

**KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (1): PLANETÁRIS- ÉS ANYAGTÉRKÉPEK A
HOLDKÖZETEKRŐL, METEORITEKRŐL**

Bérczi Szaniszló, Budapest, 2000

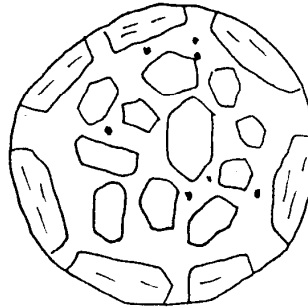
**KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (1):
PLANTEÁRIS- ÉS ANYAGTÉRKÉPEK A
HOLDKÖZETEKRE, METEORITEKRE
Bérczi Szaniszló, Budapest, 2000**

Az Eötvös Egyetem Természettudományi Karán működő Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport Egyik kiemelt programja a kozmikus anyagok vizsgálata. Ennek keretében fontos kutatási irányunk a Naprendszernek és égitestjeinek fejlődéstörténeti vizsgálata.

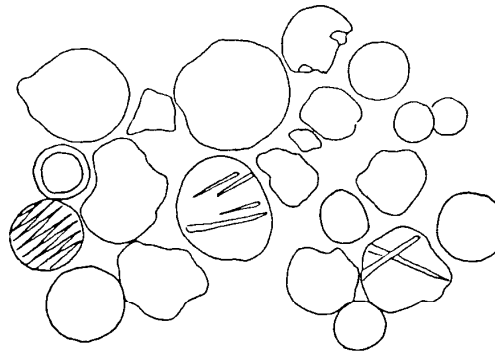
Eddig 3 különleges jelentőségű kozmikus-anyag készleten dolgozhattunk. Kettő a NASA kőzettani vékonycsiszolata és beöntött korong készlete volt, melyeket a NASA Johnson Űrközpontja adott kölcsön Egyetemünknek, a harmadik a Japán Nemzeti Sarkkutató Intézet (NIPR) antarktisi meteorit vékonycsiszolat gyűjteménye volt, mely 3 évig tartóan volt kölcsön Egyetemünkön, s jelenleg szintén nálunk van a 2000/2001-es tanévben.

A három vékonycsiszolat gyűjtemény (12 NASA holdi minta, 12 NASA antarktisi meteorit és 30 NIPR antarktisi meteorit) gazdag anyagát képviseli a Naprendszer kisebb és nagyobb égitestjeinek. A három naprendszeri készletet a Föld kérgéből és köpenyéből származó mintákkal egészítettük ki, s így négy különböző készleten végezhetünk *égitest-evolúciós petrográfiát*, s ezzel párhuzamosan égitest fejlődéstörténeti összehasonlító vizsgálatokat. A négy készlet négy különböző méretű égitestnek az anyagát képviseli. Méretük sorrendjében ezek: a Föld, a Mars, a Hold és a kisbolygók (pl. Vesta).

Kondrum (gör.): magyarul magocska. Egykor megolvadt kőzetesepp, mely később a meteoritokba gyűlt össze s ezeket kondritoknak nevezik.



A Naprendszer anyagait és égitestjeinek fejlődéstörténetét bemutató atlasz-sorozatunk kísérleti munka. Kezelhető nagyságú tömbökbe tagolja a gyorsan fejlődő ismereteket, amelyek közül több távoli területet is összekapcsol. A holdközetről és meteoritekról készült atlasz, kiegészíthető színekkel, új lapokkal, térképekkel.



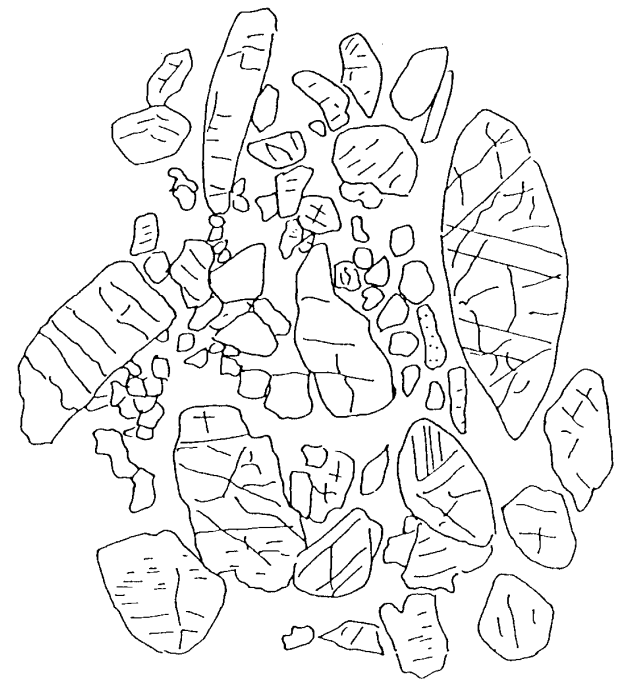
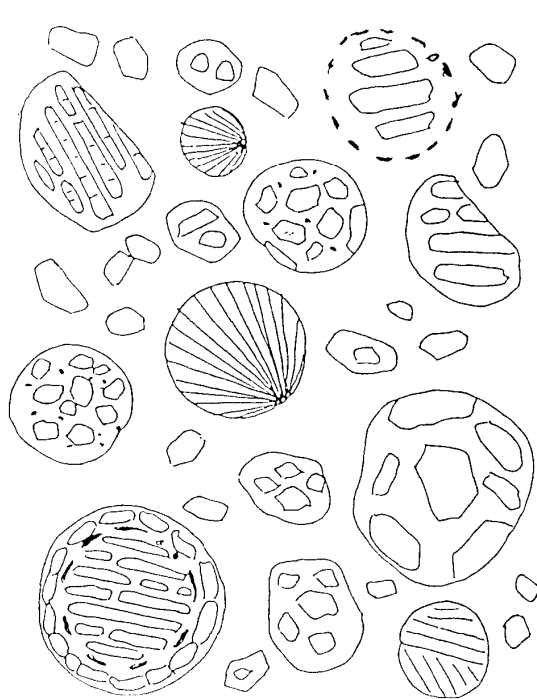
Üvegcséppék a Holdról, melyek egykor lávaszökőkútból kilövellt láva cséppjei voltak. Az Apolló 17 gyűjtése, narancs színű talajminta.

Kis atlaszunk három részből áll. Először röviden bemutatjuk a Naprendszer anyagait. A második részben a meteoritokkal foglalkozunk. A harmadik részt a Holdnak és a holdközeteknek szenteljük.

A földrajzi térképek az égitestek felszínét ábrázolják kicsinyített formában. A geológiai térképek a felszíni formák helyrajzi viszonyait a kőzettestek anyagáról és kialakulásáról szóló adatokkal egészítik ki. De atlaszunk az égitestek egyszerűbb geológiai térképei mellett anyagterképeket is bemutat.

Az anyagterképek anyagi állapotokat és jellemzőket ábrázolnak. Rajtuk az anyagok állapotát meghatározó fizikai-kémiai jellemzőket tesszük meg „koordinátáknak” (hőmérsékletet, nyomást, összetételi arányokat, a lehűtés sebességét, stb.). Az anyagterképeken ábrázolt „tartományok” az egymáshoz közel eső fizikai állapotok szomszédságát jelenítik meg, pl. azt, mikor kristályos vagy olvadék állapotú egy adott összetételű láva.

A kristályosodás és más átalakulási folyamatok leírásakor fontos adat a szilárd anyagok szövete. Ezt számos anyagtudomány vizsgálja (a kőzetek, a fémek, a kerámiák, a műanyagok szerkezeti kutatása során). A mi kőzettani polarizációs mikroszkópi vizsgálatainkban 30 mikrométer vastagságú vékonycsiszolatokat használunk. Rajtuk tanulmányozható az ásványok elhelyezkedése, összetétele, stb. Ezekből a szövettani „térképi” adatokból olvashatjuk ki a kőzetek létrejöttének sok fontos mozzanatát. Az ásványok kialakulás során történt egymás mellé kerülése éppoly fontos adat a kőzetek kialakulási történetében, mint ahogy a kőzetesetek egymásra települése és tektonikája az, a geológiai térképek készítése során. Az égitestek fejlődéstörténetének vizsgálata során tehát mindkét féle anyagterképre szükségünk van. A NASA holdközeteinek és a NIPR antarktisi meteoritjeinek vizsgálatához mindenkinek jó munkát kívánok. B. Sz.



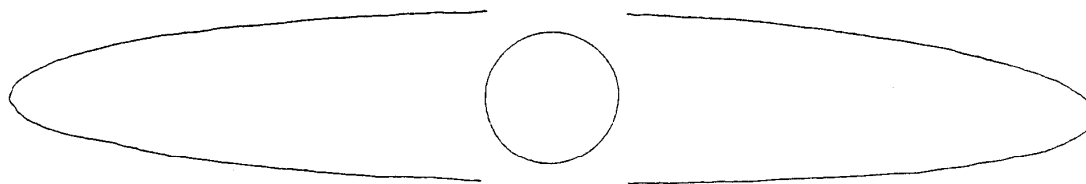
**KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (1): PLANETÁRIS- ÉS ANYAGTÉRKÉPEK A
HOLDKÖZETEKRŐL, METEORITEKRŐL**

Bérczi Szaniszló, Budapest, 2000

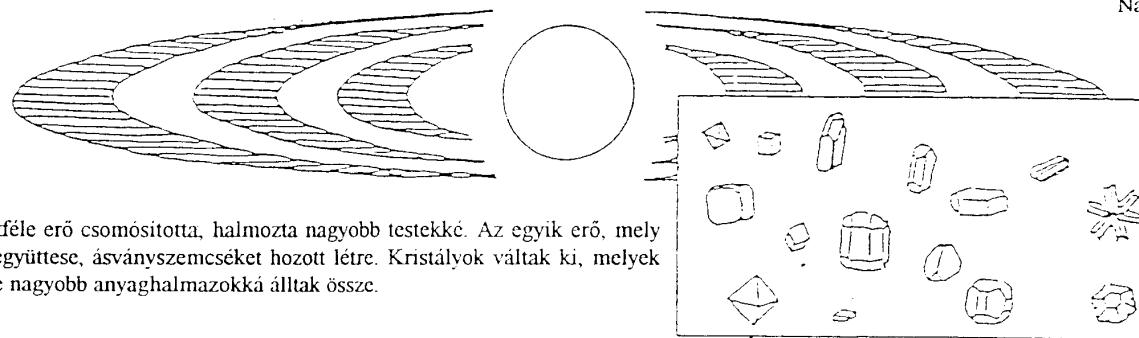
A Naprendszer anyagait bemutató kis atlasz sorozatunk a XX. század végéig főlhalmozott ismeretekből mutat be válogatást. Ezek az ismeretek hosszú ideig a csillagászat kutatási eredményei voltak egyfelől, s a közzettan és a geológia eredményei voltak másfelől. A csillagászat a bolygókat tanulmányozta, de ma már a bolygókat főleg az űrszondák mérési eredményei alapján ismerjük. A szilárd felszínű égitestekre simán leszállt űrszondák mérései a meteoritek tanulmányozásával gyűjtött közzettani ismereteinket egészítették ki. A geológia a szilárd felszínű égitestek rétegtani térképezésében alapvető tudományág ma is. A Naprendszer kutatása tehát több nagy tudományág határterülete. Kis atlasz sorozatunk hidakat épít e tudományág-szigetek közé és arra törekszik, hogy a kozmikus és földi anyagok vizsgálata ugyanolyan vonzó legyen, mint a régi távcsöves csillagászat volt.



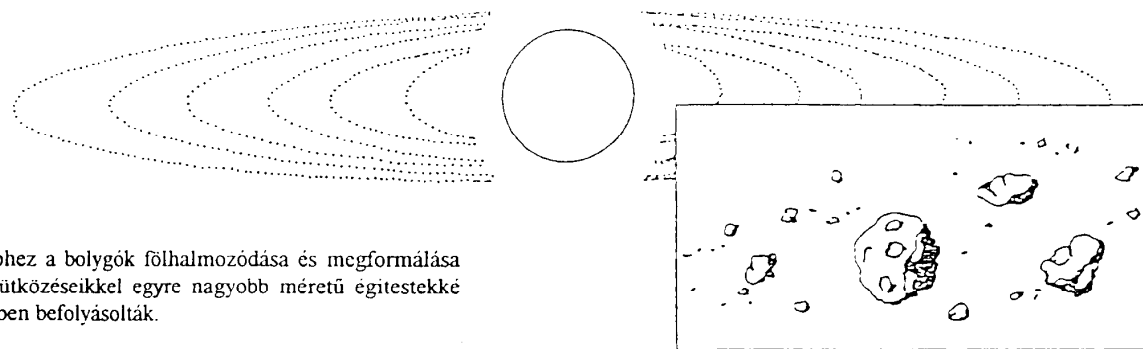
A Föld a legváltozatosabb égitest a Naprendszerben. Áramlási rendszerek alkotnak burkokat a Földtest belső és külső övezeteiben és a Föld az egyetlen bolygó, amiről tudjuk, hogy rajta kifejlődött az élet is.



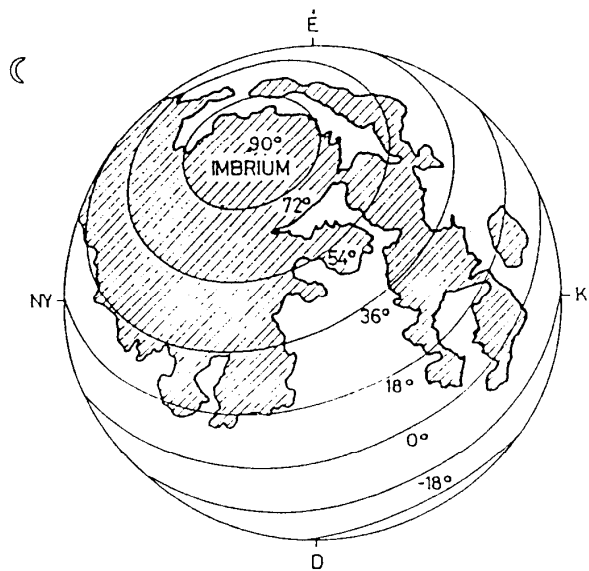
Ősi képünk a Naprendszer születéséről az, hogy a csillaggá összehúzódó kozmikus por- és gázköd fölmelegedett, központi forró tartományai létrehozták a Napot, a körülötte keringő ködből pedig anyagcsomók váltak ki, azok megformálták a Naprendszer ásványait, melyek ütközésekkel nagyobb égitestekké halmozódtak.



A Nap körüli por- és gázköd anyagát kétféle erő csomósította, halmozta nagyobb testekké. Az egyik erő, mely elektromágneses és kvantum hatások együttese, ásványszemcséket hozott létre. Kristályok váltak ki, melyek az ütközések során összetapadtak, s egyre nagyobb anyaghalmozokká álltak össze.

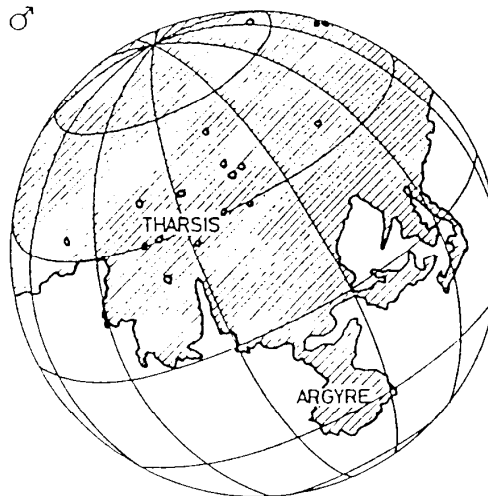


A másik erő, a gravitáció, fokozatosan jutott szervező szerephez a bolygók főlhalmozódása és megformálása során. A kilométeres nagyságú égitestek, a planetézimálók, ütközéseikkel egyre nagyobb méretű égitestekké tömörültek, melyek egymás pályáit már egyre nagyobb mértékben befolyásolták.

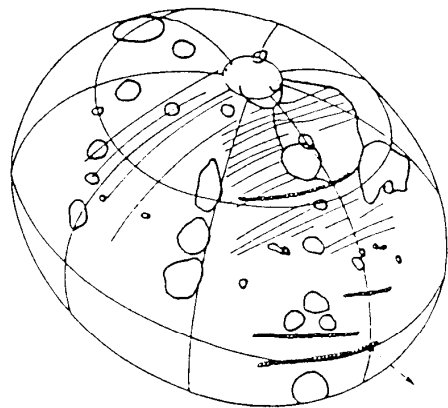


A Holdra alkalmazták először a földre kifejlesztett geológia alapelveit és szintén a Holdról hoztak először kőzetmintákat (Apoló expedíciók, Luna robotok).

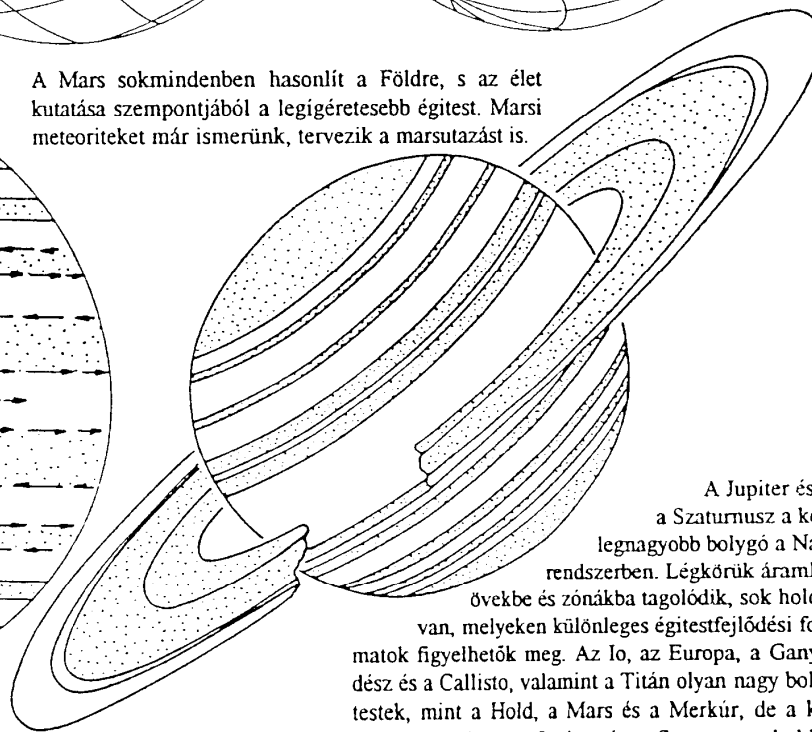
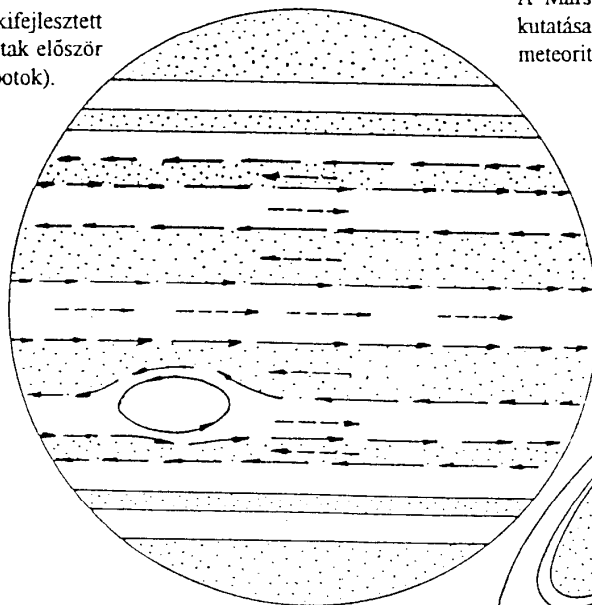
♂



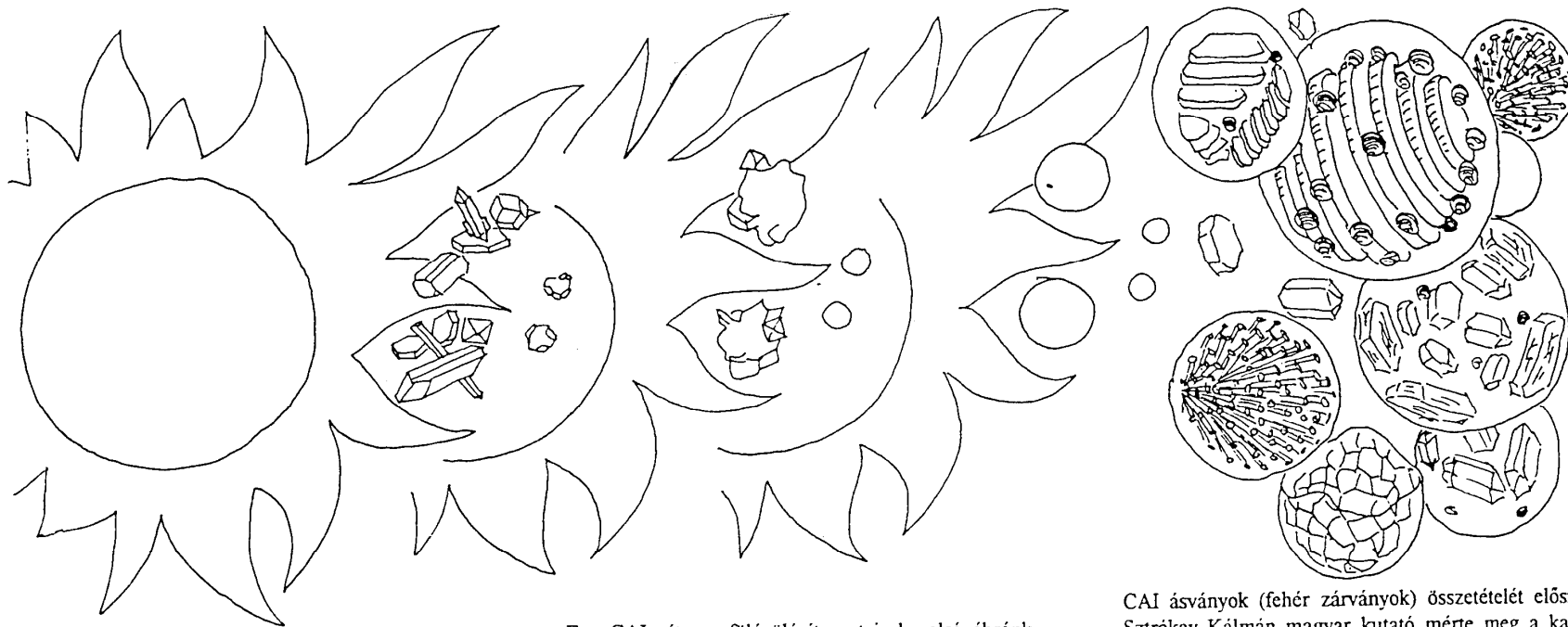
A Mars sokmindenben hasonlít a Földre, s az élet kutatása szempontjából a legígéretesebb égitest. Marsi meteoriteket már ismerünk, tervezik a marsutazást is.



