

A krisztallográfia kifejezést ma általában olyan értelemben használjuk, hogy az a tudományterület, amely a kristályokkal, szűkebb értelemben azok atomi szerkezetével foglalkozik. E cikkben a krisztallográfia kifejlődéséhez vezető utat próbálom bemutatni. Tehát nem a fent említett szűkebb értelemben vett krisztallográfiáról fogok írni, hanem a kristályokról a régi korok hétköznapijaiban, majd arról, hogy miként jelentek meg a kristályok a tudományos kutatásban. A leíráshoz néhány, a kristályokhoz nem szorosán kapcsolódó tudománytörténeti érdekességet is hozzáfűzök az egyes személyek és korok jobb megismerése végett.

A kristály szó a görög κρύσταλλος szóból ered, amely eredetileg jeget jelentett és már *Homérosz Illiászában* is megtalálható (XXII. ének, *Devecseri Gábor* fordításában):

„Egy forrás langyos vízzel bugyog, és körülötte száll a magasba a gőz, mint füst, ha lobognak a lángok; másoknak vize nyáron hűvös, akárcsak a jégnek zápora, vagy mint hó, vagy mint kristályba fagyott víz.”

*Idősebb Plinius* (23–79) az ókor természettudományi ismereteit összegező munkájának XXXVII. könyvében kristály alatt a hegyikristályt (kvarcot) érti. Így ír róla [1]:

„Esővízből és tiszta hóból kell keletkeznie. Ezért nem állja a meleget, csak hideg italhoz használható. Miért hatszögűek az oldalai, arra, nehéz magyarázatot adni, annál is inkább, mert csúcsai nem ugyanúgy néznek ki, másrészt pedig oldalainak simasága annyira tökéletes, hogy azt semmiféle műgonddal nem lehetne utolérni.” Néhány további mondata a kvarcra: „Ez is Keletről származik, minthogy az indiainál nincs kiválóbb. Előfordul Ázsiában is, valamint Cipruson, ezek igen silányak, viszont Európában az Alpok gerinceiről igen jók származnak... A legnagyobb méretű, amit eddig láttunk, az volt, amit Augustus felesége, Livia, a capitoliumi szentélynek ajánlott fel, súlya körülbelül 150 font volt. ... Sok hiba csökkentheti értékét: érdes lerakódás, felhőfolt, valamikor belekerült zárvány... Előfordul valamiféle vörhenyes rozsdá is, más darabokban repedéshez hasonlító hajszalér – ezt a mesterek a csiszolásnál eltüntetik. A teljesen hibátlan példányokat inkább érintetlenül hagyják, ezeket makulátlannak nevezik: nincs bennük semmi elszíneződés, olyanok, mint a tiszta víz. ... Azt találom az orvosoknál, hogy szerintük a test elhamvasztásának az a leghelyesebb módja, ha egy kristálygömböt a nap sugarai felé fordítva gyújtjuk meg a tüzet. ... A kristályokhoz megtévesztésig hasonlóak az üvegedények, de csodálatosképpen, míg ezek ára növekedett, a kristályoké nem csökkent.” Gyakran kis történeteket is fűz mondani-valójához: „Néró, amikor hírt vette, hogy elvesztette hatalmát, végső haragjában két kristálykelyhet tört össze a földhöz vágva. Ez volt a bosszúja, hogy korát

megbüntesse: nehogy más is ihasson belőlük.” Alig van ma is név szerint ismert drágakő, amelyről Plinius meg nem emlékezett volna. Tárgyalta színüket, keménységüket, megmunkálhatóságukat, felhasználási (köztük az orvosi) lehetőségeiket, értéküket, származási helyeiket. Plinius munkája sok évszázadig hatással volt az európai kultúrára. Csak *G. Agricola* (1494–1555) merete leírni, hogy az igazság hatalmasabb Pliniusnál is.

