

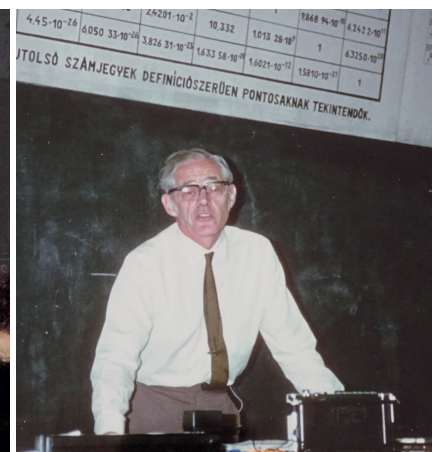
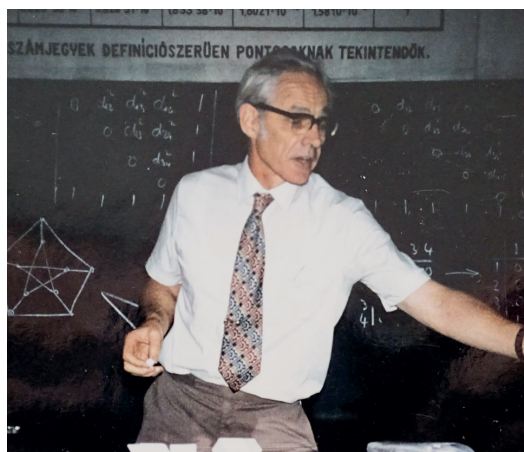


Atomok háborúja

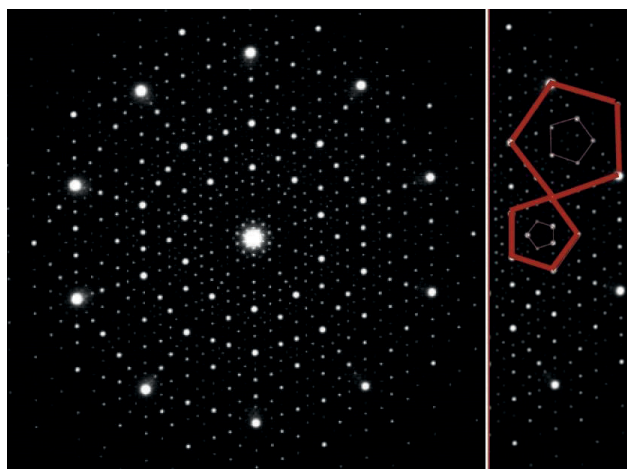
2025 elején, 99 éves korában meghalt Alan Mackay brit krisztallográfus, akiről Hargittai István két írásban is megemlékezett, [1] korábban pedig *Mozaikokból egy élet* című könyvében írt róla: [2] „Mackay első budapesti látogatására 1982 szeptemberében került sor. Három előadást tartott az ELTE Fizikai Kémia Tanszékének előadótermében. A három közül kettő az ötös szimmetriáról szólt. Az ötös azért különleges szimmetria, mert a klasszikus krisztallográfia szabályai szerint a kristályok szerkezetében nem fordulhat elő. Ennek a tilalomnak nagyon szép geometriai bizonyítása van, amely krisztallográfiai vizsgákon gyakran szerepel tételként. Az ötös szimmetria krisztallográfiai tilalma alapvető dogmának számít. Mackay-t éppen az jellemezte, hogy megkérdőjelezte a dogmákat. Szerinte a dogmák azért veszélyesek, mert ha elfogadjuk őket, akkor anélkül mehetünk el egy dogmának ellentmondó jelenség mellett, hogy felfigyelnénk rá.

Azelőtt öt hónappal, hogy Mackay a kristályokon belüli ötös szimmetria lehetőségéről beszélt Budapesten, valaki már felfigyelt ilyen szimmetriára. Dan Shechtman izraeli kutató Washingtonban, az amerikai szabványügyi hivatal, mai nevén National Institute of Standards and Technology (NIST) egyik laboratóriumában alumínium-mangán ötvözetekkel foglalkozott. Olyan összetételű ötvözeteket keresett, amelyek a legjobban megfeleltek bizonyos gyakorlati alkalmazásra. Az egyik ötvözet tízes szimmetriájú szerkezetet mutatott Shechtman elektronmikroszkópos és elektrondiffrakciós felvételein. A klasszikus krisztallográfia szerint a tízes ugyanúgy és ugyanazért lehetetlen szimmetria, mint az ötös. Mackay nem tudhatott a megfigyelésről, mert senki sem hitte el Shechtman állítását, és még semmi sem jelent meg a felfedezésről.