A Phobos a Mars egyik holdja: mérete és felszíne miatt is a kisbolygókra hasonlít. A kisbolygók ütközések során letöredező forgácsai a földre hulló meteoritek.



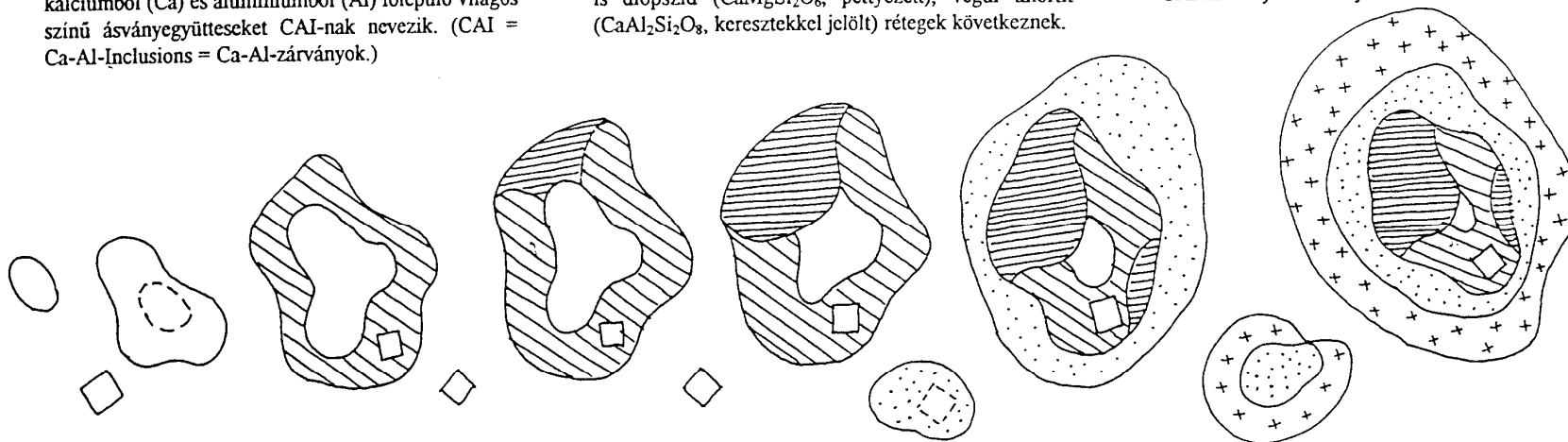
A Jupiter és a Szaturnusz a két legnagyobb bolygó a Naprendszerben. Légtörük áramlási övekbe és zónákba tagolódik, sok holdjuk van, melyeken különleges égitestfejlődési folyamatok figyelhetők meg. Az Io, az Europa, a Ganymedész és a Callisto, valamint a Titán olyan nagy bolygótettek, mint a Hold, a Mars és a Merkúr, de a külső Naprendszerben, a Jupiter és a Szaturnusz holdjain, fontos égitestépítőanyag volt a vízjég is.

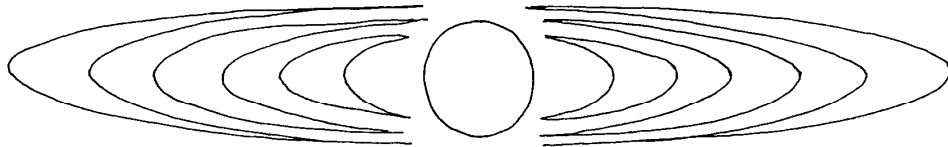


A Naphoz közeli forró tartományokban sokféle ásvány rétegesen kristályosodott egymás után. Ezeket főleg a tűzálló kerámiák kutatói ismerik. Ezek később szintén beépültek a kondritos meteoritokba. A főleg kalciumból (Ca) és alumíniumból (Al) fölépülő világos színű ásványegyütteseket CAI-nak nevezik. (CAI = Ca-Al-Inclusions = Ca-Al-zárványok.)

Egy CAI réteges fölépülését mutatja be alsó ábránk. Először korund (üres kör), és perovszkit (CaTiO_3 , négyzet), válik ki, majd a korundon sorra melilit (vastag csikozás), spinell (MgAlO_3 , sűrűn csikozott), majd a perovszkiton is és a korunddal indult sorozaton is diopszid ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, pettyezett), végül anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, kereszttekkel jelölt) rétegek következnek.

CAI ásványok (fehér zárványok) összetételét először Sztrokay Kálmán magyar kutató mérte meg a kabai meteoritban. Röntgendiffrakciós méréseiben Sztrokay a fehér zárványokat spinell összetételűnek találta. Számos kutató között Lawrence Grossman (a Chicagói Egyetemről) volt az, aki a nagyon magas hőmérsékletű CAI zárványok kristályosodásának sorozatát kikutatta.





A Naprendszer a Napot körülvevő anyagokból és égitestekből áll. Mindegyik égitest és anyaga is a korai Napot körülvevő por- és gázködből alakult ki. E por és gázköd tömege mintegy századrésze a Nap tömegének, de a Naprendszer forgó mozgását ezek a Napon kívüli anyagok hordozzák keringő mozgásukban.

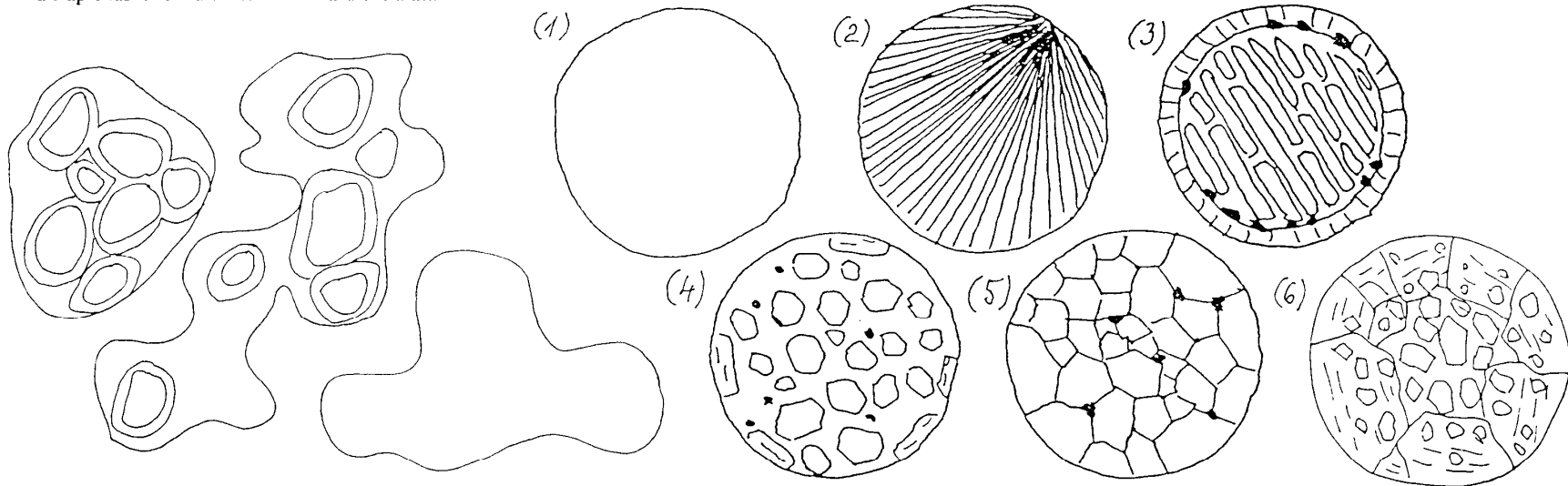
A korai Nap kitörései egyes tartományokban úgy fölforrósították a por- és gázködot, hogy az addig már kialakult kristályokból olvadékcseppek jöttek létre. A tízedmilliméterestől a néhány milliméteresig terjedő méretű gömböcskék azután lehültek, kikristályosodtak és ezek lettek a kondrumok. A kondrumokra gyakran rátapadt a körülöttük található por is. A kondrumok és a maradék poranyag összetapadt és ütközésekkel egyre nagyobb égitestekbe halmozódott. A mai kondritos meteoritek azokból a kisebb méretű kondritos égitestekből származnak, amelyek nem melegek föl a Naprendszer elmúlt 4 és fél milliárd éve alatt.

A Nap körüli köd a Nap fölmelegedésével együtt fölforrósodott, s később lehült. A Naptól való távolsággal együtt változott a köd hőmérséklete, s ezzel a kristályos anyagok összetétele. A legfontosabb ásványok sorozatát táblázatunk mutatja be a Lewis és Barshay féle modell szerint. A kondritos meteoritek főleg ebből az ásványsorból épülnek föl.

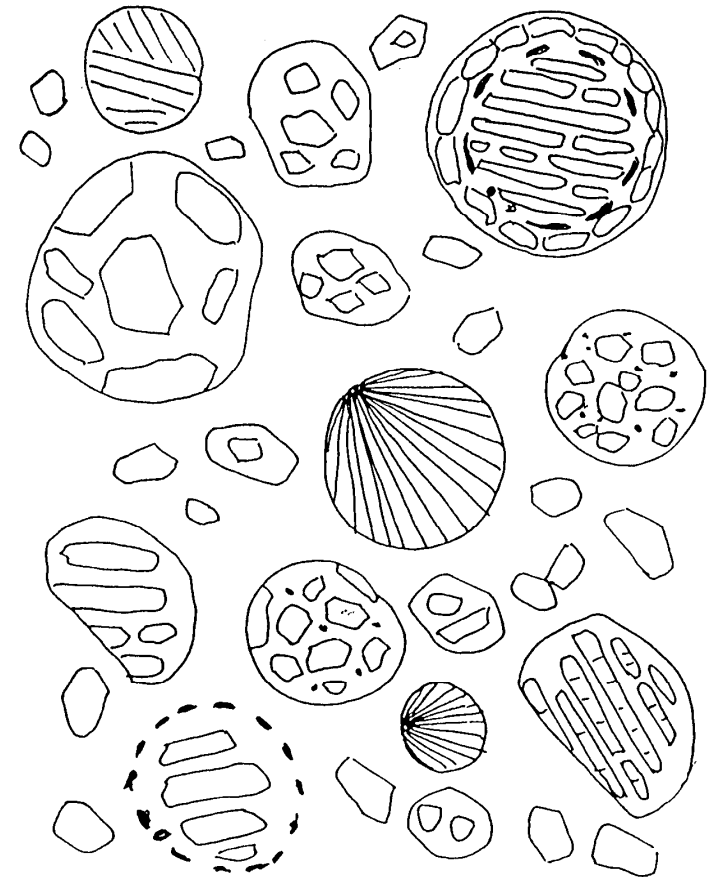
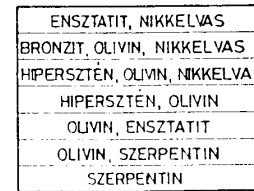
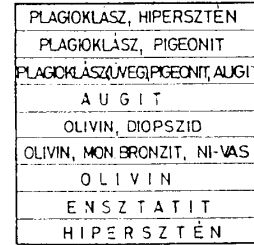
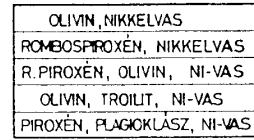
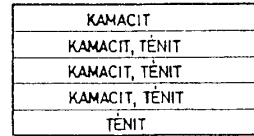
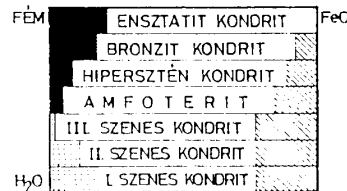
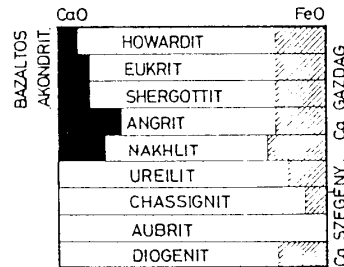
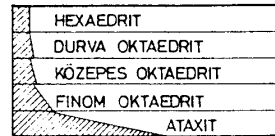
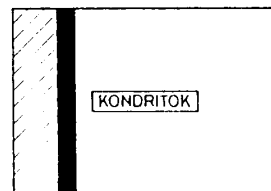
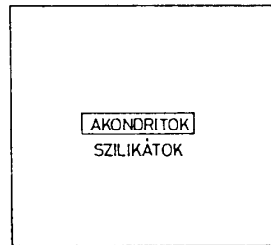
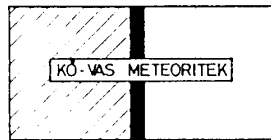
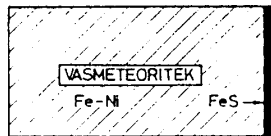
Hőm. K	Kémiai elemek, reakciók	Ásványok
1600	CaO, Al ₂ O ₃ , Ritka Földfém oxidok	Oxidok
1300	Fe, Ni fémötözöt	Fe-Ni fém
1200	MgO + SiO ₂ → MgSiO ₃	Ensztatit
1000	Alkáli oxidok+Al ₂ O ₃ +SiO ₂	Földpát
1200-490	Fe+O→FeO, FeO+MgSiO ₃ =	Olivin
680	H ₂ S+Fe→FeS	Troilit
550	Ca-ásványok+H ₂ O	Tremolit
425	Olivine+H ₂ O	Szerpentin
175	H ₂ O jég kristályosodik	Vízjég
150	gáz NH ₃ +jég H ₂ O=NH ₃ .H ₂ O	Ammónia-hidrát
120	gáz CH ₄ +jég H ₂ O=CH ₄ .7 H ₂ O	Metán-hidrát
65	Metán, Argon kristályosodik	Metánjég, argonjég

A kondritokból készült vékonycsiszolatokon a mikroszkópban megfigyelhetjük, hogy a kondrumok különféle szövetűek lehetnek. Szakmai elnevezésükkel adjuk meg a hat fő kondrum típust. (1) üveges és/vagy kriptokristályos kondrumok, (2) sugarasan szétágazó kristálynyalábokat mutató radiális (vagy angolul

gyakran excentro-radiális-nak nevezett) kondrumok, (3) lemezes-pálcás-rudas szöveti mintázatú (angolul barred) kondrumok, (4) porfiros kondrumok, (5) granuláris vagy szemcsés szövetű kondrumok és (6) poikilites piroxén kondrumok (ezekben a kis olivin kristályok be vannak ágyazva a nagy piroxénekbe).



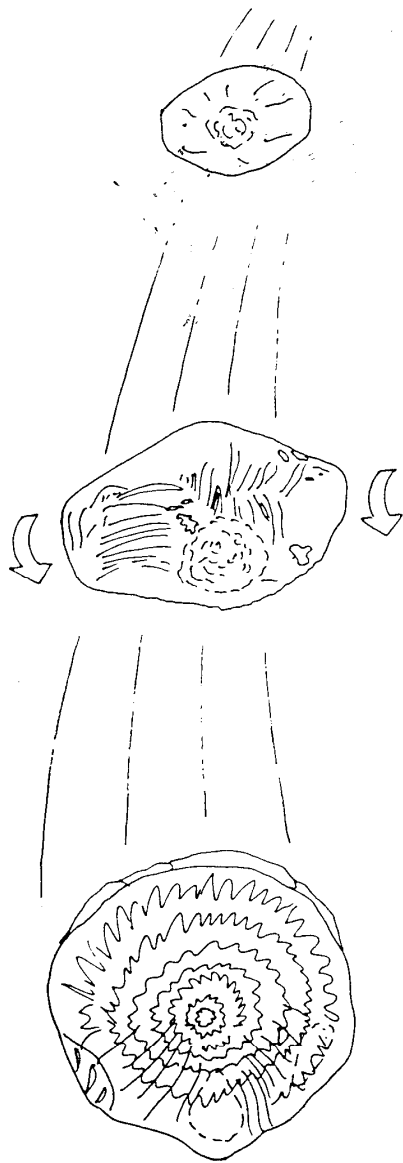
ANDERS - TÁBLA



A meteoriteket ma három nagy anyag típusba sorolva csoportosítják: kő-, kővas- és vasmeteoritekként. Ezek közül a kőmeteorit két részre bonthatók, kondritokra és akondritokra. Az akondritokban már nincsenek kondriumok. Hogy hogyan lesznek kondritokból akondritok, izgalmas anyagfejlődés-történeti kérdés és a meteoritika tudományának egyik fő területe ez. Mi is

most e kondritos meteoritok átalakulásait tanulmányozzuk, dióhéjban. A kondritok tízedmilliméterestől a centiméteres méretig terjedő nagyságú kicsiny gömböket, görgül kondriumokat (magokat) tartalmazó meteoritok, s ezekről kapták nevüket. A kondritok a hullott meteoritok körében 85 százalékot tesznek ki. Közöttük

az igen ősiinek tartott szénese kondritok csak néhány százaléknyi csoportot alkotnak, mert könnyen málló, elmorzsolódó anyagúak, s hulláskor többségük szétfőredzik apró darabokra. Ilyen a Magyarországon hullott híres kabai meteorit is, amely azonban szép alakú, a légkörön való áthaladás nyomait olvadácsugarakkal lesimított, sugarasan-kúposan mintázott - ablatált - felületén is magán viselő darab.