Az első, talán tudományosnak nevezhető kristályokon való vizsgálat az arab *Albiruni* (973–1048) nevéhez fűződik. Ő elsőként határozta meg több kristály (zafír, rubin, smaragd, kvarc) sűrűségét.

Néhány száz évvel később a kristályok növekedésével foglalkozott a dán *N. Steno* (1638–1686). Szerinte „a kristály úgy nő, hogy a már kialakult kristály külső lapjaira új kristályanyag rakódik rá. Eszerint semmi figyelmet nem érdemel azoknak a véleménye, akik azt állítják, hogy a kristályok úgy nőnek, mint a növények és hogy táplálékot vesznek magukba azon a végükön, amellyel az alapközethez tapadnak, úgy, hogy abból folyékony anyagot felszívva, azt a kristály még meg nem szilárdult belsejébe juttatják, hogy az ott a kristály már meglévő részecskéi közé sorakozhasson.” A dolgozatához mellékelt rajzok magyarázatában leszúri: az újabb kristályanyagnak a kristály lapjaira való ránövése által változhat „az oldalak hossza és száma, anélkül, hogy a szögek is megváltoznának”. „Non mutatis angulis” – lapszögek állandóságának törvénye. Steno (latinul Nicolai Stenosis) *De Solido intra solidum...* című 1669-es munkája messze kimagaslik az őt megelőző és jó darabig az őt követő munkák közül. Steno jelentős eredményeket ért el az őslénytanban és az anatómiában is. Bejárta Európát, Magyarországra is eljutott. Mivel katolizált, a koppenhágai egyetemen nem kaphatott állást, főleg külföldön dolgozott. Figyelme később a teológia felé fordult, 1677-ben püspök lett. *Szent II. János Pál* pápa 1988-ban boldoggá avatta.

Ugyancsak 1669-ben jelent meg a dán *Erasmus Bartholinus* (1625–1698) *Experimenta crystalli islandici...* című munkája Koppenhágában. Már a könyv címe is mutatja, hogy a kristály szó fogalma kiszélesedett. Kristályon nemcsak kvarckristályt, hanem mészpátot (kalcium-karbonátot) is értettek. Bartholinus tizenhét kísérletet ír le, amelyekben megfigyelte a hasadást (ütés hatására a kristály meghatározott lapok mentén válik részecskékre), a keménység anizotrópiáját, a triboelektromosságot és az optikai kettőtörést. Bartholinus vérbeli kísérleti fizikus volt, ezt mutatják fínom megfigyelései, kérdésseltevései. Könyve előszavában így ír: „Az emberek nagyra tartják a gyémántot, a drágaköveket és a gyöngyöt. Ezek azonban csak az embereknek, akik a szokatlan jelenségek megismerésében lelik örömüket, úgy gondolom, nem kisebb



1. ábra. A *Crystallographia Hungarica* 240 éves.

örömet okoz a nemrégiben Izlandból hozott átlátszó kristály, amely a természet legnagyobb csodája lehet. Sokáig foglalkoztam ezzel a figyelemre méltó anyaggal, és sokféle kísérletet végeztem vele. Eredményeimet szívesen megosztom a természetkedvelőkkel és más érdeklődőkkel, mivel úgy gondolom, hogy okulásukra vagy legalábbis beszédtemául szolgálhatnak.” Bartholinus több helyre (közte a londoni Royal Societynek) elküldte könyvecskéjét. Az elismerés két évtizedig várattot magára. Ekkor a holland *Christian Huygens* (1629–1695) igazolta Bartholinus megfigyeléseit és az optikai kettőtörést kvarckristályon is kimutatta. Bartholinus tíz évig különböző egyetemeken tanított. A koppenhágai egyetemen először a matematika majd a medicina professzora lett. Érdekességként megemlítendő, hogy veje *Olaf Römer* a fénysebesség meghatározója volt.

