristall amb ell mateix un cert nombre de vegades. El nombre de coincidències indica l'ordre de simetria de l'eix (ordre 1, 2, 3, 4 i 6): Binari coincideix dues vegades, ternari, coincideix tres vegades, quaternari, quatre i senari, sis.
- **Inversió a través d'un centre de simetria**, el centre de simetria repeteix qualsevol punt del cristall en un altre situat de tal manera que, si els unim tots dos, la línia que resulta passa pel centre de simetria i aquest és al punt mitjà de la línia.



Un cristall té la mateixa simetria que la xarxa de Bravais corresponent.

En els processos de creixement dels cristalls hi ha sovint distorsions perquè les condicions en què es produeix mai no són ideals; sovint unes cares creixen més ràpidament que no unes altres i la figura es deforma. Aquest fenomen és accidental; l'ordenació interna és sempre constant.

Totes les formes de cristalls es poden agrupar pel nombre i la classe d'elements de simetria que tenen. Així tenim set sistemes cristal·logràfics: cúbic, tetragonal, hexagonal, trigonal, ròmbic, monoclínic i triclínic. (veure pàgina 115 i 116 llibre Geologia *oikos-tau*)

3. La matèria mineral. Propietats

Per a la identificació de minerals, donat que l'estructura interna i la composició són difícil de determinar sense l'ajuda d'assajos i aparells sofisticats, es solen utilitzar les propietats físiques que són més fàcil de reconèixer.

Les **propietats físiques diagnòstiques** dels minerals són les que es poden determinar mitjançant l'observació o fent una prova senzilla. Les principals propietats són: la forma cristal·lina, la lluentor, el color, la duresa, l'exfoliació o la fractura i el pes específic. Altres propietats que exhibeixen determinats minerals són: el magmatisme, el sabor, el tacte, l'olor, l'elasticitat, la mal·leabilitat, la birefringència i la reacció química amb àcid clorhídric.

Hàbit cristal·lí

L'**hàbit cristal·lí** fa referència a la forma externa d'un mineral, que reflexa la disposició interna ordenada dels seus àtoms.

En general, si el mineral es forma sense restriccions d'espai, desenvoluparà cristalls individuals amb cares cristal·lines ben formades. Alguns cristalls, com els que formen el quarz i la pirita tenen una forma cristal·lina molt clara. Gairebé sempre, però, el creixement cristal·lí es veu interromput per problemes d'espai, la qual cosa es tradueix en una massa d'intercreixement de cristalls, cap dels quals exhibeix la seva forma cristal·lina.

Lluentor

La **lluentor** és l'aspecte de la llum reflectida de la superfície del mineral. Els minerals llueixen com els metalls es diu que presenten **lluentor metàl·lica**. Els minerals amb **lluentor no metàl·lica** es descriuen mitjançant diversos adjectius, entre ells lluentor vítrea, lluentor resinosa, sedosa, etc. Els minerals que no presenten lluentor són **mats**.

Color

El **color** no és una propietat gaire fiable, ja que hi ha molts minerals que es poden trobar en una ampla gamma de colors. Per exemple *el quars*, pot presentar una diversitat de colors, entre ells, el rosat, el púrpura (amatista), el blanc i fins i tot el negre. La *fluorita*, per exemple, pot ser transparent, verda, groga, lila o blava. Aquesta varietat de colors és deu a la presència d'impureses i d'imperficcions en l'estructura dels minerals. Quan un mineral exhibeix varietat de colors es diu que té una *coloració exòtica*. Altres minerals, per exemple, el sofre, que és groc, i la malaquita, que és verda, es diu que tenen *coloració inherent*.

La ratlla

El **color de la ratlla** correspon al color del mineral en pols, i es més significatiu que no l'anterior. Es pot veure fregant el mineral damunt una placa de porcellana blanca no vidriada. La superfície de l'*hematites*, per exemple, pot presentar diferents coloracions, però el color de la seva ratlla sempre és vermell fosc. La ratlla pot servir també d'ajuda per distingir minerals amb lluentor metàl·lica dels que tenen lluentor no metàl·lica. Els mineral metàl·lics tenen, en general, una ratlla densa i fosca, al contrari que els minerals no metàl·lics.