Mackay tele volt ötletekkel. Hogy az ötös szimmetria lehetőségét bizonyítsa, fényre szimulált diffrakciós képeket generált egy ötös szimmetriájú mintázatról. Ezekről később kiderült, hogy remek összhangot mutatnak Shechtman valódi kísérletekből származó elektrondiffrakciós képeivel. ... Amikor 2011-ben kihirdették Shechtman Nobel-díját, senki sem lepődött volna



Alan Mackay előadásokat tart Budapesten, 1982 (Hargittai István felvételei)



Ötös és tízes szimmetriájú kvázikristályok elektrondiffrakciós felvételei (D. Shechtman/NIST)

meg, ha Mackay is részt kap abból a Nobel-díjból, de nem kapott.

Bár az ötös szimmetria csak egy volt Mackay sokféle érdeklődése között, viszszatekintve valószínűleg ez lesz a legmaradandóbb munkája. Nem egyetlen felfedezésről van szó, inkább egy szemléltetés bevezetéséről. Mackay dolgozta ki az általánosított krisztallográfiát, amelynek megfelelően a krisztallográfia nemcsak a kristályok, hanem a szerkezetek tudománya is.”

Az egyik említett nekrológ szerint Alan Mackay a „tudósok tudósa [volt] Lucretius nyomában” – részben talán azért, mert egyik esszéje a „Lucretius: atomok és vélemények” címet viseli. [3] A megemlékezés megjelenése idején olvastam Lucretius könyvének reneszánsz kori újrafelfedezéséről, így az olvasmányokat összekötve utánanéztem a sok évszázados történet néhány elágazásának.

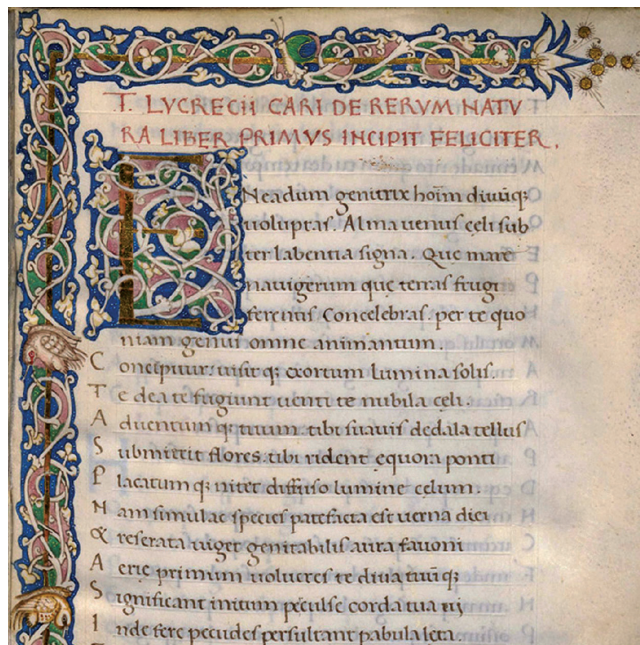
A Mackay-esszé címének második része Démokritoszra (i. e. 470–460 – 370) utal, aki szerint: „Nincs semmi, csak atomok és üres tér; minden más vélemény.” Démokritosz is lehetne Mackay hőse, de az ő gondolatai legfeljebb töredékekben és a későbbi filozófusok interpretációiban maradtak fenn. Epikurosz (i. e. 341–270) még ismerte az eredeti szövegeket. [4] Egy elbeszélés szerint már tizenkét évesen elkezdett töprengeni a világ működésén, „amikor legnagyobb megbotránkozására a tanárai nem tudták elmagyarázni neki a káosz fogalmát. Démokritosz atomelméletét jó kiindulási alpnak tartotta, ezért elhatározta, hogy követi, bármilyen irányba vezessen is. Harminckét éves korára készen állt, hogy saját iskolát alapítson. Az athéni »Kertben« Epikurosz teljes világmagyarázatot és életfilozófiát dolgozott ki.” [5] Ebből pedig az is következett, hogy még az égitestek sem isteni lények, mint



Arisztotelész gondolta, hanem a természet rendjének részei, olyan óriási atomi struktúrák, amelyek minden máshoz hasonlóan alá vannak vetve a teremtés és a pusztulás törvényeinek. Ha pedig az ember megérti a természet működését, öröm tölti el: megszabadul a nyugalmát megzavaró félelmektől. Epikurosz nagy hatású filozófusnak bizonyult – mert a laikus közönség számára is érthetően beszélt. Nem volt szükség stúdiumokra, csak el kellett fogadni, hogy a mennydörgésre és mindenféle nyavalyára létezik természetes magyarázat – és ez az atomokra vezethető vissza. [5] Epikurosznak és közönségének valószínűleg könnyebb dolga volt, mint amilyen ma lenne.