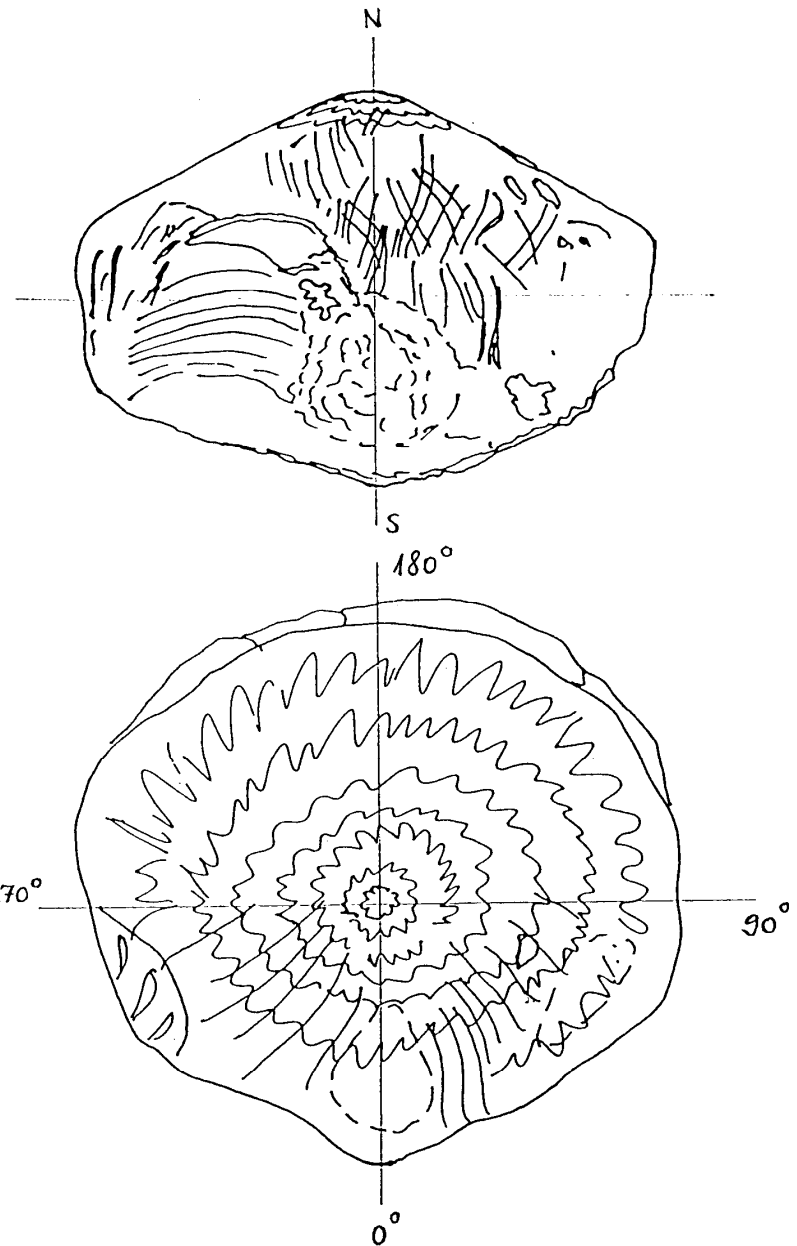


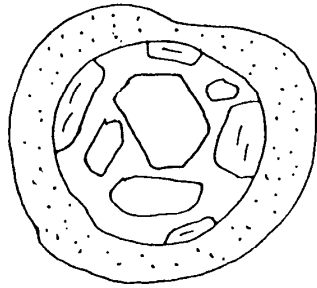
A Hajdú vármegyei Kaba község határában 1857 április 15-én hullott le egy csaknem 3 kilogrammos tömegű kőmeteorit. Széntartalma és kondrumoknak nevezett szilikátgömböcskéi alapján szenes kondritnak osztályozzák ma az ilyen kőmeteoritokat.

A kabai meteoritnak szép alakja van, áramlási formákat őriz a felszínén. Hulláskor a meteorit külső része fölizzik, megolvad, s az olvadékréteget a test körül áramló levegő elmozdítja, cseppeket sodor le róla. Az is megfigyelhető volt, hogy a légkörben tett útja idején egyszer áramlási helyzetet változtatott a kabai meteorit.

A kabai meteoritnak számos érdekessége van. Üregekben fehér ásványok találhatók a kabai meteoritban. Ezek, Sztrókay Kálmán szerkezet-meghatározása alapján főleg spinellből állnak. Ezt az ásványt később más szenes kondritokban is megtalálták. Ezek az ásványok és a kondrumok rávilágítanak e meteoritek iránti érdeklődés okára. Arra utalnak, hogy a Naprendszer alkotó ősi felhő milyen lehetett a szenes kondritok születése idején.

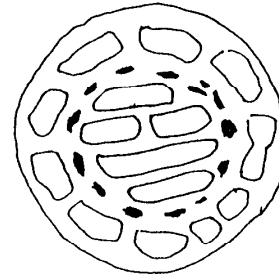
A kondritok két fő összetevőből állnak: kondrumokból és mátrixból. Kisebb mennyiségben összetevői még a spinellhez hasonlóan nagy olvadáspontú ásványi szemcsék is (ezeket CAI zárványoknak is nevezik). Míg azonban a mátrix finom szemcsés ásványai alacsony hőmérsékleten keletkezett ásványok, addig a kondrumok is, és a CAI-k is magas olvadáspontú anyagok. Az a tény, hogy a kétféle keletkezési hőmérsékletű ásványi összetevők együtt vannak a szenes kondritokban, sőt más, 3-as számozású kondritban is, mégsem „egyenlítődték ki” kémiai szempontból, azt jelzi, hogy az égitest, amelyből a szenes kondrit meteoritanyaga leszakadt, sohasem melegeedett fel eléggé. Ha fölmelegeedett volna, a kondritos anyag „átsült” volna, s kémiailag harmonizálódott volna a kondrumoknak és a mátrix szövetének az ásványos anyaga. Ez nem történt meg, meteoritunk tehát ősi, különféle eredetű anyagokból összetapadt kőzet. Ez az ősi anyag a Naprendszer születése körüli idők anyagait hordozza.





A korai napkitörésekben létrejött szilikátcsseppek, miután megszilárdultak, még különféle változásokon estek át addig, amíg a kondritos kisbolygók anyagává váltak.

Egyes kondrumoknak aprószemcsés kristályok alkotta porpereme van, ami arra utal, hogy a kondrum megszilárdulása után még hosszú ideig sodródott a Nap körüli por- és gázködben, míg hozzá nem tapadt egy halmozódó anyagcsoporthoz.

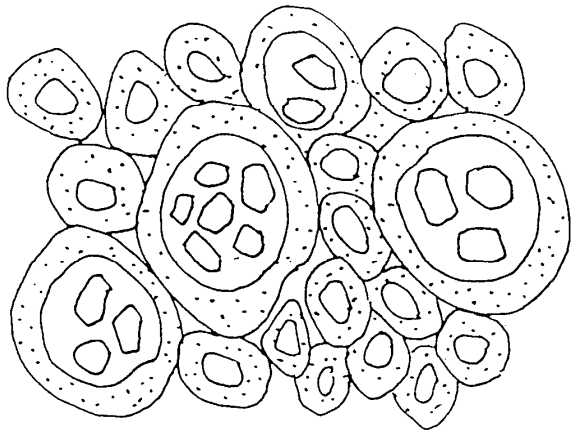


Egyes kondrumokat éppolyan magmás szövétű perem vesz körül, mint maga a szilikátcsépp anyaga. Ezek úgy jöhettek létre, hogy a már megszilárdult kondrum felületére gyűlt port újabb napkitörés megolvasztotta.

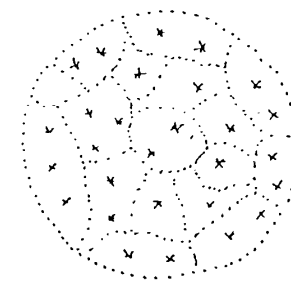
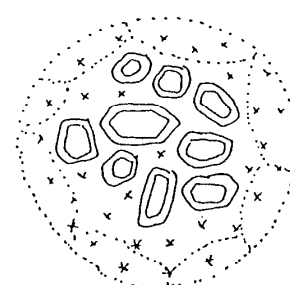
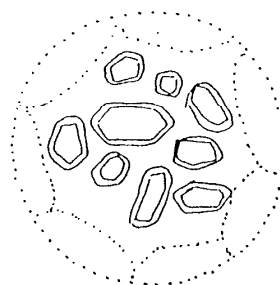
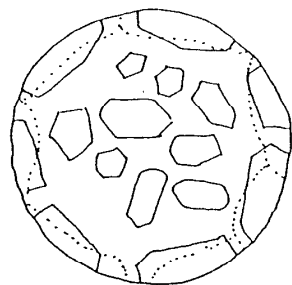
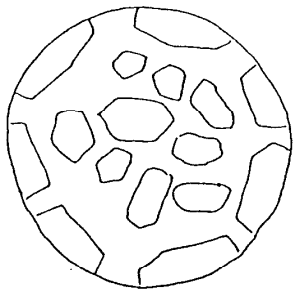
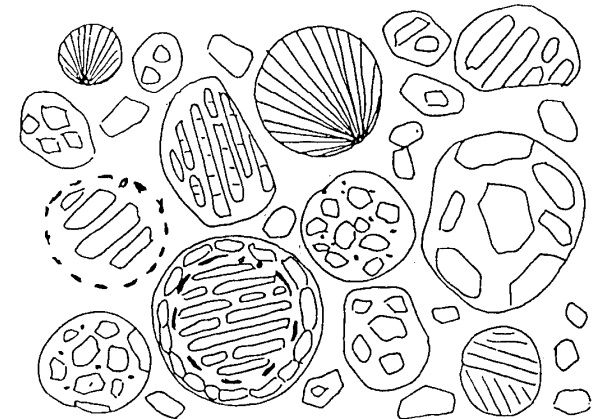
A kondrumok körül különféle peremeket találunk, melyek részben még a Nap körüli por- és gázködben lezajlott események tanúi, más peremek viszont már a kis égitesten lezajlott vizes átalakulás termékei.

Egyes kondrumok a külső részeken, vagy a peremükön tartalmazzák a fémes vasnikkel cseppeket. Ez arra utal, hogy a kondrumok forogtak, ezért a nagyobb sűrűségű összetevők fokozatosan a kondrum felületére sodródtak.

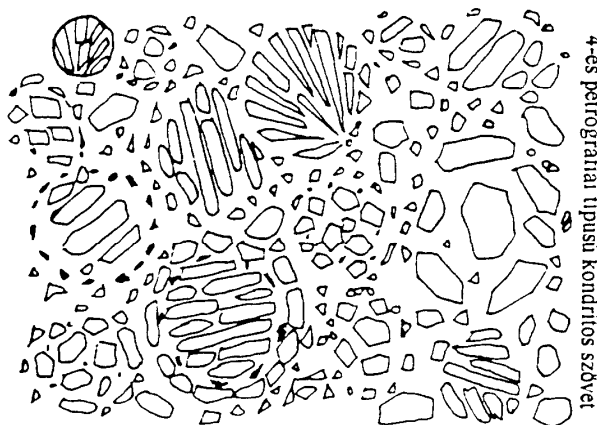
A kondritos meteoriteken a kondritos égitest átalakulásait tanulmányozhatjuk. Két fontos hatás van, amely átalakítja a kondritos meteoritek szövetét. Az egyik a vizes átalakulás, a másik a fölmelegedés hatására létrejövő átkristályosodás, metamorfózis. Egy nagyobb méretű, 30-50 kilométer átmérőjű kondritos égitest lassan fölmelegedett. A meleg hatására diffúzió indult meg a különböző eredetű összetevők között. A fölmelegedés hatására a kezdetben éles kondrumperemek fokozatosan elhalványodtak, a beágyazó aprószemcsés kristályokból álló mátrix nagyobb kristályszemcsékké kristályosodott át.



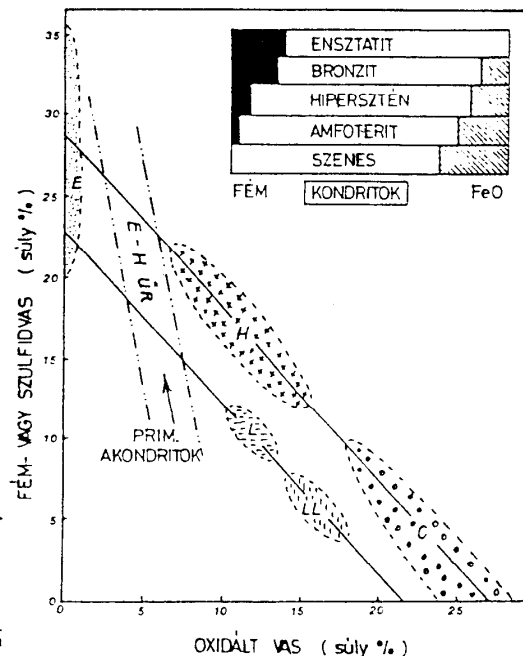
A kondrumok egy része jégkristályokkal keveredett. A Nap körüli térségben, a Jupiter távolságában, már a vízjég is kristályos szemcséket alkotott. A kondritos égitest, ha tartalmazott jégkristályokat, akkor fölmelegedése kezdetén először a vízjég hatására kezdett átalakulni. A vizes átalakulás fokozatosan elbontotta az éles kondrum peremeket, elmállasztotta a magas hőmérsékleten létrejött szilikátokat és olivinból meg piroxénból szerpentint és más, ipari kifejezéssel azbesztásványokat hozott létre. E vizes átalakulásnak legtovább egyes nagyméretű olivin kristályok tudtak ellenállni. Egyes vizes átalakulással elmállasztott, de később a fölmelegedéssel kiszáradt szenes kondritokban meg lehet figyelni ilyen szép alakú olivin kristályokat.



Az 1960-as években megindult Holdkutatós föllendítette a meteoritkát is. 1967-re összegződött a kondritos fejlődés vizsgálatának eredménye is. Van Schmus és Wood cikkében a kondritokat átalakulási sorozatba rendezte el. A kicsi égítést lassú fölmelegedésének hatására az égítést anyaga fokozatosan átrendeződik és ez az átrendeződés figyelhető meg a kondritok szövetén. A lassú átmelegedés szilárd fázisú diffúziót eredményez, ennek számos hatása van a szövetre: fokozatosan elhalványodnak a kondrumok, kémiai kiegyenlítődések történnek az ásványok összetételében, redox folyamatok változtatják a fémvas/oxidált vas arányt, a szövet fokozatosan átkristályosodik. Mindezek a lépések jól tanulmányozhatók a NIPR antarktisi meteoritgyűjtemény vékonycsiszolat készletén.



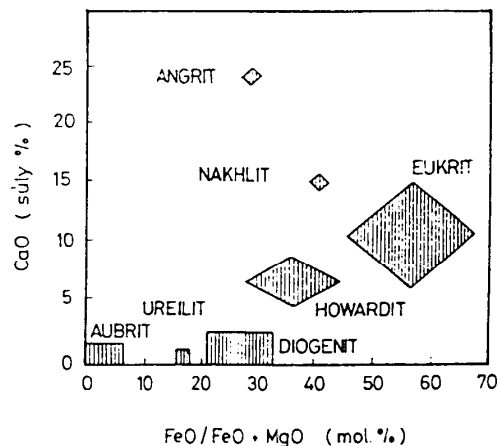
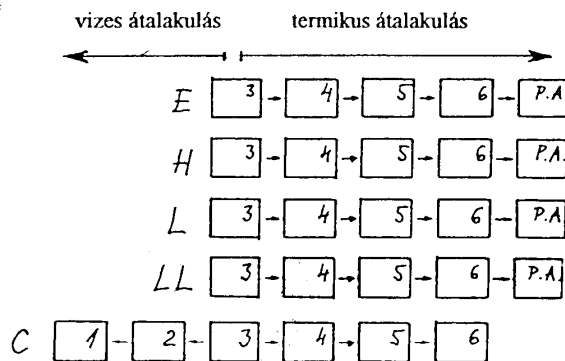
Mind az öt kondrit csoportban megfigyelhetők a fölmelegedés hatására lezajlott szöveti átalakulások. Ezért az ensztatit (E), bronzit (H), hipersztén (L), amfoterit (LL) és szenes (C) kondrit csoportok osztályára "merőlegesen" egy másik rendező elv is kialakult a kondritos meteoritek áttekintésére, fejlődésük történetének kiolvasására. Ez a kondritok kétparaméteres rendszere, a van Schmus-Wood táblázat, melynek petrológiai osztályai (ma petrológiai típusai) hőtörténeti fejlődési fokozatokat jelentenek.



A kondrumok szétbomlásáig, a szövet átkristályosodásáig eljutott kondritos anyag (primitív akondrit) differenciálódni kezd. A vas és a vasszulfid összetevők a kis égítést mélyebb rétegei felé (pallazitok, vasmeteoritok), a nátriumban és kalcium-ban gazdag összetevők bazaltos parciális olvadékai

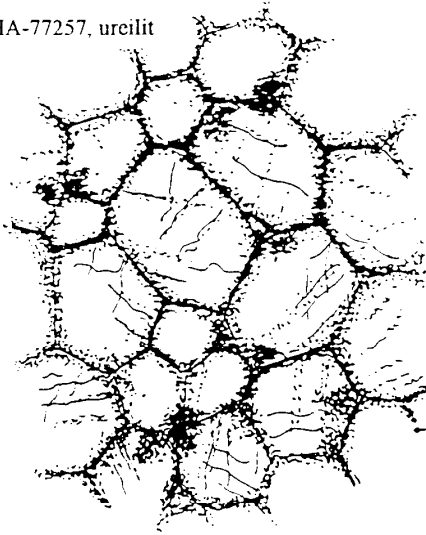
A kőmeteoritek ásványai leginkább a magmás kőzetek ásványaival rokoníthatók, s a kondritokéi pedig a földi köpenyt alkotó ásványokkal: olivinnel és alacsony Ca tartalmú piroxénnel. E két fő ásványi összetevő alapján készült a századelőn a Rose-Prior-, majd a kémiai összetételi mérésekkel kiegészített Urey-Craig és a Wiik-Mason osztályozás. Ezek alapján a 60-as években már öt nagy kondrit csoportot különítettek el: az ensztatit kondritokat (E), az olivin-bronzit (H), az olivin-hipersztén (L), az amfoterit (LL) és az olivin-pigeonit (C-III.) kondritokat valamint a szenes kondritokat (C), melyek később a zárójelben álló betű jeles rövidítést kapták. (Az ensztatit, a bronzit, a hipersztén és a pigeonit piroxénváltozatok, melyek különböző arányban tartalmaznak Mg és Fe komponenst, a pigeonit pedig az előbbieknél több Ca-t is tartalmaz.) A szenes kondritokat Wiik a C-I., C-II. és a C-III. szenes kondrit csoportokba sorolta, csökkenő illóelem tartalmuk alapján. A kondritok (egyes szenes kondritok kivételével) mindig tartalmaznak fémvas összetevőt, Fe-Ni ötvözetet és FeS szulfidot is.

a kis égítést felszine felé (bazaltos akondritok) migrálnak. A visszamaradó ásványtársulások a földi felsőkőpenyt alkotó peridotitokhoz hasonlóak (ureilitok, lodranitok).

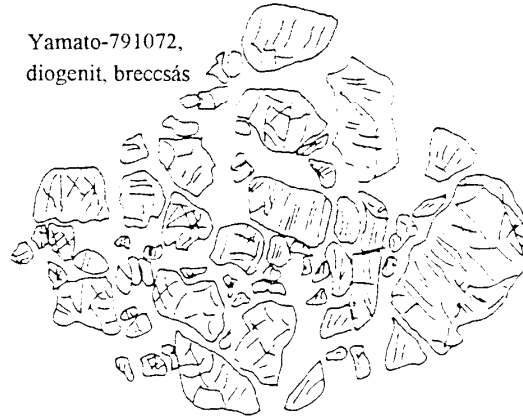


Az ureiliték különleges akondritok. Ősi bélyegeket és átalakulási meg átkristályosodási jegyeket is hordoznak szövetükben. Ősi bélyeg a nagy széntertalom (4 súlyszázaléknyi is lehet, a ez annyi, mint a C-I. szenes kondritoké) és az olivin-pigeonitos fő ásványi összetétel. A kondritokra jellemző vastartalom lecsökkent már bennük, tehát a vas és a szulfid összetevő többsége kifolyt már ebből a meteorit típusból. Eltávozott azonban egy alacsonyabb olvadáspontú és a bazaltokra jellemző összetételű komponens is belőlük. Ezért az ureiliték egy differenciálódott, eredetileg kondritos összetételű kis égitest köpeny-anyagának tekinthetők. Jellegzetes szövetükben a nagy olivin és piroxén ásványokat fekete perem határolja. Az ásványok közötti hézagokat szén, fémes vasníkkel és vasszulfid tölti ki. Olyan egy ureilités szövet, mintha ölomkeretes üveglakot látnánk szabálytalan poligonokkal kitöltve. A szén főleg grafit, amely kissé redukálta is az ásványok peremvidékét, s ennek hatására parányi vasszemcsék váltak ki az olivin és piroxén ásványok peremén. Ez a fémkiválási zóna szintén hozzájárul az ásványokat övező "ölmkeretes" peremekhez a szöveti képen.