A krisztallográfia szót először *Moritz Anton Cappellers* svájci orvos használta egy 1719-ben megjelent kristályosodással foglalkozó művében.

„Észak Plinius” a svéd *C. Linné* (1707–1778) nemcsak a flórával, faunával, hanem az ásványok világával (*Regnum lapideum*) is részletesen foglalkozott. Fő műve a *Systema Naturae* először 1735-ben tizenkét oldalon Hollandiában jelent meg. A könyv 12. latin kiadása 2400 oldalra nőtt. A harmadik kötetben, amelyet 1768-ban Stockholmban adtak ki, 236 oldalon tárgyalja az ásványokat. Sok ábrát közölt. Az ásványtan irodalmának részletes jegyzékét is megadja. Új lényeges eredményt azonban nem tudott elérni. Legnagyobb érdeme így abban rejlik, hogy többeket buzdított a kristályok tanulmányozására. Linné az uppsa-

lai egyetemen végzett, három évig külföldi tanulmányúton volt. 1741-ben nevezték ki az uppsalai egyetem orvosprofesszorává.

„A Habsburg birodalom Linnéje”, *G. A. Scopoli* (1723–1788) orvosként eredményesen foglalkozott botanikával, rovarlattal, higanybányákban a higanymérgezéssel. Tíz esztendőn át volt tanár Selmechányán (ma Banská Štiavnica). Itt írta *Crystallographia Hungarica* (1. ábra) című művét. Százharminckilenc oldalon és tizenkilenc rézmetszetű táblában 222 ábrán mutatta be legszebb kristályait. Rendszerezte őket, majd az egyes példányok leírását adta latin nyelven, rövid német nyelvű jellemzéssel. A kristályok több fizikai jellemzőjére, mint a szín, az optikai kettőtörés is utalt. A könyv előszavában így ír (fordította *Tóth Péter* [2]):

„Alig hiszem, hogy másutt is vannak ezen a földkerekségen bányák, amelyek nagyobb gazdagságában bővelkednének a legkülönbébb kristályoknak, mint az Alsó-Magyarországon fekvő selmeciek. ... Amikor ennek az országnak lettem lakosa, a dolgok megdöbbentő változatosságától késztetvén annyi követ és képződményt gyűjtöttem össze, írtam le, vizsgáltam meg és raktam végül rendszerbe, amennyit csak tudtam. ... Átnyújtom az olvasónak a Magyar Kristálytan első részét, amely a földtermészetű kristályokat mutatja be három rendbe csoportosítva; a rendek közül az első a mész-, a második a gipsz-, a harmadik pedig a kova- vagy kvarckristályokat öleli fel. Valamennyi kristály leírása rövid, nehogy túlságosan is nagy terjedelművé növekedjék e könyv, hiszen a ritkább kristályok rajzolatait is csatoltam a leírásokhoz.”

„Sok kísérletet is végeztem – amelyeket a *Historia Naturae* (2) 5. évfolyamában közöltem is a tudományos világgal – abból a célból, hogy a fémek és ércek kialakulásáról vallott, császári megbízatás alapján a hallgatóknak is átadandó nézeteim ne mások tapasztalataira, hanem saját megfigyeléseimre támaszkodjanak. Mindazonáltal – lévén, hogy a rosszindulatú emberek minden rossz értelművé csavarnak – voltak némelyek, akik elolvastván a kénről nyilvánosságra hozott kísérleteimet, nyíltan hirdették, hogy alchimiával foglalkozom, s hogy az istentagadók tömegéhez kell engem is sorolni. ... Rágcsálják csak ellenségeim rosszindulatú fogukkal írásaimat, ameddig akarják: számomra az a törvény, hogy türelmesen elviseljek mindent, ami reám méretik, mivel nagyon jól tudom, hogy soha senkinek sem ártottam és – ha szabad ezt mondani – mindig megelégedtem azzal, ami a tudomány világának és a reám bízott tisztségnek megfelel.”