Duresa

La **duresa** és la resistència que ofereix un mineral a ser ratllat. És una de les propietats diagnòstiques més útils. Aquesta propietat es determina fregant un mineral de duresa desconeguda contra un altre de duresa coneguda, o al revés. Per tal de classificar els minerals segons la seva duresa, s'utilitza l'**escala de Mohs**. És una escala que consta de 10 minerals, ordenats del més tou, el *talc* (duresa 1), fins el més dur, el *diamant* (duresa 10). Cada mineral de l'escala ratlla els de grau inferior i els ratllen els de duresa superior. L'escala de Mohs és una *classificació relativa*, la duresa allí indicada no és real, el guix per exemple que té una duresa de 2 segons l'escala no implica que sigui dos vegades més dur que el talc (de duresa 1).

Escala de duresa de Mohs		
1	Talc	Molt tous, (Es ratllen amb l'ungla)
2	Guix	
3	Calcita	Tous, (Es ratllen amb una moneda de coure, els més tous, i amb una navalla els menys tous del grup)
4	Fluorita	
5	Apatita	
6	Feldespat ortosa	Durs (Ratllen el vidre)
7	Quars	
8	Topazi	
9	Corindó	
10	Diamant	Molt dur (Ratlla a tots)

Tal com es veu en la taula qualsevol mineral de duresa desconeguda pot comparar-se també amb altres objectes de duresa coneguda (ungla, moneda de coure, vidre, navalla)

Exfoliació i fractura

En l'estructura cristal·lina d'un mineral, alguns enllaços són més dèbils que d'altres. Aquests enllaços es situen en punts en els quals un mineral es trencarà quan sigui sotmès a tensió. L'**exfoliació** és la tendència d'un mineral a trencar-se al llarg de plans d'enllaços dèbils. No tots els minerals presenten plans definits per enllaços dèbils, però els que si que en tenen s'identifiquen per trencar-se segons superfícies planes. El cas més característic és el de les *miques*, aquestes tenen enllaços dèbils en una direcció i s'exfolien formant làmines planes i primes. Alguns minerals tenen diversos plans d'exfoliació, per exemple la *galena* es trenca formant cubs.

Els minerals que no exhibeixen exfoliació quan es trenquen es diu que presenten **fractura**, com el *quars*, i es trenquen en superfícies irregulars.

Pes específic

El **pes específic** és un nombre que representa el quocient entre el pes d'un mineral i el pes d'un volum igual d'aigua. Per exemple, si un mineral pesa tres cops un volum igual d'aigua, el seu pes específic serà de 3.

Altres propietats dels minerals

A més de les propietats ja comentades, alguns minerals es poden reconèixer per altres propietats distintives. Per exemple:

- L'halita o sal de cuina, es pot identificar pel sabor.
- Les fines làmines de mica es poden doblegar i recuperar elàsticament la seva forma.
- L'or és mal·leable i se li pot donar forma fàcilment.
- El talc produeix una sensació sabonosa quan es toca, el grafit, per contra la sensació que dona es de greix.
- Uns pocs minerals, com la magnetita, tenen un elevat contingut de ferro i poden ser atrets per un imant, es diu que tenen magnetisme.
- Alguns minerals exhibeixen propietats òptiques especials, per exemple quan es col·loca una peça transparent de calcita sobre material imprès, les lletres es veuen duplicades. Aquesta propietat es diu birefringència.
- La ratlla de molts minerals que contenen sofre fa olor a ous podrits.
- D'altra banda, la prova de la reacció amb àcid clorhídric pot ajudar a determinar la composició química d'alguns minerals. Aquells que estan formats per carbonat de calci desprenen bombolles de diòxid de carboni molt visibles quan s'hi vessen unes gotes d'àcid clorhídric diluït.

4. Isomorfisme i polimorfisme

Isomorfisme

Es diu que dos minerals són isomorfs quan tenen **diferent composició química** (però anàloga) i **la mateixa cristal·lització**. Un conjunt de minerals isomorfs constitueixen una *sèrie isomorfa*. És normal que els minerals isomorfs presentin propietats físiques semblants.

La condició per què dos minerals siguin isomorfs és que l'ió o els ions que varien entre ells tinguin radis iònics semblants (de manera que no alterin el nombre de coordinació de l'estructura cristal·lina ni tampoc la simetria), com és el cas de Fe^{2+} i Mg^{2+} , Na^+ i Ca^{2+} o Si^{4+} i Al^{3+} . La substitució és més factible quan, a més a més del radi, també tenen la mateixa càrrega elèctrica. Si les càrregues són distintes es necessita un catió addicional per mantenir la neutralitat de l'estructura.