ALHA-77257, ureilit



Yamato-791072,
diogenit, breccsás



A bazaltos akondrit elnevezéssel a kőmeteoritek köréből származó néhány magmás szövetű közettypust jelölnek. Egy fejlett és differenciálódott kis égitest kérgének a közetszilánkjai ezek. De tisztán magmás szöveze csak az eukrit-howardit-diogenit sorozat szélső tagjainak van, s persze ugyanezek előfordulnak breccsás szövettel is. (A Howardit, Eukrit Diogenit név betűszóvá olvasásával HED meteoritoknak is nevezik őket.)

Ásványtani szempontból ezek a közetek piroxénből és földpátból állnak. A diogenitek esetében a piroxén Mg-gazdag rombospiroxén. (szöveze újrakristályosodott szemcsés szövet). A másik szélső tag, az eukrit esetében ezek az ásványok pigeonit-plagioklász.

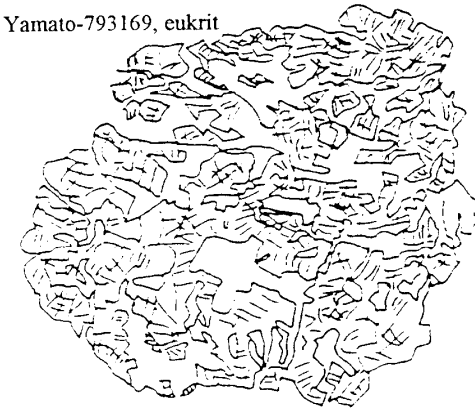
A howarditok átmeneti breccsás közettypust képeznek az eukritek és a diogenitek között.

primitív akondritos

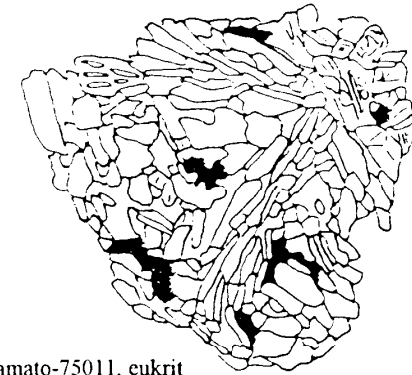


átkristályosodott szövet

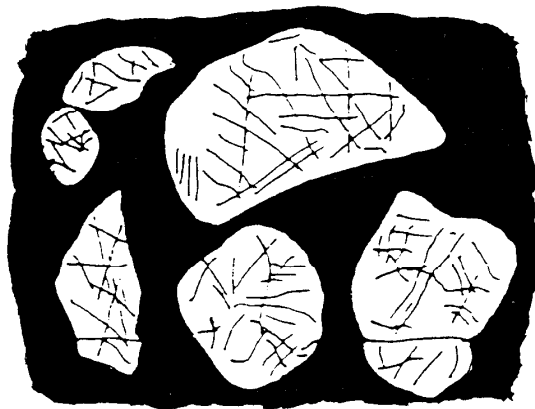
Yamato-793169, eukrit



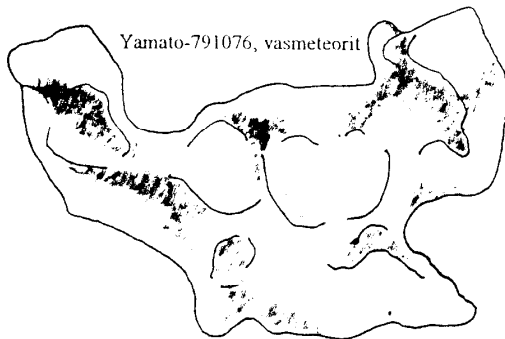
A diogenit-howardit-eukrit sorozat kémiai összetétel szempontjából sokmindenben hasonlít a földi komatiit-pikrit-modern kori tholeiites bazalt sorozatra. Például a sorozat közeteiben fokozatosan csökken a magnézium mennyisége míg a szilíciumdioxid tartalom fokozatosan növekszik. Ez arra is utalhat, hogy a kis égitesten fölygorsítva játszódott le egy olyan folyamat, amit a Földön is megfigyelhetünk. Kezdetben, a vékony kéreg esetén, nagy Mg-tartalmú lávák (komatiitok, vagy hozzá hasonló nagy Mg-tartalmú lávák) ömlenek a felszínre, majd a kéreg fokozatos vastagodása miatt az egyre kisebb Mg-tartalmúak érik már csak el a felszínre. (Bérczi, Holba, Lukács, 2000)



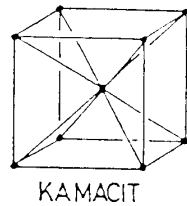
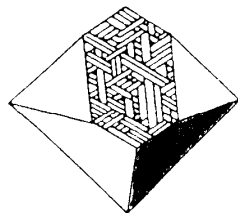
Yamato-75011, eukrit



A pallazitok olyan kő-vas meteoritok, melyekben több a fémes összetevő, mint a szilikátos. A vasnikkel fázis folytonos mátrixot alkot, melyben olivin (s néha piroxén) kristályok helyezkednek el. Vékonycsiszolatban a fémes fázis átlátszatlant (opak), s ezért a beágyazott, (fémrel körbevett) szilikátok jól megfigyelhetők. A szilikát ásványok lehetnek lekerekítettek, máskor pedig kristálylapokkal határoltak, vagy éles törésszerű pereműek. Metszetben az is megfigyelhető a fémes fázison, hogy kisebb nagyobb vasszulfid tartományok szintén be vannak ágyazva a fémes vasnikkel fázisba. Még olvadt állapotában ez a két fázis, a vasnikkel és a vasszulfid, egymással nem elegyedő (nem keveredő) olvadékot képez. A vasszulfid színe sárgásabb, a vasnikkel fázisé ezüstszerű. A fémes fázisok színelkülönbségét még inkább előhozza az étetésnek nevezett eljárás. Ennek során savval maratják meg a lecsiszolt fémes felületet.

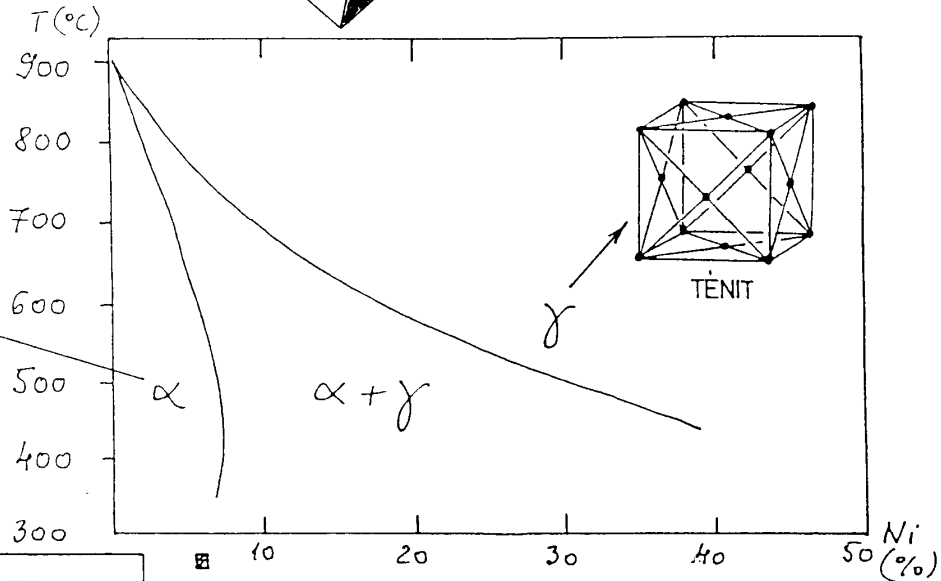
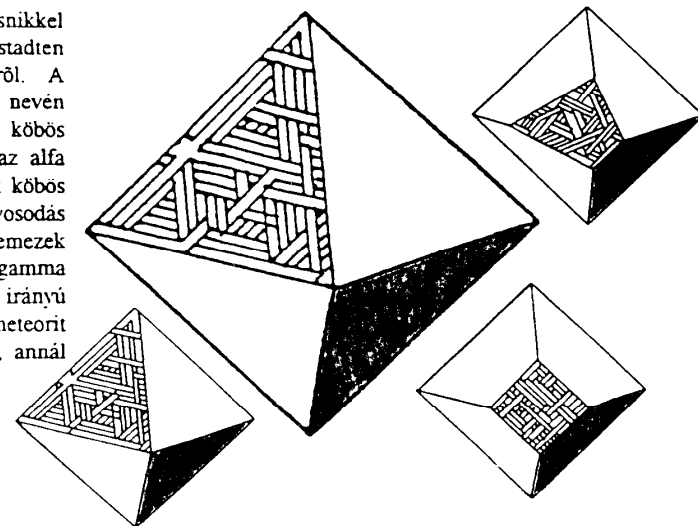


A láthatóvá vált fémes szövetszerkezetnek a vasnikkel fázis esetén külön nevet is adtak. Widmannstadten mintázatnak nevezik első leírójának nevére. A nikkeldús fázis a gamma vas, taenit, (kohászati nevén austenit), melynek kristályrácsát lapcentrált köbös elemi cellák alkotják. A nikkelszegény fázis az alfa vas, kamacit, melynek kristályrácsát tércentrált köbös elemi cellák alkotják. Lehűlés és lassú kristályosodás során oktaéder lapok szerint elrendeződő lemezek alakjában válik ki az alfa vas, peremén pedig a gamma vas, s ez a mintázat jelenik meg különböző irányú természetekben a levágott és lecsiszolt vasmeteorit felületeken. Minél nagyobb a nikkeltartalom, annál vékonyabbak az alfa vas rétegek.

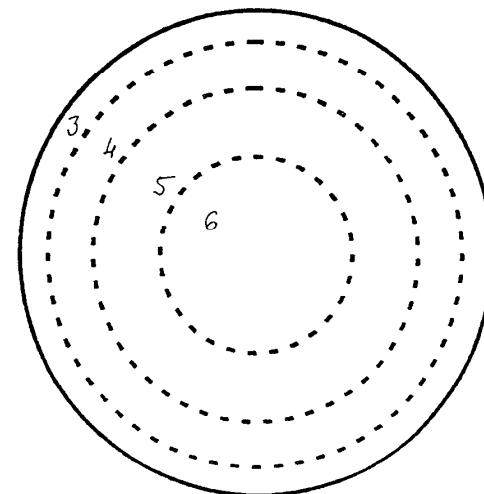
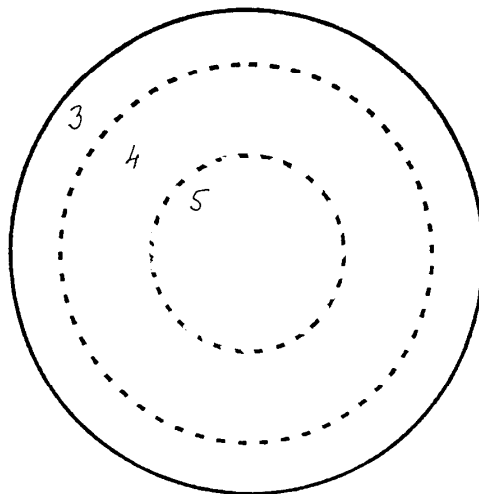
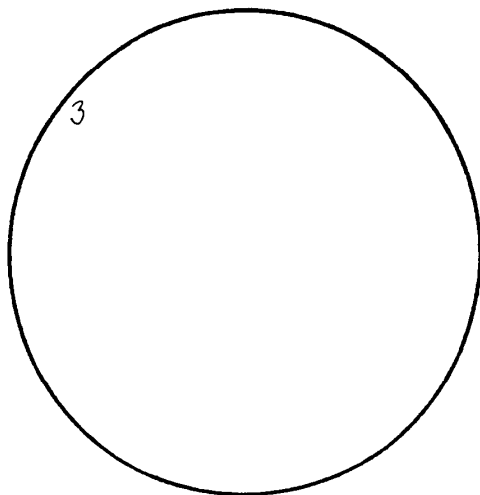


HEXAEDRIT	□
DURVA OKTAEDRIT	▨
KÖZEPES OKTAEDRIT	▩
FINOM OKTAEDRIT	▪
ATAXIT	▧

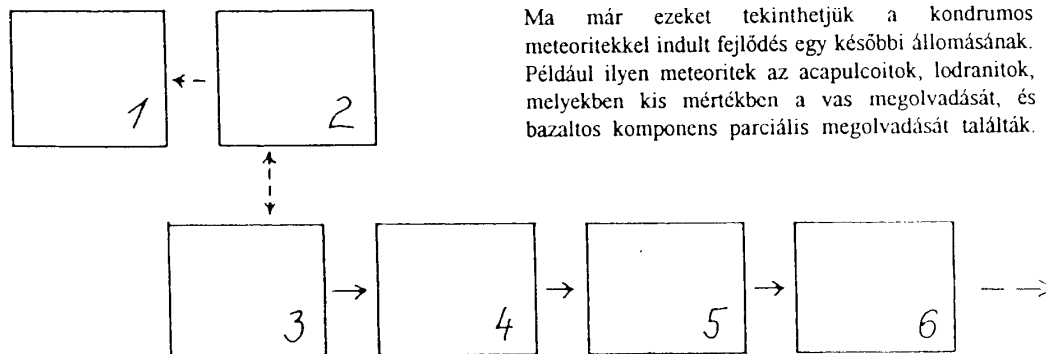
PALLAZIT



HEXAEDRIT	□
DURVA OKTAEDRIT	▨
KÖZEPES OKTAEDRIT	▩
FINOM OKTAEDRIT	▪
ATAXIT	▧
PALLAZIT	▧



A melegedés hatására történő átalakulást metamorfózisnak nevezik a közzetanban. Leglátványosabb hatása kétségtelenül a kondrumok szétfoslása difúzióval, azonban a további fölmelegedés már parciális olvadási folyamatokat is elindít. A van Schmus-Wood sorozatot az 1-től 6-ig terjedő számsorral adták meg, ahol az 1-es a legnagyobb illóanyag tartalmú kondrit és a 6-os a legátalakultabb. Az idők során egyre több olyan - viszonylag ritka - meteoritot is találtak és tanulmányoztak, amely ugyan még kondritos összetételű, de már teljesen elveszítette kondrumos szövetét. Ezeket primitív akondritoknak nevezték el.

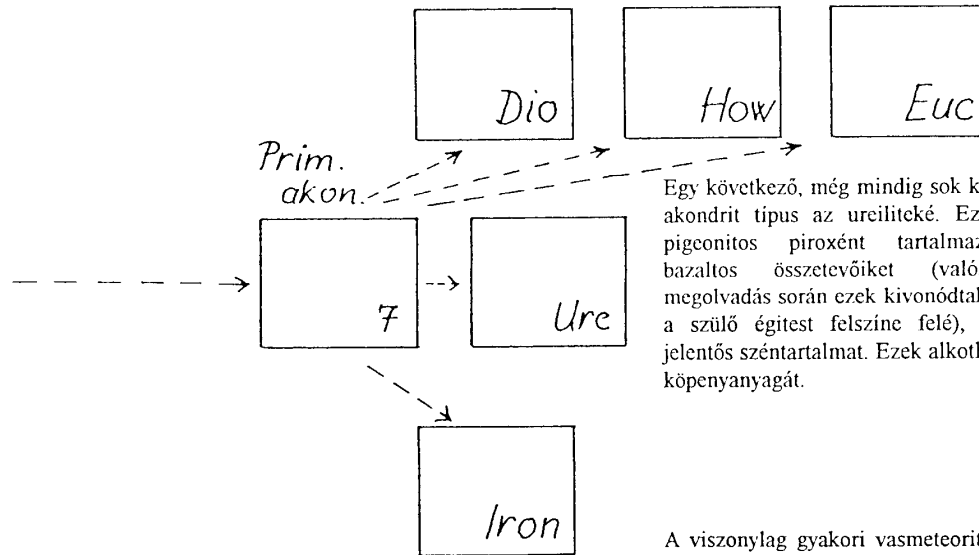
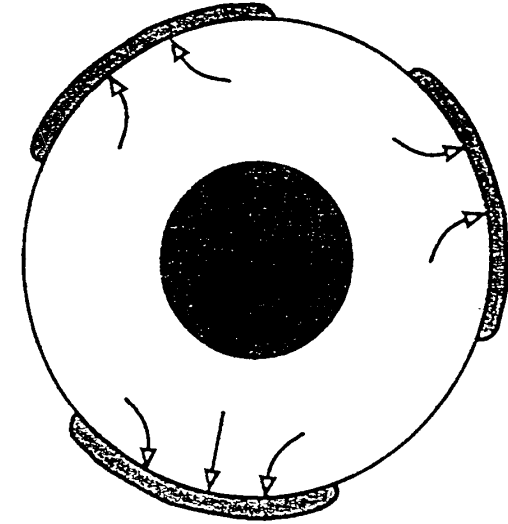
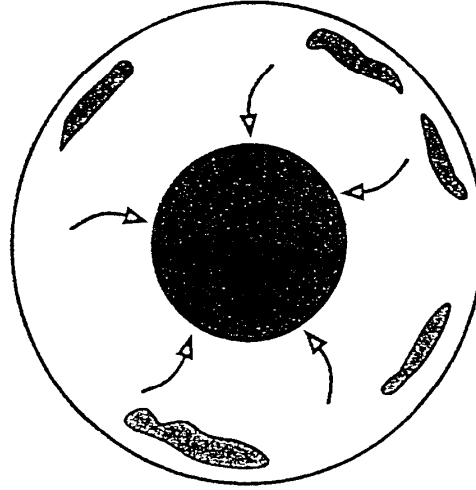
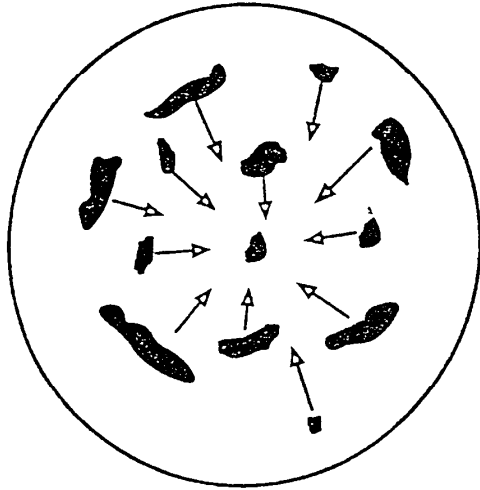


Ma már ezeket tekinthetjük a kondrumos meteoritekkel indult fejlődés egy későbbi állomásának. Például ilyen meteoritek az acapulcoitok, lodranitok, melyekben kis mértékben a vas megolvadását, és bazaltos komponens parciális megolvadását találták.

A kondritok és a különféle, kondritos eredetű differenciálódott meteoritek egy kis égítést fejlődéstörténetének egymás után következő időszakában alakultak ki. A kis égítestről időrendben megrajzolt metszeteken egy hosszú anyagátalakulási eseménysor láncszemeit alkotják e kőzetek, melyekből fölvezolhatjuk a kis égítést fokozatosan kialakuló réteges szerkezetét is.