De Epikurosz munkáinak túlnyomó része is elpusztult. Lucretius (i. e. 99. k. – 55) és kortársai azonban még ismerték a tanításait, és – „eszméinek megváltozott ereje” miatt – istenítették a szerzőt. Sőt, Lucretius nemcsak ájtultan tisztelte Epikurosz, hanem költői formába öntötte gondolatrendszerét, példákkal egészítette ki és a tanításaival ellentétes állításokat is cáfolta.

Lucretius (tan)költeménye, *A természetéről* (*De rerum natura*) ugyancsak eltűnt – majdnem elveszett. Szerencsére a reneszánsz kezdetén örült divat lett az ókori munkák felkutatása. XXIII. János ellenpápa¹ apostoli titkára, Poggio Bracciolini (1380–1459) nagy könyvvadász volt, és amikor a konstanzi zsinat 1415-ben „trónfosztotta” az ellenpápát, Poggio munka nélkül maradt egy időre. Megtakarított pénzéből útra kelt, hogy kolostorok könyvtáraiban kutatasson régi kéziratok után – nem is sikertelenül. Az egyik kötetről művelt olvasóként azonnal tudta, hogy valami értékeset talált. Lemásoltatta, és elküldte egy itáliai barátjának, aki újabb, tetszetősebb másolatot készített – és betette az antik gyűjteményébe. A könyv előbb-utóbb azért megtalálta útját az olvasókhöz. Később, a 17. században még két 9. századi példány bukkant fel Hollandiában. (Poggio is másolatot fedezett fel; csak egy herculaneumi villában maradhattak fenn elszenesedett, eredeti görög–római papirusztöredékek.) [5]



Lucretius: *De rerum natura* libri VI – reneszánsz másolat a Corvina könyvtárban

(Österreichische Nationalbibliothek, <https://corvina.hu/hu/corvina/virtualis-corvinak/cod170-hu/>)

A *De rerum natura*ban persze nemcsak atomokról, a „fizikai világ” működéséről van szó, hanem a vallásról, a társadalomról, a gyönyörrel, a fájdalomról, a halálról is. Poggio korában Lucretius állításainak többsége szentségtörőnek bizonyult – az 1500-as évek elején a firenzei szinódus betiltotta a könyv iskolai olvasását.²

Nem véletlenül. A költemény szerint minden, még a lélek is láthatatlan részecskékből áll (Lucretius nem az „atom” szót használta, hanem többnyire a „dolgok magvai”-ról beszélt). A változatlan, oszthatatlan, örök életű részecskék állandó mozgásban vannak, és egymással ütközve új formákat hoznak létre. Bár a részecskék száma végtelen, alakjuk és méretük száma véges. Ahogy Démokritosz is tanította, az univerzum atomokból és ürből áll:

*Nincsen azonban a mindenség teletömve anyaggal,
Mert hisz üresség is van mindenben, mit a szem lát.*

A világot nem valamilyen teremtő alkotta, ráadásul számtalan világ létezik, és ... nem vész, bár úgy tűnik, semmi egészen,
Mert hisz a természet mindent mássá alakít csak,
És újat nem szülhet, csak a régi halála.

*Most, hogy feltártam: semmit sem szülhet a semmi,
És ami megszületett, nem térhet a semmibe vissza.*

(Tóth Béla fordítása)

Amikor meghalunk, részecskéink szétoszóródnak, nincs többé öröm és fájdalom.

Nincs túlvilág. De amíg élünk, a létezés legmagasabb rendű célja az élvezetek keresése és a fájdalom elkerülése. [5]

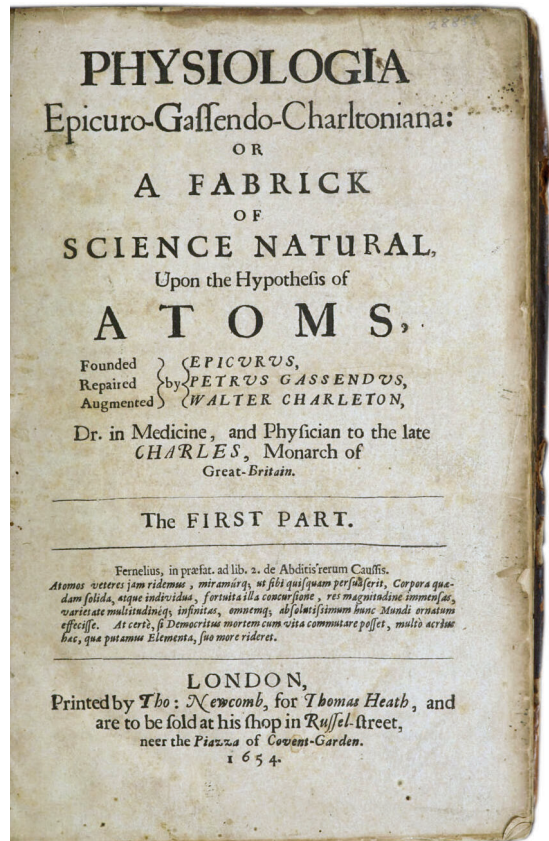
Nyugtalanító eszmék. Olyannyira, hogy Galileit (1564–1642) – akinek tudományfelfogásában (200 évvel *A természetéről* felfedezése után) szintén megjelentek a „nagy apró részecskék” – az utóbbi idők levéltári kutatásai és egyes feltételezések szerint azért ítélték el *csak* a heliocentrikus nézet támogatása miatt, hogy egy még nagyobb eretnokséget elhallgassanak a nyilvánosság elől, hiszen a változatlan „apró részecskék” elképzelése az átlényegülés gondolatát veszélyeztette. [3,5]