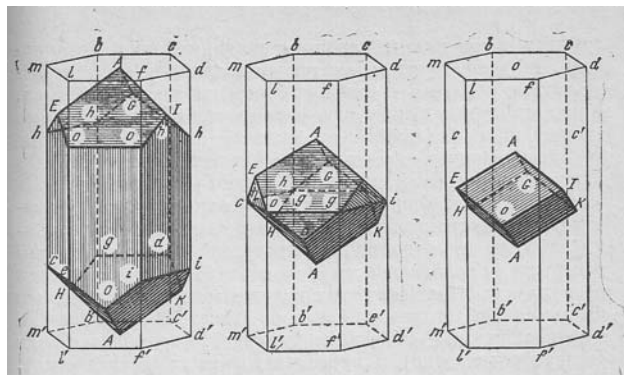
„Nem kímél az irigység élőket, csak a holtak díja, jutalma a hír s név, amit az érdemük ad.”

„Kiadtam Selmeceen, az 1774. esztendőben, január kalendája előtti napon.”

Scopoli olasz származású, Dél-Tirolban született, az innsbrucki Egyetemen szerezte orvosi diplomáját, 1769-ben nevezték ki a jó nevű selmeci bányász-koház akadémia professzorává. C. Linnével levelezésben állt. 1779-ben a páviai egyetemen a kémia és botanika professzor lett, ott is halt meg.

J. B. L. Romé De l'Isle (1736–1790) a lapszögek állandóságának törvényét, amelyet a *krisztallográfia első törvényének* is neveznek, sok más kristályra is kiterjeszti: „A kristály lapjai különfélék lehetnek alakjuk és viszonylagos nagyságuk szerint; de ugyanezeknek a lapoknak egymáshoz való hajlásszöge állandó és változhatatlan minden egyes fajra nézve.” Romé De l'Isle tudása a közvetlen tapasztalatban gyökerezett. A lapszögek mérésére munkatársa „Carangeot úr kitalálta és Vincard úrral elkészítette azt a műszert, amelynek Goniométer vagy Mesurangle nevet adott.” Ezen kis műszerrel azután igen sok kristályt megmértek. Az *Essay de Cristallograbie* 1772-ben megjelent munkájában 110 krisztallográfiai képződményt ír le. Az első kiadás vékony kötete az 1783-ban megjelent második kiadásnál (*Cristallographie*) négy testes kötetre gyarapodott, amelyekben 444 kristály képét és leírását közli. Munkájának negyedik kötetében a fontosabb lapszögek táblázatát is közli, amely dolog a maga nemében az első kísérlet volt. Kristályképei hasonlóak voltak Linnééhez, és mindkettőn a kristály poliéderek hálózatait is megszerkesztették. A kristályokra vonatkozó axiómák és általános elvek között megtalálhatjuk még a szimmetriára, az ikerkristályokra, a zónabeli kapcsolatokra, valamint pszeudomorfozákra vonatkozó sejtelmeket vagy határozott kijelentéseket. „Ha egy kristályon egy vagy több beugró szög van, arra kell következtetni, hogy az nem egyszerű kristály, hanem két vagy több kristály csoportja, vagy éppen egy kristály két, fordítva összenőtt fele. Az ilyen kristály neve: iker.” A kristályok belső szerkezetéről így ír: „Éppen azért, mert sok kristályt láttam, nem hiszem, hogy rövidesen tudhatnánk valami elméletet odavetni átalakulásaik belső, rejtett menetéről és módjáról. Valamikor talán mégis eljuthatunk odáig...”