Összegezve a kondritok forráségítstjeinek termikus fejlődéstörténetét a következő szakaszokat figyelhetjük meg a NIPR 30 vékonycsiszolatból álló mintagyűjteményének tanulmányozásával. 1) kezdeti kondritos állapotok, 2) fölmelegedés hatására a kondrumok körvonalának elhalványodása, szövet szerkezet átalakulása, 3) széndiffúzió

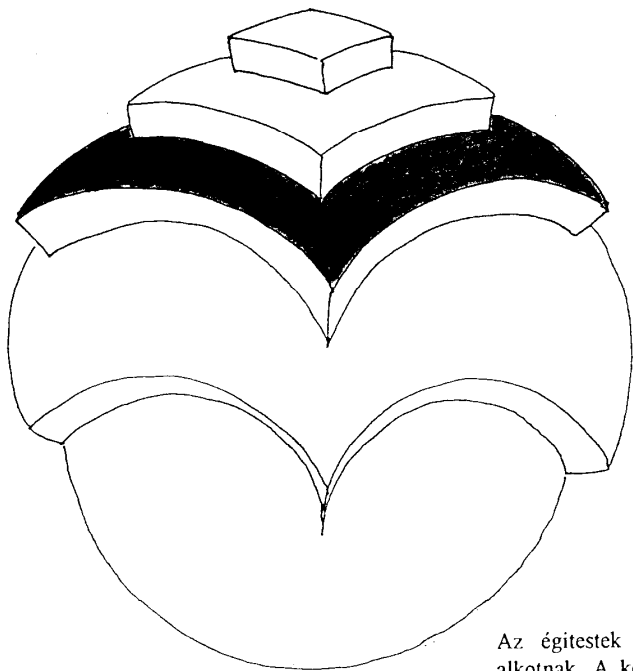
(ureilitben) és vasredukció (szemcseeloszlás változásban), 4) szilikátok szövetének átalakulása difúzióval, 5) primitív akondrit, 6) vasmegolvadási termékek (pallazit), 7) bazaltos akondritok, (diogenit, howardit, eukrit). Az antarktisi gyűjtemények holdi és marsi mintákat is tartalmaztak, tehát mód nyílt égítést felszínek közötti összehasonlításra is.



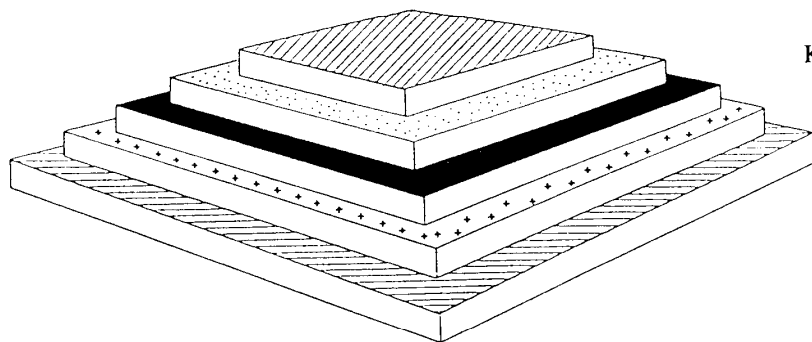
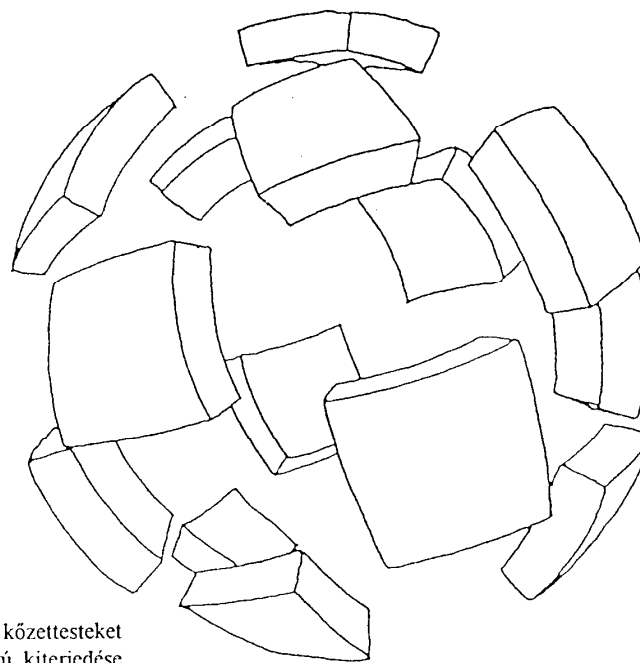
Egy következő, még mindig sok kondritos vonást őrző akondrit típus az ureilitéké. Ezek olivint és főleg pigeonitos piroxént tartalmaznak, elvesztették bazaltos összetevőiket (valószínűleg parciális megolvadás során ezek kivonódtak belőlük, eltávoztak a szülő égitest felszine felé), megőriztek viszont jelentős széntartalmat. Ezek alkotják a kis égitestek köpenyanyagát.




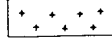
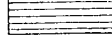
A viszonylag gyakori vasmeteoritek utaltak már arra korábban is, hogy a vas megolvadt és kifolyt az eredetileg kondritos kőzetből jó néhány kis égitesten.

Ugyancsak külön meteorit típusként számon tartottak bazaltos akondritokat is, melyek a bazaltot alkotó ásványokból (piroxén és földpát) állnak, s e két típus szépen beleillik abba a folyamatsorba, amit a kondritos égitest fejlődéstörténetének középső szakaszából le is lehet vezetni. A primitív akondritos összetételű égitestben a vas lefelé folyik ki és létrehozza a kis égitest magját, a kisebb sűrűségű bazaltos parciális olvadék pedig az égitest felszine felé távozik, létrehozva annak a kérgét. Jelenleg egy nagyobb kisbolygót ismerünk bazaltos szinképpű felszínnel és ez a Vesta kisbolygó. Van azonban számos kicsiny, kilométeres - 10 kilométeres méretű töredék égitest ilyen a kisbolygó övben. Ezek az átalakulási termékek is tanulmányozhatók a NIPR antarktisi meteoritgyűjteményének vékonycsiszolatain.

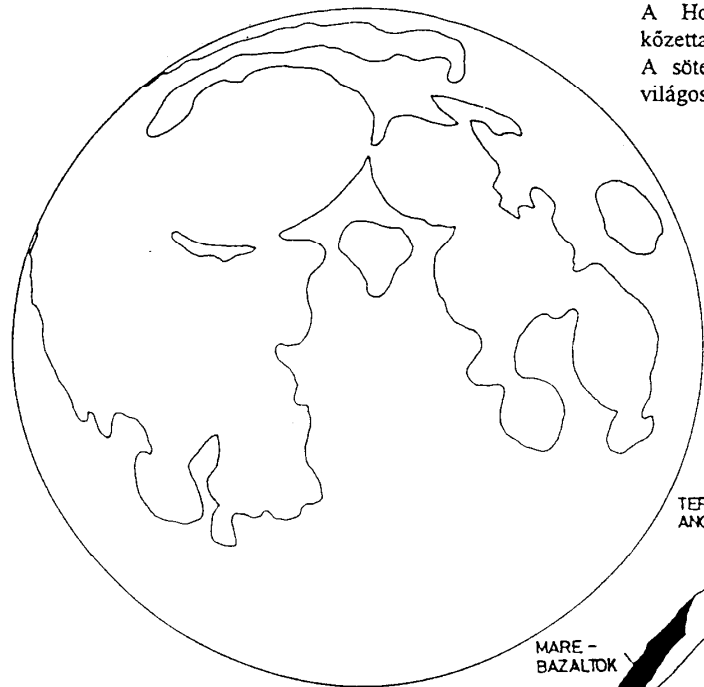


Az égitestek felszínén lévő kőzetek kőzettetteket alkotnak. A kőzettettek vízszintes irányú kiterjedése sokkal nagyobb, mint a mélységi.

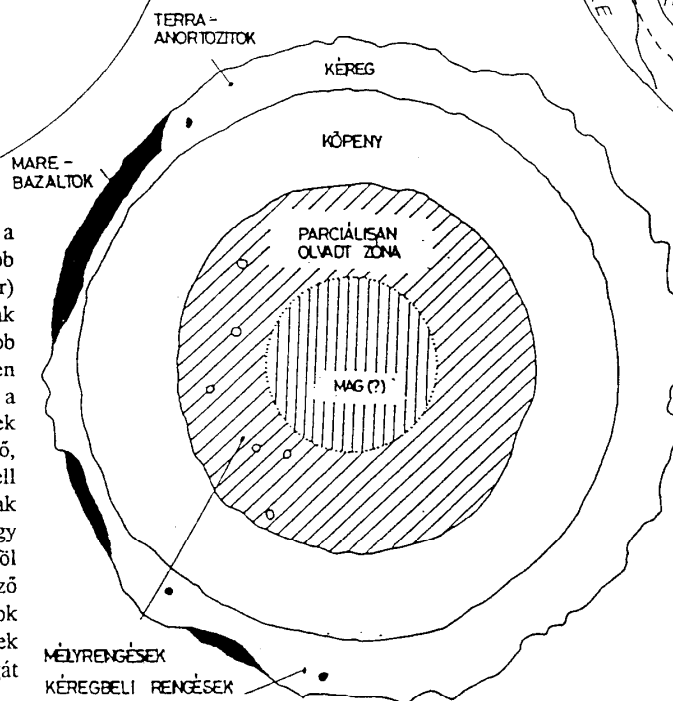
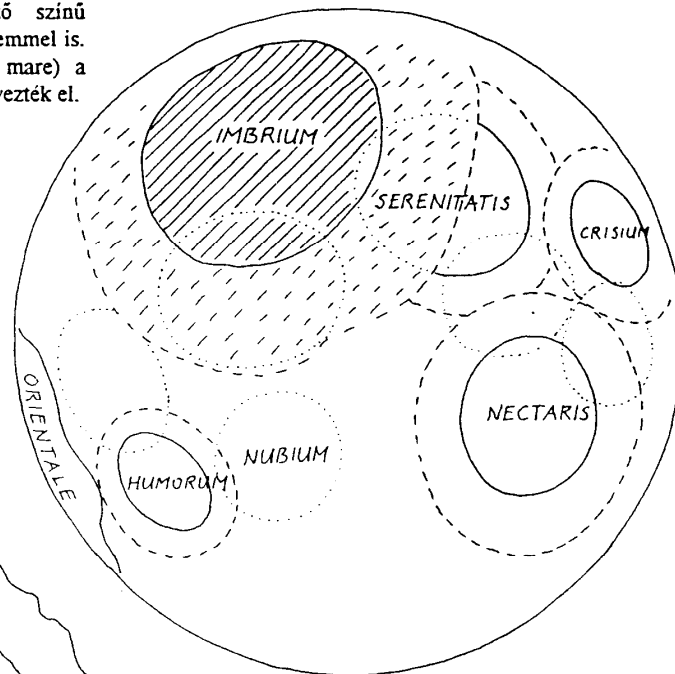


-  Kopernikuszi emelet és kor
-  Eratoszthenészi emelet és kor
-  Imbriumi emelet és kor
-  Nektári emelet és kor
-  Pre-Nektári emelet és kor

A szilárd kérgű bolygótestekről készült geológiai térképeken a kőzettettek a "főszereplők". Azokat a kőzettetteket ábrázolják, szép színes formában, amelyek a felszínre nyúlnak. Térképezik a felszínen megfigyelhető formákat is és arra törekszenek, hogy azokat még a felszín alá nyúlásukban is nyomon kövessék. A kőzettett rétegekből rétegtani (sztratigráfiai) egységeket, sorozatokat állítanak össze.

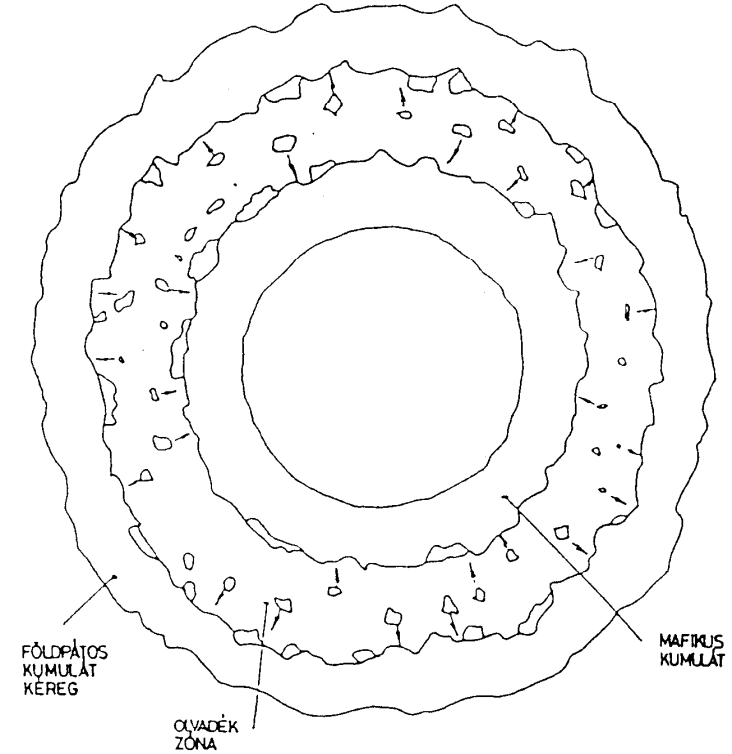
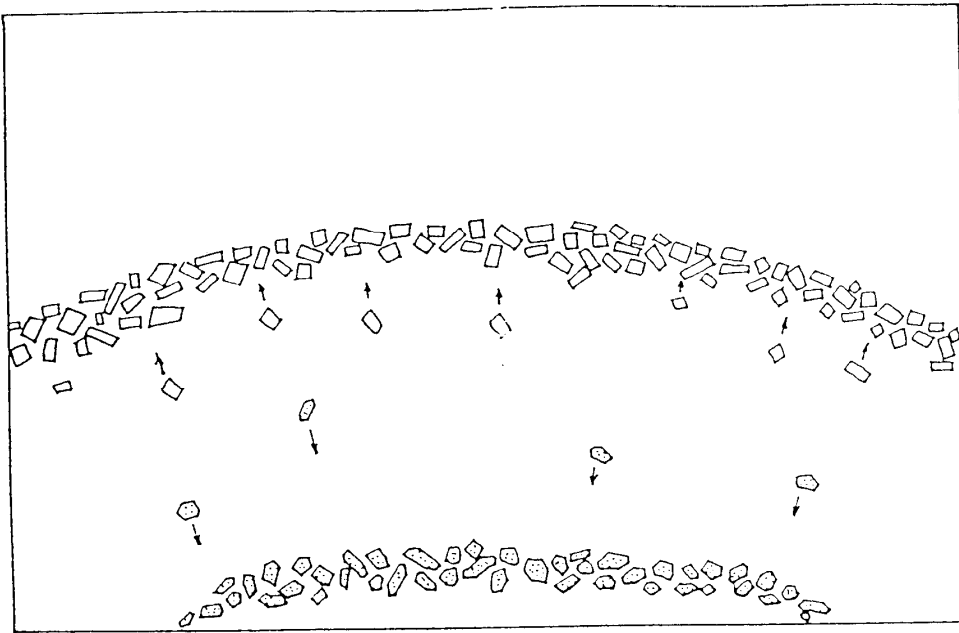


A Hold látható oldalán két különböző színű közetartomány különíthető el már szabad szemmel is. A sötétebb színűeket tengereknek (latinul mare) a világosabbakat felföldeknek (latinul terra) nevezték el.



A földi rétegtan alapelveit követve térképezték föl a Holdat is, először távcsöves felvételek, később űrszonda felvételek (Ranger, Lunar Orbiter) fölhasználásával. A legfiatalabb rétegek vannak legfölül, s az egyre idősebbek rendre lejjebb sorakoznak. (Steno 330 éve megjelent cikkében fogalmazta meg először ezt a rétegtani alaptörvényt, a települési törvényt.) A település sorrendjéről a rétegek átfedési viszonyai tudósítanak, de a távolabb eső, egymásra nem nyúló rétegeket is össze kell hasonlítani. Földi esetben a zárványok bezárásának elvét alkalmazva (a bezárt zárvány egykorú, vagy idősebb a bezáró közetnél) fossziliákat használtak föl erre. Holdi esetben a holdi közettesteket jellemző "zárványként" krátereket használnak föl, azok statisztikáját vizsgálják meg ahhoz, hogy a rétegek egykorúságát és oldalirányú folytonosságát bizonyítsák.

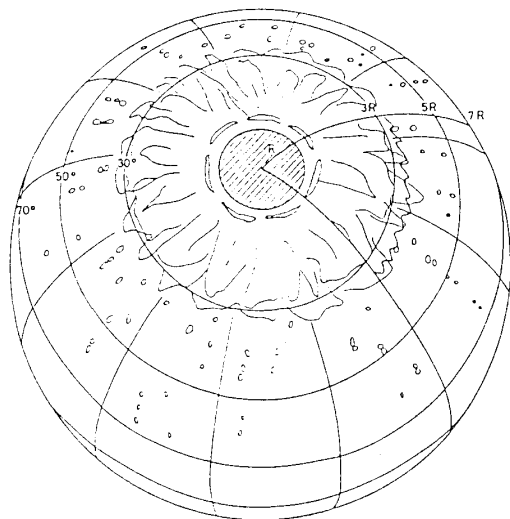
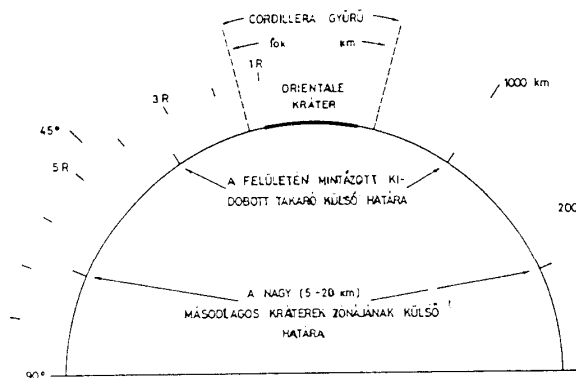
A holdon a sugársávú kráterek a legfiatalabbak (Kopernikuszi emelet), ezeket követik lejjebb a még mindig fiatalosan tagolt morfológiájú, de már sugársáv nélküli kráterek (Eratoszthenészi emelet). Mindkét fiatalabb emelet rétegei többnyire csak kráternyi foltokban vannak jelen a Hold felszínén, bár előfordulnak Eratoszthenészi marék is (és a Tycho vagy a Kopernikusz kráter sávjai is messzire nyúlnak, különösen telihold idején láthatjuk ezt). A foltnyi rétegtani egységek alatt nagy kiterjedésű közettesteket alkotó két emelet következik. Az egyik az Imbriumi, mely az Imbrium medencéhez kapcsolódott a definiáláskor kijelölt területen (Imbriumi emelet). A másik, a még idősebb egység a Nektár medencéhez kapcsolódik (Nektári emelet). Legalul fekszik a krátermezőkkel borított terravidékek (pre-Nektári) emelete.