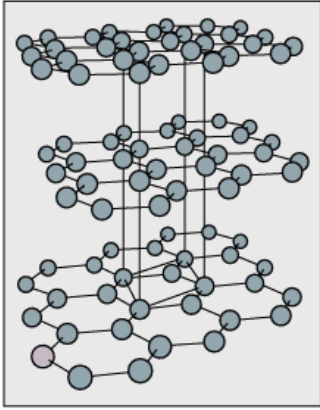
Un bon exemple de sèrie isomorfa és el de la **sèrie de l'oliví** $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, que és el silicat de magnesi-ferro. En l'oliví, el Mg^{2+} pot ser substituït total o parcialment pel Fe^{2+} constituint una sèrie completa entre els dos extrems **forsterita** (Mg_2SiO_4) - **faialita** (Fe_2SiO_4). En un extrem, l'oliví pot contenir ferro sense res de magnesi (silicat fèrric o faialita) i en l'altre, el ferro està totalment absent (silicat de magnesi o forsterita). Entre els dos extrems, és possible qualsevol proporció de ferro respecte de la de magnesi.

Tal com hem dit, en certes substitucions, els ions que s'intercanvien no tenen la mateixa càrrega elèctrica. Per exemple quan el Ca^{2+} substitueix al Na^+ , l'estructura guanya una càrrega positiva. És el cas de la sèrie isomorfa de les **plagiòclasis**, feldespatos que apareixen molt sovint en les roques magmàtiques i que varien des de la **albita**, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (silicat de sodi i alumini,) a l'**anortita**, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (silicat de calci i alumini), existint tota una sèrie de minerals intermedis que contenen proporcions diverses de Na i Ca. Com el sodi i el calci no tenen la mateixa càrrega, ha d'haver també un altra substitució per mantenir la neutralitat, així per cada Ca^{2+} que substitueix a un Na^+ ha d'haver un Si^{4+} que sigui substituït per un Al^{3+} (hi ha parelles d'ions intercanviats Si^{4+} per Al^{3+} , Na^+ per Ca^{2+})

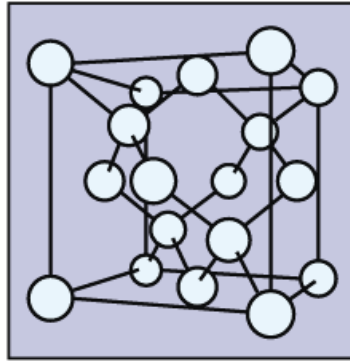
Polimorfisme

Es diu que dos minerals són polimorfs quan tenen la **mateixa composició química** però **cristal·litzen de forma diferent** (depenen de les condicions de pressió, temperatura i composició del medi en el que té lloc la cristal·lització). Els minerals polimorfs tenen diferents propietats físiques com a conseqüència de la diferent estructura cristal·lina.

El **grafit** i el **diamant** són exemples particularment bons de polimorfisme perquè tot i estar constituïts exclusivament per carboni, tenen propietats totalment diferents. El grafit és un material gris i tou del qual es fabrica la mina dels llapis, mentre que el diamant és el mineral més dur que es coneix. La diferència entre tots dos està atribuïda a les condicions sota les que es van formar. Els diamants es formen a grans profunditats, del voltant del 200 km, on les pressions extremes produeixen una estructura compacta. El grafit consisteix en làmines d'àtoms de carboni molt espaiats i dèbilment units. Donat que aquestes làmines de carboni llisquen fàcilment les unes sobre les altres, el grafit és un excel·lent lubricant. El diamant cristal·litza en el sistema cúbic i el grafit en l'hexagonal.



Estructura del grafit



Estructura del diamant

En el diamant cada àtom representa el centre d'una piràmide de quatre cares (tetraèdre) formada per àtoms de carboni units mitjançant enllaços covalents. En el cas del grafit, podem observar com els àtoms de carboni s'uneixen covalentment per a formar estructures hexagonals en un mateix pla, mentre que entre pla i pla les unions no són tan abundants. Aquesta diferent estructuració de la matèria, en aquest cas àtoms de C, és la responsable de les diferents propietats d'aquest dos minerals

Uns altres dos minerals amb composicions químiques idèntiques (CaCO_3), però diferents formes cristal·lines, són la **calcita** i l'**aragonita**. La calcita cristal·litza en el sistema trigonal i l'aragonita en el sistema ròmbic.