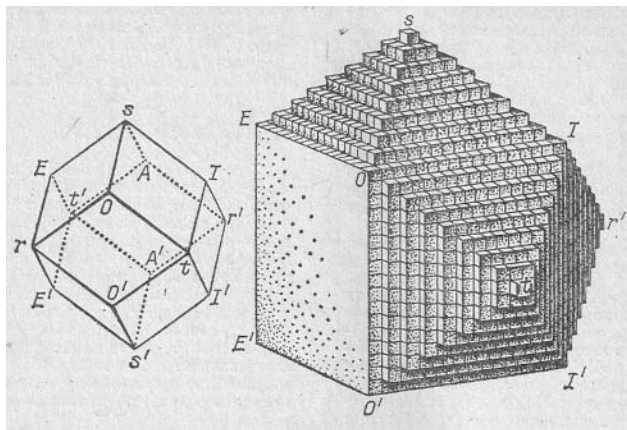
Romé De l'Isle tüézertiszt volt, eljutott Indiába és Kínába. Franciaországba 1764-ben tért vissza. Munkáinak kiadása után szakkörökben méltatták. Igaz, 1780-ban a francia királyi akadémia nem fogadta tagjai közé. Ellenfelei az mondták róla, hogy csak kristálykatalógus-készítő. Annnyiban volt igazuk, hogy gazdag franciák magánygyűjteményeit katalogizálta (ebből élt). Mindenholn nagyon sok adatot közöltek vele, sőt kristályokat is küldtek hozzá. Kristálygyűjteménye a legkiválóbbá fejlődött. Büszke volt Linné hozzá írt levelére: „Az ebben az évszázadban kidolgozott ásványtani munkák között a te Kristálytanod kétségén kívül elsőrangú. Bizonyoságot tesz a te éles elmédről, megfigyeléseid óriási számáról, bámulatos olvasottságodról, s ami ritkaság, irántam mégis megőrzött jóindulatodról. Bizonyosan jó sok kristályod van, amelyeket én nem láttam és amelyek mégsem csak változatok; isteni műveddel közkinccsé teted s úgy rajzoltad le és úgy ismertted meg, hogy még a vak is tanulhat belőle, és ezzel az eddig lenézett kristálytant olyan tekintélyhez juttattad, hogy ezentűl mindenki élvezettel fog vele foglalkozni. ... A napokban a te összes kristályaidat tömör fából kifaragattam, hogy mint ezelőtt a magaméit, valamennyit együtt és egyszerre szemlélhessem...”



2. ábra. Haüy „kristályaprítása”.

Kristálytana második kiadásának előszavát így végzi: „Hála Istennek! Ha vagyon nélkül is és akkor, amikor az észlelések aggodalmas pontossága s a munka folytonossága miatt már szemem világa forog veszedelemben, legalább megmarad az édes elégtétel, hogy elmondhatom *Horatiusszal*: Ércnél maradóbb emléket állítottam... Nem halok meg egészen.” Fialatabb és elismerésekben bővelkedő kortársa, R. J. Haüy 300-szor hivatkozott rá, és megemlékezést írt róla 1795-ben.