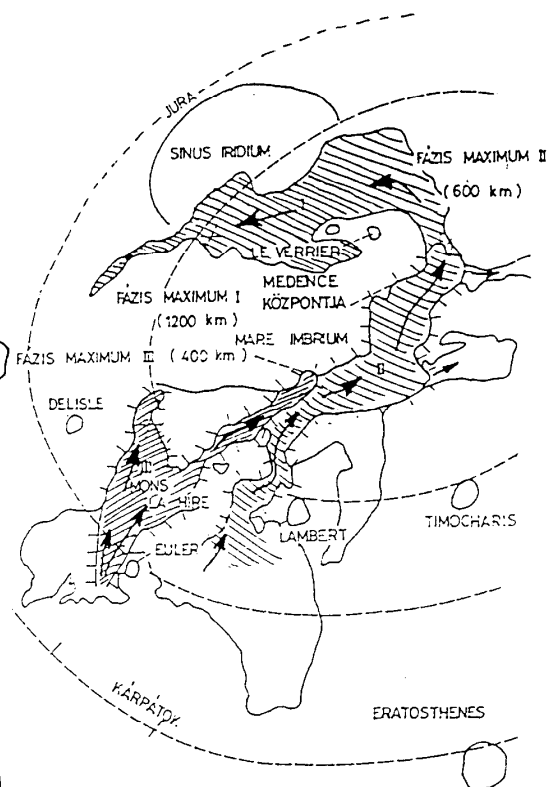
Ez a relatív rétegtani egységsor és a hozzá kapcsolódó kronológiai sor az, amit azután "az órákhoz igazított" az Apolló expedíciókon gyűjtött holdkőzeteken elvégzett abszolút kormeghatározás. Míg a gyakoribb földi kőzetek kora néhány 100 millió év, (ezeket tanulmányaink során a bennük lévő fossziliákkal is, és abszolút korokkal is megismerhetjük: ez a ca. 600 millió éves paleo-, mezo- és kaino-zoikum emelet-sorozat), addig a holdi korokhoz milliárd éveket emlegetünk. Leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy minden ott a Holdon tízszer olyan idős, mint a párja a Földön. (Ez a "párja" leginkább a bazaltokra vonatkozhat csak.) Mindez persze túlzott egyszerűsítés, mert a Földön is előfordulnak 2.7 - 3.8 milliárd éves kőzetek (pl. Kapvaal, Pilbara, Yilgarn

kratonok), mégis, ezek ritkák. Míg a földi óceáni bazaltok többségükben néhány 100 millió évesek, a holdi bazaltok tízszer ilyen idős, koruk 3,2 és 3,8 milliárd év között változik. A holdi terrák anortozitja még idősebb, 4,2 - 4.4 milliárd éves. A breccsák a legfiatalabbak, s előfordult közöttük néhány 100 millió éves is. Ez a radioaktív kormeghatározás az, amit távolból nem, csak begyűjtött anyagmintákon lehet elvégezni. Azokkal a kőzetmintákkal, amelyeket a térképezésből már ismert geológiai környezetből gyűjtöttek, rekonstruálni lehetett a Hold fejlődéstörténetét is. A holdi terrák anortozitjai és a bennük mért ritka földfémek eloszlása különös és fontos eseménysort bizonyított. Egykor a Hold külső rétegei megolvadtak s

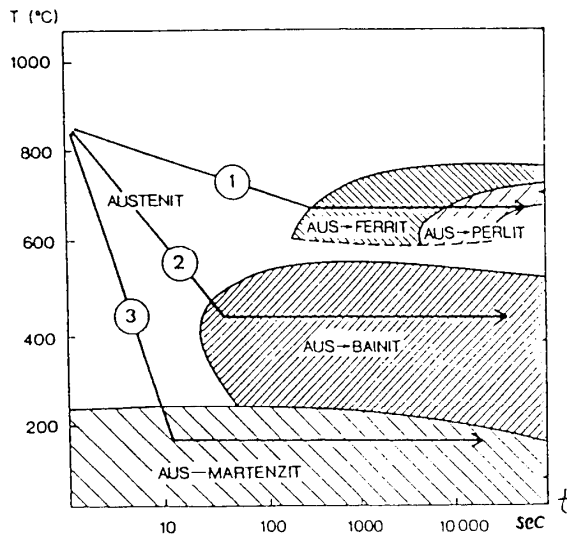
4,4 milliárd évvel ezelőtt az egész égitestre kiterjedő magmaóceán borította a Holdat. A magmaóceán lehűlése során a plagioklász földpát ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) az olvadékszóna tetején gyűlt össze, s létrehozta a világos színű felföldek anortozitját. A nagyobb sűrűségű ásványok az olvadékszóna aljára süllyedtek. Ez a differenciálódás hosszú ideig tartott. A vastagodó holdi kéregre történtek a nagy körkörös medencéket létrehozó becsapódások, melyek feltördelték a holdi kérget. A töréseken át bazaltos láva szivárgott a felszínre és egy - másfél milliárd éven át működő vulkáni tevékenységgel feltöltötte a Hold látható oldali medencéit. A bazaltok a hold köpenyéből származnak. Némelyik közülük titánban igen gazdag, mint például az Apolló 11 és 17 leszállási helyéről gyűjtöttek.



A Hold kérgét a keletkezése utáni fél milliárd évben több nagyméretű égitest becsapódása érte. Ezek a becsapódások feltördelték az anortozitos kérget, körkörös medencéket hoztak létre és hatalmas területekre terítették szét a kidobott törmelékanyagot. A hold kérgét alkotó anortozitos kőzetek ezért többségükben breccsás szövetszerűek. Az Apollo űrhajósok által hozott anortozit mintákban megfigyelhetjük az összetördelt ásványokat, a breccsás szövetszerkezetet.



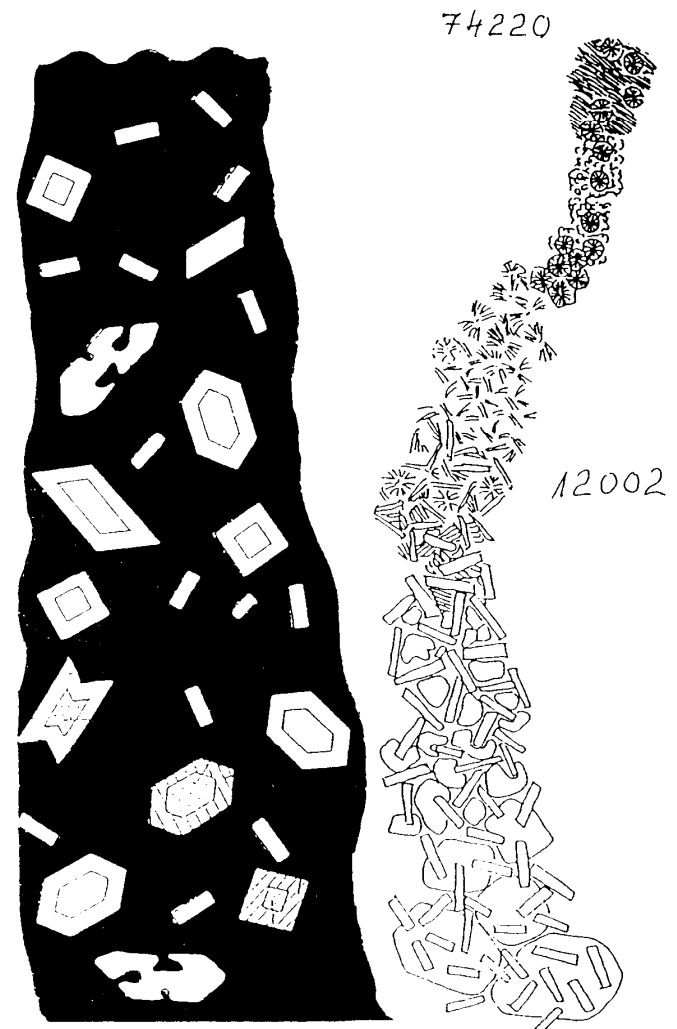
A nagy becsapódások medencéit a Hold látható oldalán bazaltláva folyások töltötték föl. A holdi vulkanizmus hosszú ideig eltartott, s a higan folyó láva hatalmas távolságokon, vékony rétegekben terült szét. A holdi bazaltok kora csaknem egy milliárd évet fog át az Imbriumi korban, de kráterszámlálások alapján tudjuk, hogy léteznek olyan lávafolyások is, melyek az Eratoszthenészi korban keletkeztek. Ilyenek az Imbrium medencében föltérképezett lávafolyások is.



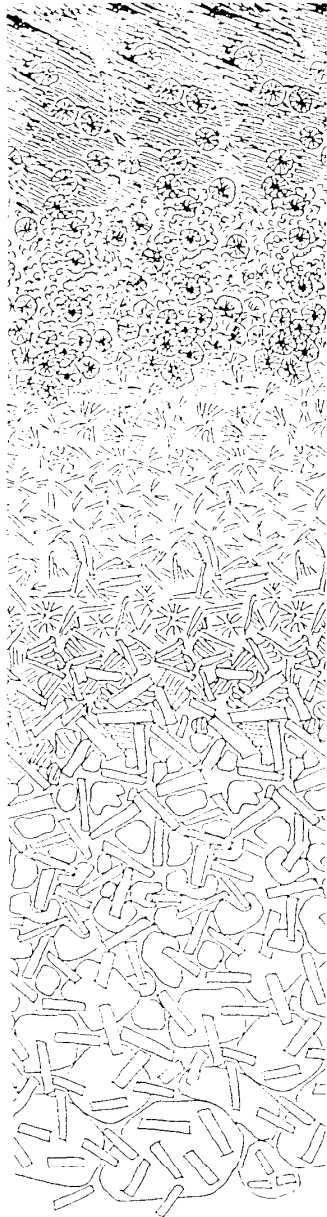
A holdkőzetek tanulmányozása sokféle tanulsággal szolgálhat. Ha például anyagszerkezeti és átalakulási sorozatokba illesztve tanulmányozzuk őket, olyan ismereteket szerezhetünk, amiket az ipari anyagok előállításánál is hasznosítani tudunk. Ezáltal a különféle hétköznapi anyagok viselkedéséből a közös vonásokat és vizsgálatuk módszereit teszi ismertté a holdi anyagok szerkezetvizsgálata.

Az anyagszerkezetek kutatói már régóta vizsgálják, hogy változó környezetben, különféle erők és igénybevételek hatására hogyan viselkednek az anyagok. A külső hatások átalakítják az anyagokat, s föl lehet térképezni azokat a szerkezeti változásokat, melyek e hatásokra bekövetkeznek. Ha párhuzamosan bemutatjuk a behatásokat és a az átalakulásokat is, összefoglaló néven anyagterképeket készítünk. A leggyakrabban használt anyagterképek az összetétel változásának függvényében mutatják be a tulajdonságok változását. A NASA holdkőzetek oktatási felhasználásának egyik területe az, ha segítségükkel bemutatunk néhány egyszerű anyagterképet.

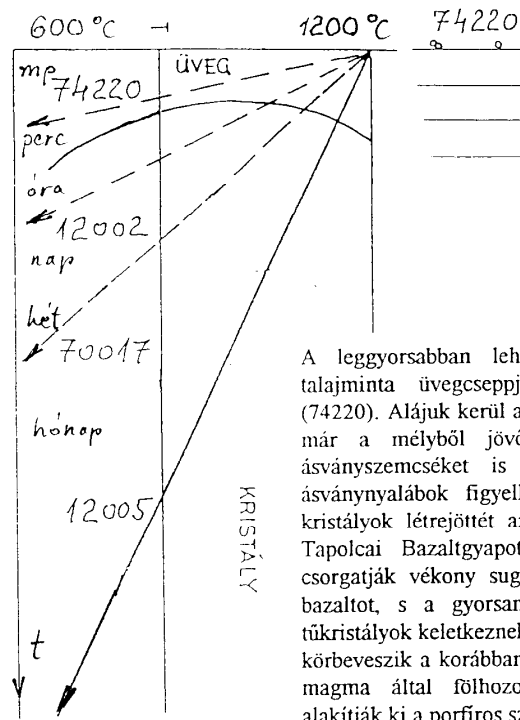
A lehülési sebesség figyelembe vételével anyagterképet állítunk most össze a NASA holdkőzet készlet bazaltmintáiból. A lehülési sebesség szerinti anyagterképeket TTT diagramoknak is nevezik. Elnevezésük a Temperatúra (hőmérséklet), Transzformáció (átalakulás) és Tempus (idő) szavakból képzett betűszó. A függőleges tengelyen a hőmérsékletet, a vízszintes tengelyen az időt mérjük, így a bal felső, magas hőmérsékletű állapotból a jobbra lefelé haladó egyenesek meredeksége mutatja a lehülés ütemét. A csaknem függőleges, meredeken lefutó egyenesek gyors lehülést, a "lankásabb" meredekségű egyenesek egyre lassuló lehülést jeleznek, de ábrázolhatók a változó sebességű lehülések is. Voltaképpen ebben mutatkozik meg az anyagterképek igazi szerepe, amit az iparban játszanak, mert fölöttébb alkalmas technológiák gyors bemutatására. A középkorban az acélszablya gyors lehűtését, edzését mesterversekben is megőriztették. A lehűtés sebességének előírt menetét ma már anyagterképeken ábrázolják. Azokat a szövettípusokat, tartományokat tüntetik föl rajtuk, amelyekbe a különféle lehűtési görbék "belevisznek". Az acéliparban ezeket a tartományi határokat jellegzetes alakjuk okán c-görbéknek nevezték. Különböző lehűtési sebességekkel különféle tulajdonságú acélokat lehet előállítani; a csaknem függőleges meredekségű lehűtéssel még fémüveget is. Gyorsan pörgő hengerre löve rá a fémolvadékot, a fémugár a hideg felületen - kristályos szerkezet kialakulása nélkül - szalaggá dermed. Innen a neve is: fémüveg. Ezekből a példákban az is látható, milyen sokoldalúan használhatók föl a holdkőzetek szöveteiből rekonstruált anyagterképek. Más anyagfélésekre, pl. fémekre alkalmazva őket fontos ipari gyártási folyamatokat ismerhetünk meg. A lehülési sebességet egyenletesen lassúnak véve, és a kiindulási olvadék-összetételt változtatva, másféle anyagterképekhez is eljuthatunk.



A holdi bazaltminták 5-10 méter vastagságú lávafolyásokból származnak. A lávareteg a tetején gyorsan hűlt le, ott a kőzetek szövete másféle, mint a lávareteg alján. A NASA holdkőzet készletének bazaltmintáit szöveteik szerint sorbarendezzük.

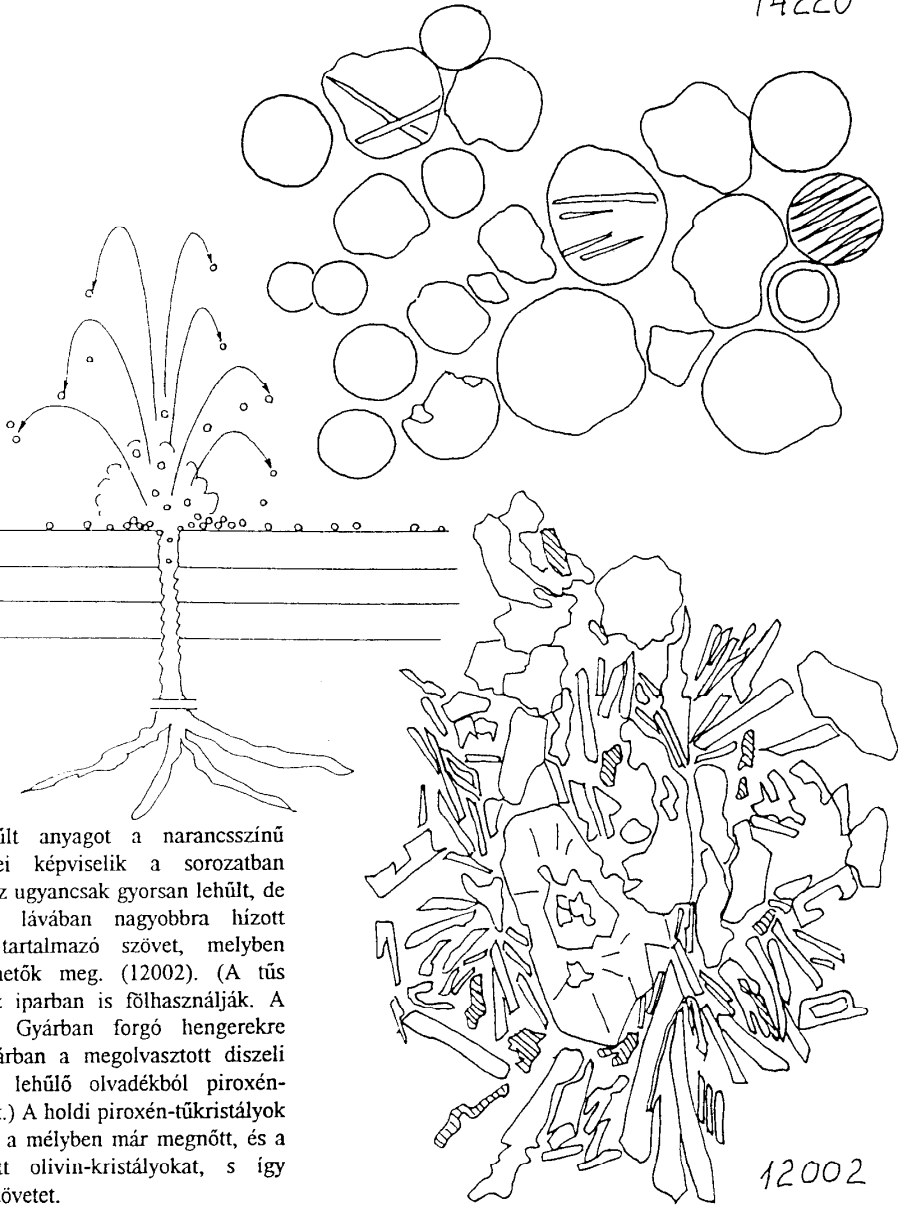


Rendezzük el a holdkőzet-készlet négy bazaltos összetételű mintáját egy olyan tulajdonság alapján, ami jól megfigyelhető a szöveteükön, éspedig az ásvány szemcsék mérete alapján. Tudjuk, hogy a lehülés körülményei erősen hatnak a szemcseméretre. A gyorsan lehülő szilikátolvadékból apró kristályok válnak ki, míg a hosszú ideig (pl. nagy mélységben) kristályosodó kőzetek durva szemcsés szöveteük lesznek. Ha tehát az átlagos szemcseméret, illetve a szemcsék egymáshoz való viszonya alapján készítünk el egy sorozatot a holdi bazaltokból, akkor voltaképpen a lehülési sebesség szerinti anyagterképet is fölvezültük. (A mi anyagterképiünkön így a függőleges tengelyen szerepel a lehülési sebesség, a különféle szövetek pedig egymás alá kerülnek: felül az apró szemcsés felszín-közeli, s lefelé haladva az egyre durvább szemcséjű mélységi szövetekkel.)



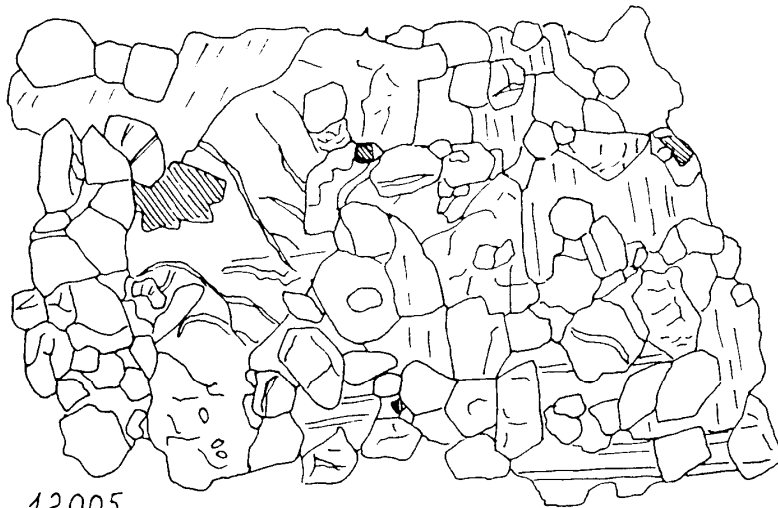
A leggyorsabban lehült anyagot a narancsszínű talajminta üvegcséppjei képviselik a sorozatban (74220). Alájuk kerül az ugyancsak gyorsan lehült, de már a mélyből jövő lavában nagyobbra hízott ásvány szemcséket is tartalmazó szövet, melyben ásványnyalábok figyelhetők meg. (12002). (A tús kristályok létrejöttét az iparban is fölhasználják. A Tapolcai Bazaltgyapot Gyárban forgó hengerekre csorgatják vékony sugárban a megolvasztott diszeli bazaltot, s a gyorsan lehülő olvadékból piroxén-tűkristályok keletkeznek.) A holdi piroxén-tűkristályok körbeveszik a korábban a mélyben már megnőtt, és a magma által fölhozott olivin-kristályokat, s így alakítják ki a porfíros szövetet.

74220



12002

70017



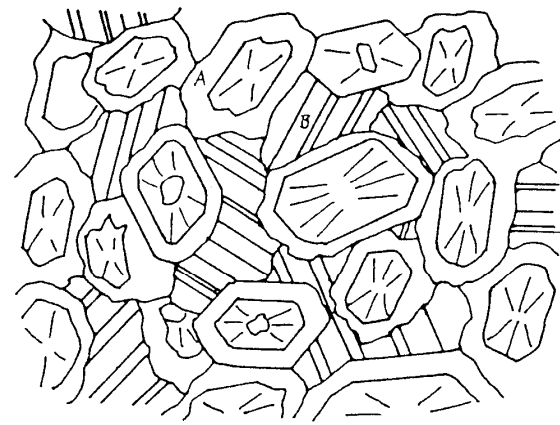
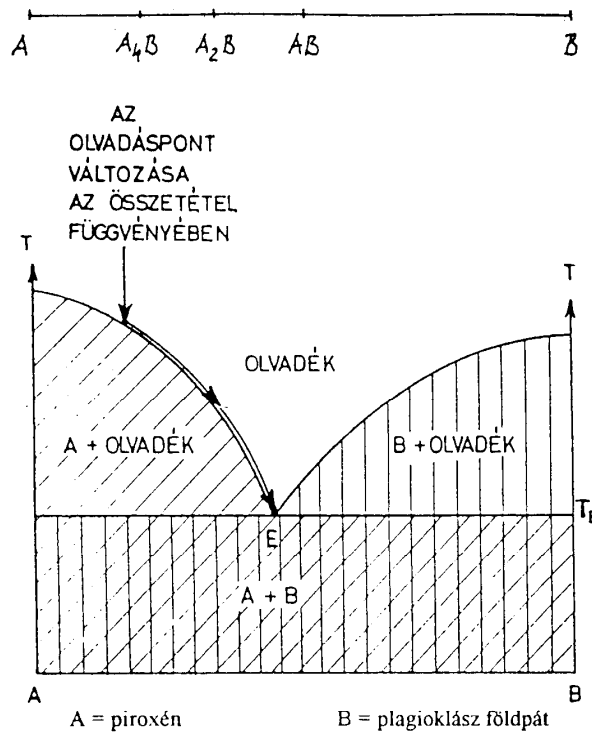
12005

szferulitos
szövetűvariolitos
szövetűinterszertális
szövetűintergranuláris
szövetűszubofitos
szövetűofitos
szövetűpoikilites
szövetű

A szövetek sorában *harmadik* bazaltminta már nagyobb ásványokat is bőven tartalmaz (70017). Ez a minta a mi szarvaskői (Délnyugat-bükki) gabbrónknak is rokona nagy titántartalma alapján. A fekete, átlátszatlan (opak) ilmenit kristályok sötétre szinezik a vékonycsiszolatot. (Néha előfordul a mintában armalcolit is, amit a Holdon fedeztek föl.) A piroxének saját színe a halvány rózsaszín barackvirághoz hasonló. A lehülési sorban *negyedik* egy poikilites szövetűnek nevezett minta (12005). Ebben - a lehülésnek immár egy késői szakaszában -, nagy szemcsébe ágyazottan láthatók a korábban kivált kicsiny szemcsék. A korán kiváló kristályszemcséket még olvadék vette körül, ezért szép, saját alakkal kristályosodtak.

A vékony lávafolyás felszínétől lefelé haladva más és más jellegű szöveteket találunk. A lava a mélység növekedésével egyre lassabban hűlt le, s a szövetek így a lehülési sebesség szerint az üveges elegyrészeket is tartalmazó szferulitos szövetből elindulva rendre a következő típusokat tartalmazzák: variolitos szövet, interszertális szövet, intergranuláris szövet, szubofitos szövet, ofitos szövet. A holdi bazaltok között a legtöbb típusra van példa, néha azonban csak úgy, hogy töredékként jelennek meg a breccsákban. A 12002 számú minta porfiros szövege úgy alakult ki, hogy a kristályosodás már a mélyben megkezdődött, s a kiömlő lava már tartalmazta az olvadékból elsőként kikristályosuló ásványokat, az olivineket. Ezeket aztán körbevették a szülső piroxének és a földpátok. A 12005 számú bazalt minta szövetében viszont a nagy méretű földpátok és piroxének kristályosodtak utoljára, s ezért bezárják a szép, sajátalakú olivineket és néhány ilmenit és spinell szemcsét. (Az ilmenitek fontos elegyrészei a 70017 számú bazaltnak is). A spinell szemcsék többnyire négyzetes vagy hatszögletes metszetű fekete (opak) ásványként figyelhetők meg, az ilmenitek gyakran vázkristályosak, beömlőseket mutatnak a vékonycsiszolatban. Igen ritkán megfigyelhetünk armalcolit ásványokat is, melyek hosszúkas hordó alakúak. Az armalcolitot a Holdon fedezték föl és az elsőként leszállt űrhajósokról (Armstrong, Aldrin, Collins) nevezték el.

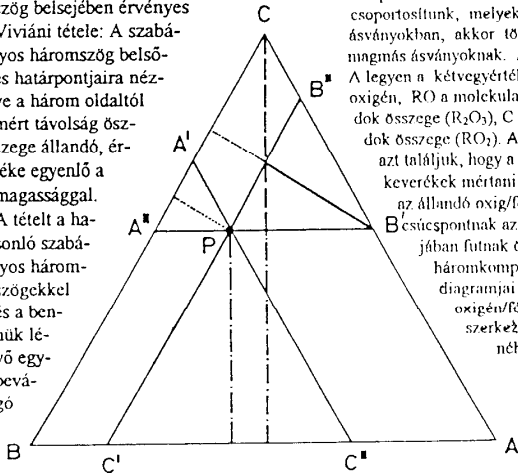
Két komponensű keverékek összetételét egy egyenes szakasz belső- és határpontjaival adhatjuk meg. Az az összeg, amit egy belső pontnak a szakasz végpontjaitól mért távolságából illesztünk össze, mindig a szakasz hosszát, azaz a teljes anyagmennyiséget fejezi ki. A belső pont tehát egy aránypont. Legyen a szakasz hossza 10 cm. A szakasz végpontjaira tett A és B anyagok mennyiségének arányát a következőképpen láthatjuk. Az A végpontban 100 %-nyi A anyagunk van, s ugyanígy a B végpontban 100 %-nyi B anyagunk. A szakasz felezőpontján 50-50 %-nyi van a két anyagból. A szakaszon két db harmadoló pont van. Úgy szeretnénk ábrázolni egy A és B anyagból álló keverékben az anyagmennyiségek arányát, hogy a futó pont azt is mutassa meg, milyen közel jár a keverék összetétele a benne nagyobb mennyiségben lévő összetevőhöz (a szakasznak ezt az összetevőt ábrázoló végpontjához). Például az A végponthoz közelebb eső harmadoló ponton olyan keveréket ábrázolunk, melyben több az A anyag, mint a B. Ezért az A anyag mennyiségét a szakasz B végpontjától kell mérnünk, s ugyanígy, a B mennyiség nagyságát a szakasz A végpontjától. Ezen a harmadoló ponton kétszer annyi A van a keverékben, mint B. Ezt így is írhatjuk: A_2B . Újabb példánkban legyen most egy keverékben 80 %-nyi A anyagmennyiség. Akkor, értelemszerűen, a keverékben lévő B mennyiség 20 %-ot tesz ki. A keveréket a szakaszon jelölő pont 2 cm-re van az A végponttól (közel esik hozzá), míg a szakasznak a B végpontjától 8 cm-re van (távol van tőle). Az összetételben 20 %-nyit kitevő B mennyiséget fejezi ki az A ponttól mért 2 cm-es távolság, az A mennyiséget fejezi ki a B ponttól mért 8 cm-es távolság. A szakaszon az ilyen 80 % A és 20 % B mennyiségéből alkotott keveréket az A végponthoz való közelsége is jellemzi, láthatóvá teszi. Ezt a vegyületet (keveréket) így is írhatjuk: A_4B , ami azt jelenti, hogy a keveréket négyszer annyi A mennyiség alkotja, mint B. Azért fontos a koordináták bevezetésénél bemutatni a futó pont tulajdonságait, mert csak így értjük meg az ismert összetételi arány és az ábrázolás közötti kapcsolatot. Így értjük meg, hogy az ábrázolás hogyan segíti a különféle keverékek közötti kapcsolatokat szemmel is látható bemutatását és föltérképezését.



A két anyag keverékeit ábrázoló szakasz egyik tengelye lesz anyagterképeinknek. E szakaszra merőlegesen, a függőleges tengelyen ábrázoljuk most a hőmérsékletet. A hőmérsékleti "irány" lehetővé teszi, hogy a szakaszon ábrázolt keverékek kristályosodása során bekövetkező átalakulásokat ábrázoljuk. Az összetételek és hőmérsékleti tartományok metszeteihez írjuk be most az anyagokat adott hőmérsékleteken jellemző halmazállapotokat. Ha átalakulás történik az anyagokban, akkor a fázisok határait is jelöljük be. Ílymódon jutunk a kétösszetevős anyagi rendszerek fázisdiagramjaihoz. Ezek segítségével például már a legegyszerűbb bazaltok olvadékból történő kristályosodását is bemutathatjuk. Ekkor a rendszer (az olvadék) piroxénből és földpátból áll. A kiindulási olvadék összetételénél húzott függőleges pálya mutatja az olvadék lehűlését. A piroxének kristályosodását jelző fázishatárra érve piroxén kristályok kezdenek el kiválni az olvadékból. Ahogy egyre több piroxén kristály válik ki az olvadékból, az olvadék összetétele megváltozik. Az olvadék összetételének megváltozását az olvadék pályájának megrajzolásával ábrázolhatjuk. Az olvadék összetétele az olvadék - piroxén fázishatáron mozog. Az eutektikus pontba érve az egész olvadék rendszer kikristályosodik. A korai kiválás piroxénkristályok szép sajátalakú ásványszemcsék formájában megtalálhatók a bazalt szövetében. A később kikristályosuló földpátkristályok már csak a piroxének közötti részeket foglalhatják el, ezért nem lesznek sajátalakúak.

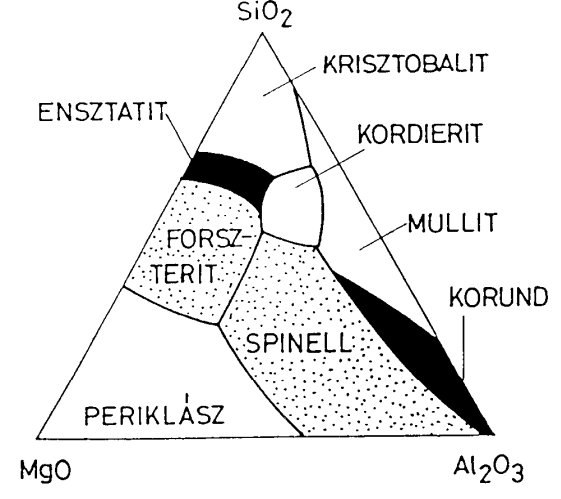
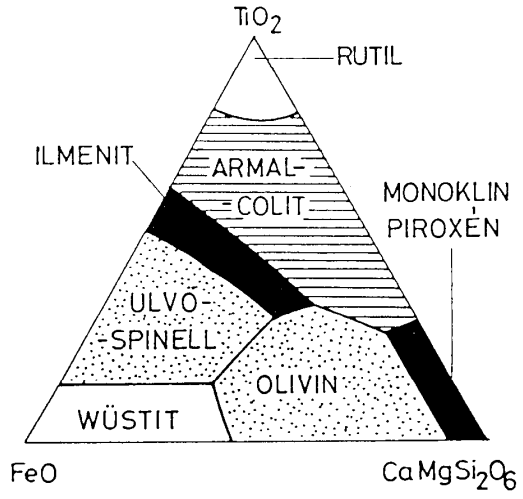
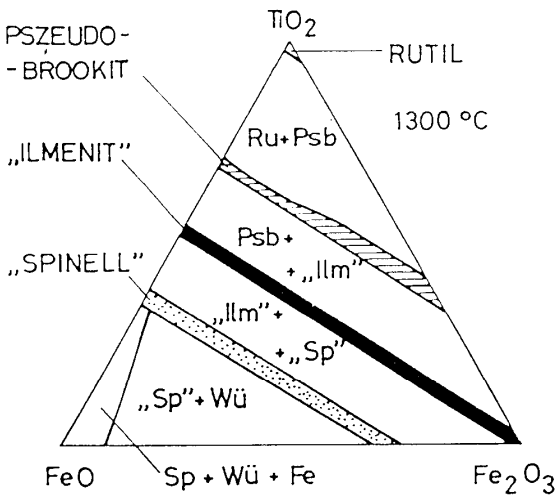
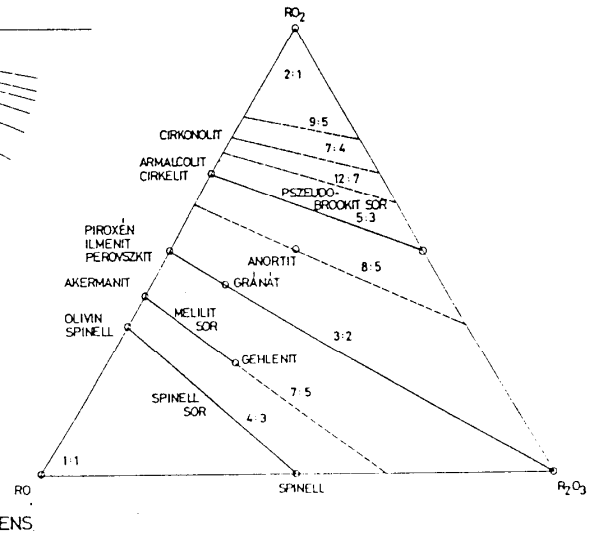
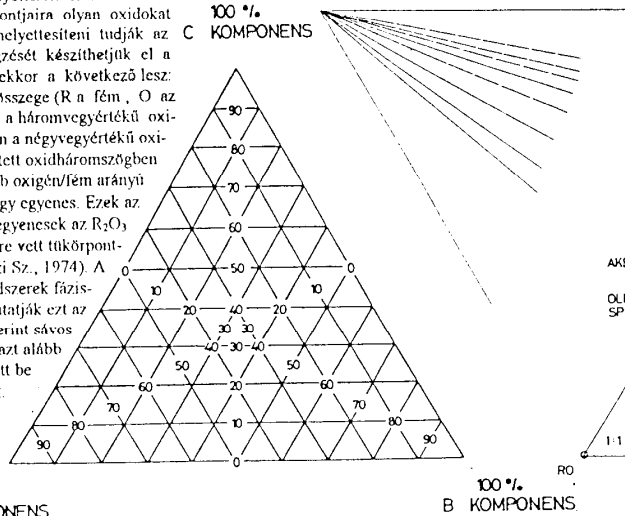
A szakaszon "végigfutó pontnak" a helyzete és a keverék összetételével való kapcsolata két összetevőből álló keverékek eseteit mutatta be. Megőrizve ennek az ábrázolásnak a lényeges tulajdonságait kiterjesztjük a keverékek ábrázolását és szemmel is látható bemutatását három összetevőre. E kiterjesztésnél a szabályos háromszög belső pontjainak ugyanilyen térképező, tehát közelséget is jelző tulajdonságait használjuk föl. E kiterjesztés során is mindig fontos, hogy tudatosítsuk: amíg a valódi (pl. földrajzi) térképeken a pontok közelsége a méretarányosan kicsinyített térbeli közelséget jelenti, addig az anyagterképeken a közelség a vegyületek összetételének közelségét ábrázolja.

Három komponensű rendszerek anyagtérképeit a szabályos háromszögbe rajzolt hálózaton szokták ábrázolni. E háromszög belsejében érvényes Viviani tétele: A szabályos háromszög belső- és határpontjaira nézve a három oldaltól mért távolság összege állandó, értéke egyenlő a magassággal. A tételt a hasonló szabályos háromszögekkel és a bennük lévő egybevágó

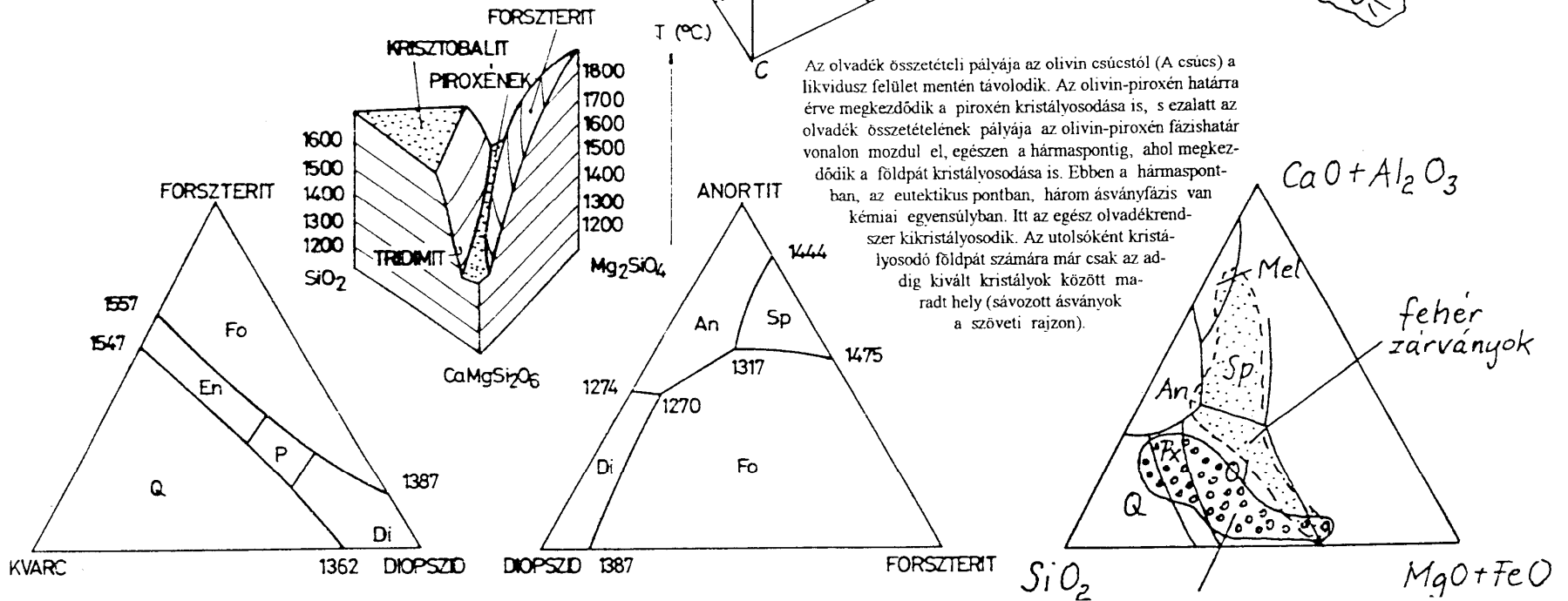
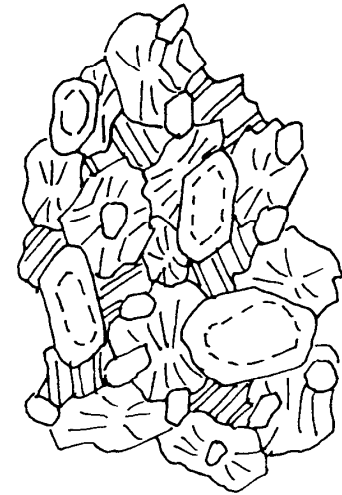
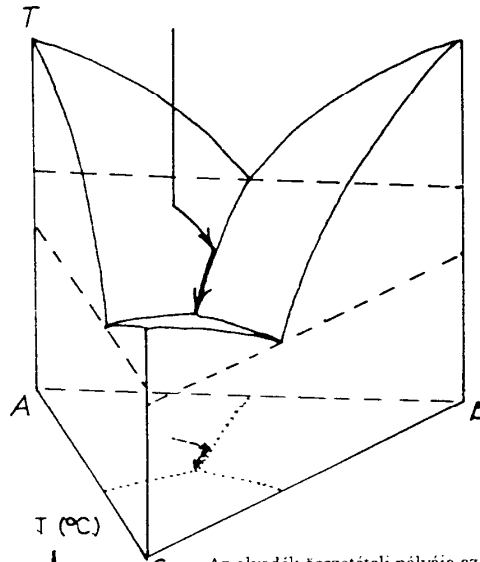