René Just Haüy (1743–1822) tette önálló, egzakt tudománnyá a krisztallográfiát. Ő mondta ki az indek racionalitásának tételét, amelyet paramétertörvénynek, illetve a *krisztallográfia második törvényének* is neveznek. Megmutatta, hogy a racionalitás tétele a szabályos ikozaédert a kristályformák köréből kizárja. A szimmetriatengely fogalmát a következőképp határozta meg: „Tengelynek nevezem általában a kristály középpontján keresztülmenő egyenes vonalat, amelynek oly iránya van, hogy a kristálynak minden része reá vonatkoztatva részarányosan van elhelyezve.” A kristálylapok jelölésére módszert adott. A pirit  $\{100\}$  Miller-indexű lapját M betűvel, az  $\{121\}$  lapokat  $(1/2 AG^2 C^1)$ , a  $\{321\}$  lapokat  $(3/2 AG^2 C^1)$  jelölésekkel adta meg. Bebizonyította, hogy a zafir és rubin a korund változata. Foglalkozott sűrűségméréssel, piroelektromossággal. Kimutatta, hogy kocka, oktaéder és rombododekaéder alakú kristályok nem mutatnak kettőtörést. Haüy maga írja le azt a szerencsés véletlent, amely a kristályok szerkezetére vonatkozó elképzelései kifejlődéséhez vezetett. Egy gazdag amatőr ásványgyűjtőtől kapott egy hatszögalapú kalcit prizmát. „A prizmán az alaplap egyik élén volt egy törési lap, amely mentén a kristályt letörték a szomszédos kristályról. Ahelyett, hogy a gyűjteményembe helyeztem volna, alakíttattam. Megpróbáltam feldarabolni más irányokban. Több kísérlet után sikerült kibontanom a romboéder magját... (2. ábra). Ez meglepett, és azt a reményt adta, hogy ezen első lépés után előrejuthatok.” Haüy hasadási felülettel rendelkező más kristályokon is megfigyelte a poliéderez „magot”. Ezen kísérletei miatt nevezték gúnyosan kristályaprítóknak (cristallocalaste). Szerinte az elemi formák poliéderek, amelyek a kristályokból kiháshatók; a kristály magja a legkisebb elemi forma; az elemi forma a felépítő molekulákból áll; a felépítő molekuláskorok leapadás



3. ábra. Rombododekaéder felépítése kockaalakú molekulákból.

(décroissement) magyarázza a szekundér formák kialakulását (3. ábra).

Haüy abbé kezdetben latint tanított, de erősen érdeklődött a botanika, a kémia, a mineralógia és a kísérleti fizika iránt. Első cikke a gránát kristályok szerkezetéről harminckilenc éves korában, 1782-ben jelent meg. A következő évben a francia királyi akadémia tagjává választották. Székfoglaló előadásán a szárított virágok természetes színének megőrzéséről beszélt. Húsz éves egyházi szolgálat után nyugdíjba vonult, hogy csak ásványtannal, kristálytannal és fizikával foglalkozzon. A kristályok szerkezetének elméletéről szóló első könyvét 1783-ban publikálta. 1794-ben az *École Normale* fizikaprofesszora lett. 1809-től a *Sor-*

*bonne* ásványtanprofesszora. *Napóleon* megbízta, hogy fizikakönyvet írjon a francia líceumok számára. A *Traité de Cristallographie* halála évében, a *Traité de Minéralogie* második kiadása a halálát követő évben jelent meg. Összesen 147 munkáját nyomtatták ki.

A *Merriam-Webster* szótár szerint a „crystallography” angol szó először 1802-ben tűnt fel. (Természetesen ez nem azt jelenti, hogy angol szerzők korábban nem foglalkoztak volna kristályokkal. Talán elég csak *R. Hooke Micrographia* 1665-ben, vagy *R. Boyle An essay about the origine and virtues of gems* 1672-ben kiadott műveire emlékeztetni.)

A történeti visszatekintést ezen a ponton befejezem, hiszen a modern krisztallográfiáról szólnak e szám további cikkei.

A fenti cikkhez számos (köztük internetes) forrást felhasználtam. Az összefoglaló történeti művek sorszámait, a szétforgácsoltság csökkentése végett, a szövegben nem jeleztem.

#### Irodalom

1. C. Plinius Secundus: *Naturalis historia – Természettudományi Enciklopédia* Kiadó, Budapest, 2001.
2. Scopoli G. A.: *Magyar kristálytan*. Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, Rudabánya, 1988.
3. Schmidt S.: *A kristálytan története*. Kir. Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1911. (posztumusz kiadás).
4. Shafranovskii I. I.: *A krisztallográfia története*. (oroszul). Nauka, Leningrád, 1978.
5. Kahr B., Shtukenberg A. G.: *Histories of Crystallography*. [http://nanocrystallography.net/InTech-Histories\\_of\\_crystallography.pdf](http://nanocrystallography.net/InTech-Histories_of_crystallography.pdf)
6. Laue M.: *A fizika története*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1960.