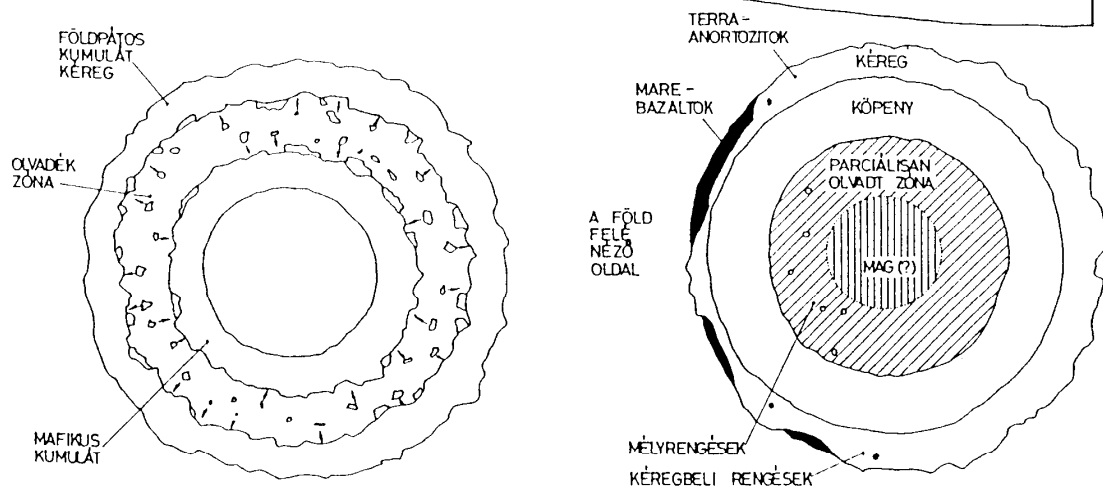
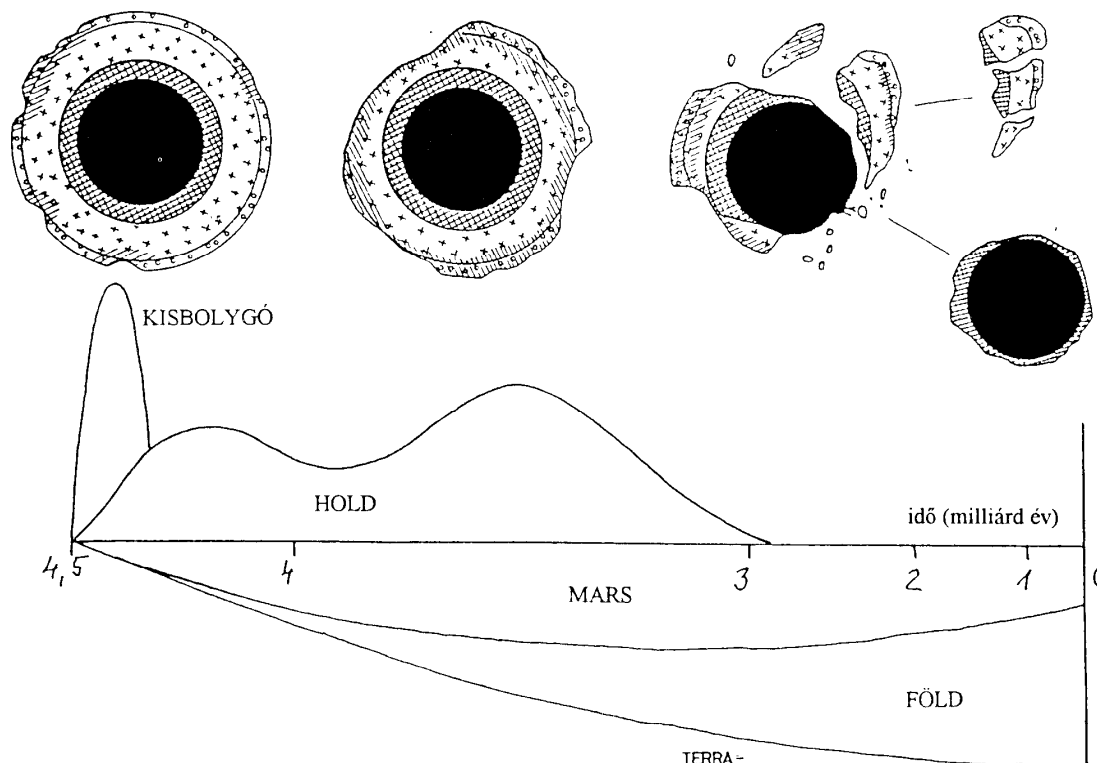
magasságvonalak fölcserélhetőségével, a következő ábra szerint be is bizonyíthatjuk.

A Naprendszer kristályos anyagú égitestjeinek kérgét és köpenyét főleg szilikát ásványok építik föl. Ezek között kiemelkedő szerepet játszanak a magnás eredetű ásványok, melyekben gyakori a kationok helyettesítése. Ha háromkomponensű rendszerünk sarokpontjaira olyan oxidokat csoportosítunk, melyek egymást helyettesíteni tudják az ásványokban, akkor tömör összegzését készíthetjük el a magnás ásványoknak. A, B és C ekkor a következők lesz: A legyen a kétvegyértékű oxidok összege (R a fém, O az oxigén, RO a molekula), B legyen a háromvegyértékű oxidok összege (R_2O_3), C pedig legyen a négyvegyértékű oxidok összege (RO_2). Az így fölépített oxidháromszögben azt találjuk, hogy a legfontosabb oxigén/fém arányú keverékek mértani helye egy egyenes. Ezek az az állandó oxigén/fém arányú egyenesek az R_2O_3 B csúcspontnak az RO-RO₂ élre vett tükörpontjában futnak össze (Bérezsi Sz., 1974). A háromkomponensű rendszerek fázisdiagramjai gyakran mutatják ezt az oxigén/fém arány szerint sávos szerkezetet, amint azt alább néhány ábrán itt be is mutatjuk.



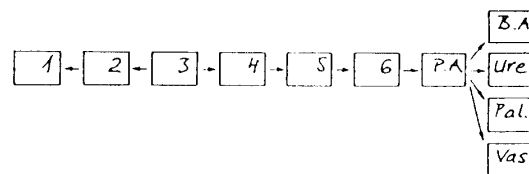
Három komponensű rendszer fázisdiagramját is ugyanúgy ábrázoljuk, mint a kétkomponensűekét: most is a keverékkordináták síkjára merőlegesen, a függőleges tengelyen ábrázoljuk a hőmérsékletet. Most is ebbe a hőmérsékleti "irányába" eső tartományokon mutatjuk be azt, hogy a keverékek kristályosodása során milyen átalakulások következnek be. Ha átalakulás történik, akkor a fázisok határait jelöljük be. A három összetevős fázisdiagramok segítségével már az összetettebb bazaltok olvadékból történő kristályosodását is bemutathatjuk. Ábránkon az olvadék olivinból (A), piroxénből (B) és földpátból (C) áll. A kiindulási olvadék összetételénél húzott függőleges pálya mutatja ismét az olvadék lehűlését. Az olivin kristályosodását jelző felület (likvidusz) határához érve az olvadékból olivin kristályok válnak ki. A szövet kialakulását a diagramtól jobbra lévő szöveti ábrán követjük nyomon.





A Naprendszer anyagait bemutató kis atlasz sorozatunk első kötetében a Naprendszer kialakulásakor létrejött és a kis égitestek (kisbolygók) fejlődése során átalakult anyagokról (a meteoritokról), valamint az Apolló expedíciók során a Holdról hozott főbb holdközetekről mutatunk be válogatást.

A kisbolygók főleg a Mars és a Jupiter pályái között mozognak. A hatalmas méretű Jupiter pályaháborgató hatása miatt nem tudtak nagyobb égitestté összállni. Ezért aztán egyénileg élték le fejlődéstörténetüket. E kis égitestek csak rövid ideig voltak annyira fölmelegedett állapotban, hogy rajtuk az anyagok átrendeződhessenek. A rövid fejlődéstörténet azonban rendkívül tanulságos a kutatók számára. A kis égitest fejlődésének különböző korszakait élték meg és őrizték meg anyagukban.



A kisbolygók anyagát a róluk ütközéskor leszakadt anyagdarabok révén, a földre hullott meteoritek formájában, már több mint két évszázada tanulmányozhatjuk. A meteoritek vizsgálatai alapján megismertük a kisbolygók fejlődéstörténetének főbb mozzanatait.

A Holdról az Apolló expedíciók során gyűjtött kőzetminták alapján a Hold fejlődéstörténetét ismerhettük meg. Segített ebben az expedíciókat megelőző holdi rétegtani térképezés is. A legfontosabb holdi kőzetek a bazaltok és az anortozitok. Az anortozitok a Hold korai magma ócánjából jöttek létre kristályos differenciációval. A bazaltok a későbbi nagy mélységi megolvadások során keletkeztek. A felszínre ömlve a nagy körkörös medencék belső mélyebb síkságait töltötték föl lávaretegekkel.



A MAGYARORSZÁGON HULLOTT VAGY TALÁLT METEORITEK LISTÁJA A LONDONI METEORITKATALÓGUS ALAPJÁN

1.	BORKÚT	Máramaros megye	1852. okt. 13.	kondrit	L5
2.	KABA	Hajdú-Bihar megye	1857. ápr. 15.	szenes kondrit	CV3
3.	KAKOWA	Erdély	1858. máj. 19.	kondrit	L6
4.	KISGYŐR	Borsod megye	1901-ben találták	bizonytalan	-
5.	KISVARSÁNY	Szabolcs megye	1914. máj. 24.	kondrit	L
6.	KNYAHINYA	Nagybereszna Ung m.	1866. jún. 9.	kondrit	L5, breccsa
7.	LENARTO	Sáros megye	1814-ben találták	vasmeteorit	III A
8.	MAGURA	Árva megye	1840-ben találták	vasmeteorit	IA
9.	MALOMHÁZA	Minnichof Sopron m.	1905. máj. 27.	kondrit	-
10.	MEZŐMADARAS	Maros-Torda megye	1852. szept. 4.	kondrit	L3, breccsa
11.	MIKE	Somogy megye	1944. máj. 3.	kondrit	L
12.	MIKOLAWA? (MIKOLA?)	Szatmár vagy Hajdú-Bihar megye	1837. jan. 15.	bizonytalan	-
13.	MISKOLC	Borsod megye	1559-es hullás	bizonytalan	-
14.	MÓCS	Kolozs megye	1882. febr. 3.	kondrit	L6
15.	NAGYBÖRÖVÉ	Liptó megye	1895. máj. 9.	kondrit	L5
16.	NAGYDÉVÉNY	Trencsén megye	1837. júl. 24.	kondrit	H5
17.	NAGYVÁZSONY	Veszprém megye	1890-ben találták	vasmeteorit	IA
18.	NYÍRÁBRÁNY	Hajdú-Bihar megye	1914. júl. 17.	kondrit	L.L5
19.	ÓFEHÉRTŐ	Szabolcs megye	1900. júl. 25.	kondrit	L
20.	OFEN-BUDA	Pest-Pilis-Solt megye	1642. dec. 2.	bizonytalan	-
21.	ÓHÁBA	Alsó-Fehér megye	1857. okt. 11.	kondrit	H5
22.	ZSADÁNY	Temes megye	1875. márc. 31.	kondrit	H5
23.	KAPOSFÜRED	Somogy megye	1995. máj. 7.	vasmeteorit	IV-A

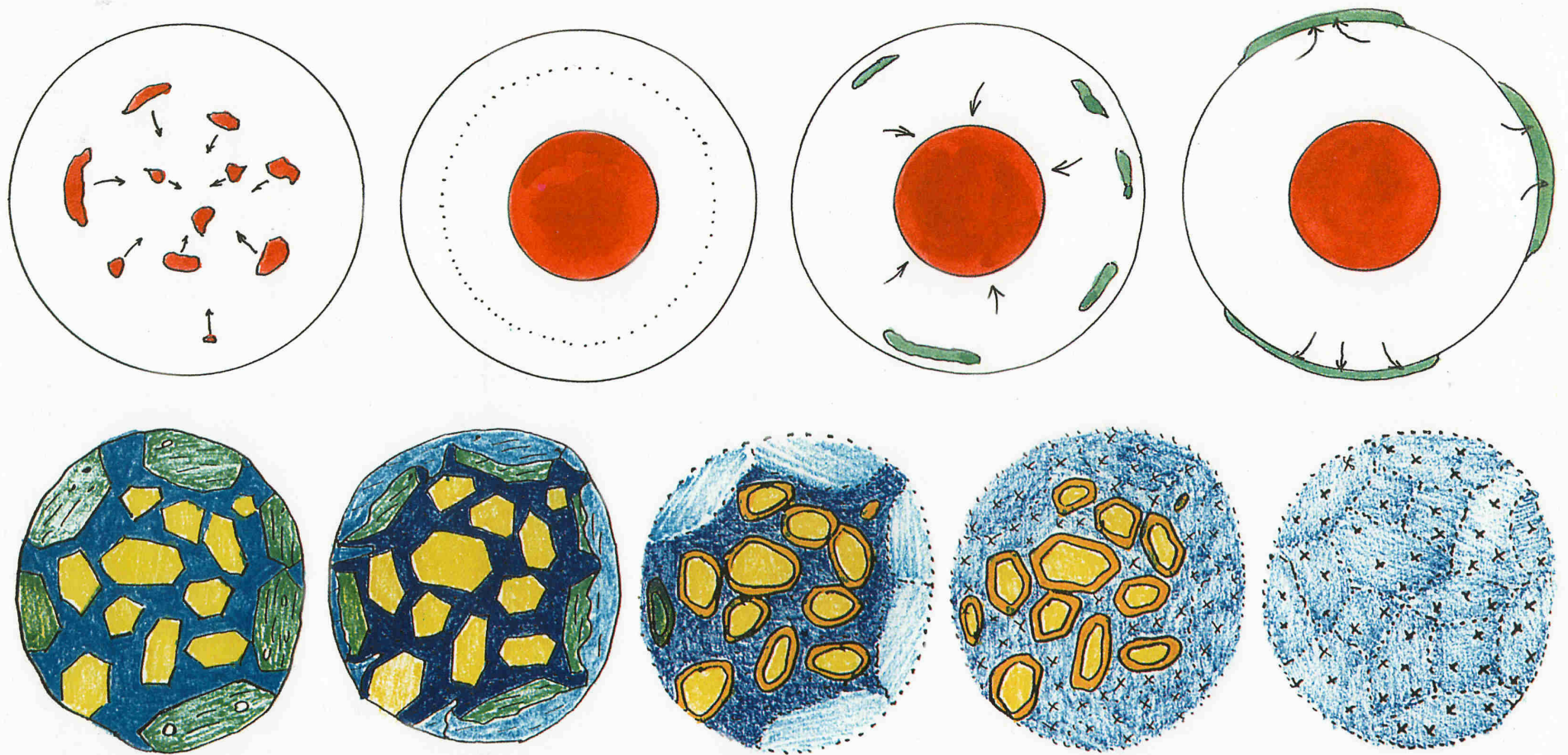
IRODALOM: BARSHAY S. S., LEWIS J. S. (1975): In : The Dusty Universe, eds. FIELD G. B., CAMERON, A. G. W., Neale Watson Acad. Publ., New York; BÉRCZI SZ. (1985): Anyagtechnológia I. Tankönyv-kiadó, Budapest; BÉRCZI SZ. (1991): Kristályoktól bolygótestekig. Akadémiai K. Budapest; BÉRCZI SZ., HOLBA Á., LUKÁCS B., (2000): Acta Mineralogica-Petrographica, Szeged, XLI, (in press); BROOKS, J., SHAW, G. (1973): *Origin and Development of Living Systems*. Academic P., London; CHAPMAN C. R., SALISBURY J. W. (1973): *Icarus*, **19**, 507; DELANEY, J. S., TAKEDA H., PRINZ, M., NEHRU, C. E., HARLOW, G. E. (1983): *Meteoritics*, **18**, 103; DODD JR. R., T., VAN SCHMUS W. R., KOFFMAN D. N., (1967): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**, 921; EL-BAZ F., KOSOFKY L. J. (1970): The Moon as Viewed by Lunar orbiter. NASA SP-200. Washington; GAFFEY, M. J., BELL, J. F., CRUIKSHANK, D. P. (1989): In *Asteroids II*, Eds. R. P. BINZEL ET AL.), 98. Univ. of Arizona Press, Tucson; GROSSMAN L. (1972): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **36**, 597; HEAD J. W. (1976): *Rev. Geophys. Space Phys.* **14**, 265; HUSS G. R., KEIL K., TAYLOR G. J., (1981): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **45**, 33; KEIL K., FREDRIKSSON K., (1964): *J. Geophys. Res.* **69**, 3487; KUBOVICS I. (1971): *Közetmikroszkópia*. Tankönyvkiadó, Budapest; LUKÁCS B., BÉRCZI SZ., (1997): *LPSC XXVIII*, 853; LUX G., KEIL K. TAYLOR G. J., (1980): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**, 841; MASON B., (1962): *Meteorites*. J. Wiley & Sons, New York; MEYER, C. (1987): *The Lunar Petrographic Thin Section Set*. NASA JSC Curatorial Branch Publ. No. 76. Houston, Texas; MCSWEEN H. Y., (1987): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **51**, 2469; NEAL, C. R., TAYLOR, L. A. (1992): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56**, 2177; O'HARA M. J., HUMPHRIES D. J. (1977): In: *The Moon*, 177, The Royal Society, London; RADOMSKY P. M. & HEWINS R. H., (1990): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 3475; RINGWOOD A. E. (1970): *Journal of Geophys. Res.* **75**, 6453; RINGWOOD A. E. (1975): *The Moon*, **12**, 127; SCOTT E. R. D., KROT A. N. & BROWNING L. B., (1969): *LPS XXVII*, 1161; SCOTT E. R. D., RUBIN A. E., TAYLOR G. J., KEIL K., (1984): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 1741; SZTRÓKAY K. I., TOLNAY V., FÖLDVÁRINÉ VOGL M. (1961): *Acta Geol. Hung.* **7**, 57; SZTRÓKAY K. I. (1966): *Annales Univ. Sci. Budapest R. Eötvös Nom. Sect. Geol.* **X**, 85; TAYLOR R. W. (1964): *The American Mineralogist* **49**, 1016; TOKSÓZ, M. N. (1974): *Rev. Geophys. Space Phys.* **12**, 539; WALKER D. ET AL (1973): *Earth Planet. Sci. Letters*. **20**, 3; WALKER D. (1983): *Journal of Geophys. Res.* **88**, Suppl. B17; WASSON J. T. (1974): *Meteorites*. Springer, Berlin; WIK H. B. (1956): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **9**, 279; WILHELMS D. E. (1970): *U.S. Geol. Survey Prof. Papers* No. 599-F, Washington; WILHELMS D. E. (1970): *The Geologic History of the Moon*. U.S. Geol. Survey Prof. Papers No. 1348, Washington; WILHELMS D. E., McCauley J. F. (1987): *Geologic Map of the Near Side of the Moon*. USGS Maps No. I-703, Washington; VAN SCHMUS W. R. & WOOD J. A., (1967): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**, 747; YANAI K., KOJIMA H., (1991): *Proc. NIPR. Symp. Antarct. Meteorites* **4**, 118; YANAI K., KOJIMA H., (1987): *Photographic Catalog of the Antarctic Meteorites*. NIPR, Tokyo; ZOLENSKY M., BARRETT R., BROWNING L. (1993): *Geochim. Cosmochim. Acta*, **57**, 3123;

E munka megjelenését a Magyar Űrkutatási Iroda az ELTE TTK / MTA Geonómia Bizottság Koszmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport TP-154/2001 számú témapályázata keretében támogatta.
E támogatásért a szerző a MŰI-nek köszönetet mond.

Kiadja az UNICONSTANT, Püspökladány, Honvéd u. 3.
Bérczi Szaniszló: Kis Atlasz a Naprendszerőről (1): Planetáris és Anyagterképek

HOLDKÖZETEK RŐL, METEORITEKRŐL

ISBN 963 00 6314 X0
963 00 6315 8



Ezt a munkámat Fabriczy Anikónak ajánlom

Köszönetet mondok mindazoknak, akik valamilyen formában segítették planetológia és kozmopetrográfiai, a NASA holdközveteket és a NIPR antarktisi meteoriteket a magyarországi felsőoktatás számára elérhetővé tévő kutatói és szervezői munkámat, és a Holdközvetek és Meteoritek e Kis Atlaszának a kiadását: Almár Iván, Balázs Béla, Bartha György, Basilevsky Alexander, Bérczi Alajos, Bérczi István, Both Előd, Deákné Demjén Ilona, Földi Tivadar, Fröhlich András, Gál-Solymos Kamilla, Gooding James, Grossman Lawrence, Gulyás Pálné, Holba Ágnes, Huntress Wesley, Illés Erzsébet, Józsa Sándor, Kabai Sándor, Kiss Ádám, id. Koch Sándor, Kojima Hideyasu, Kőhátai Attila, Kubovics Imre, Lukács Béla, Lindström Marilyn, Lofgren Gary, Maros Gábor, Márki-Zay Lajos, Meyer Charles, Miura Yasunori, Péró Csaba, Péter Borbála, Póka Teréz, Puskás Zuárd, Shoemaker Eugene, Stegena Lajos, Szabó Csaba, Szabó Soki László, Szakmány György, Szádeczky-Kardoss Elemér, Szederkényi Tibor, Székiné Fux Viima, Sztrokay Kálmán, Tófalvi Gyula, Tordai Magdolna, Tóth Albert, Weiszbürg Tamás, Veszeloovszky Endréné, Wilhelms Don, Yanai Keizo, Zolensky Michael; valamint a NASA Johnson Space Center, Houston, Planetary Materials Laboratory és a Japán National Institute of Polar Research, Tókió, Antarctic Meteorite Research Center,