Ekkortájt lépett be a történetbe Pierre Gassendi (1592–1655), a francia matematikus, csillagász, teológus, aki levelezett is Galileivel. Descartes kortársaként sokáig háttérbe szorult, de az utóbbi évtizedekben megint felfedezték és nagyra értékelik. A 17. századi természetfilozófia, ahogy Galilei példájából is érzékeljük, nemigen távolodhatott el a teológiától. Gassendi legnagyobb munkája éppen az volt, hogy „megtérítette” az epikurosz tanokat: a lélek halhatatlan és anyagtalan, az atomok száma véges, a lehetséges világok száma egy lett. Az Isten által teremtett és mozgásba hozott atomok gondolata már kiváló hipotézisnek bizonyult egy sor makroszkopikus rendszer leírásához, bár Gassendi mindig az érzékelést, a kísérletet tartotta elsődlegesnek.

Ez a mai szemmel is „félelmetesen jó filozófus” [6] a legrégebbi forráshoz fordult: görögül latinra fordította Diogenész

¹ A 35. ellenpápa, XIII. János (Baldassare Cossa) 1410 és 1415 között; a szentté avatott XIII. János (Angelo Giuseppe Roncalli) 1958 és 1963 között volt egyházfő.

² Másfajta felfogás is létezett azonban: „1549-ben felvetődött, hogy a *De rerum natura* felvegyék a Tiltott könyvek jegyzékére – az 1966-ban eltörölt lista a katolikus hívek számára tiltott könyveket tartalmazta –, de Marcello Cervini bíboros közbelépésére az ötletet elvetették. ... A *De rerum natura* betiltását Michele Ghislieri főinkvizitor is ellenezte. Lucretiust azok közé a pogány könyvek közé sorolta, amelyeket szabadon lehet olvasni, de csak meseként.” [5]



Pierre Gassendi (Louis Edouard Rioult festménye jóval Gassendi halála után, 1846–47 táján készült)

Epikurosz/Gassendi tanainak korai angol megjelenése az orvos Walter Charleton tollából: Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana, 1654 (Wellcome Collection)

Laertiosz 3. századi Epikurosz-életrajzát és Epikurosz Hérodotosznak írt levelét, amelyben a mester összefoglalja a tanításait. Gassendi Lucretiust is olvasta – egy 2023-as könyv szerint pontosan 6249 lucretiusi hexametert idézett az írásában.³ Természetesen nem csak kettőjük munkáját tanulmányozta, és másoktól is beemelt elképzeléseket a filozófiájába, így Arisztotelész négy őselemét sem vetette el, legfeljebb atomos szerkezetűnek gondolta.⁴

Kémikusszemmel érdekesnek tűnik, hogy Gassendi használta először a „molekula” szót, mert szerinte az atomcsoportok molekulákat (aggregátumokat) alkotnak, és ezekből épülnek fel a makroszkopikus testek, ahogy – egy lucretiusi hasonlatot kö-

vetve – a betűkből a szótagok, szavak és mondatok. A fényt viszont atomok hordozzák; ezek szerinte azonosak a hő atomjaival. A gőzök úgy keletkeznek, hogy a hőatomok eltávolítanak néhány atomot a folyadékból, így nő az atomok közötti űr – ez különbözteti meg a gőzt a folyadéktól. Az anyagokat nyilván azért lehet feldarabolni, mert az atomok között űr van. Az aranyat azért oldja a királyvíz, mert az aranyatomok beleillenek a „pórusaiba”. Az űr „akkumulálódhat” is – ez történik például a higanyos barométerben, ahol az űr még nagyobb lesz, ha a barométert felviszik egy domb tetejére. [6]

Gassendi gondolatai gyorsan eljutottak Angliába, és nagy hatást gyakoroltak a mélységesen hívó Robert Boyle-ra (1627–1691), Boyle korpuszkuális elméletének kidolgozására. Démokritosz–Epikurosz–Lucretius atomjai, Gassendi közvetítésével, lassan bekerültek a modern természettudományos gondolkodásba.

De nem minden gondolkodásba, és Alan Mackay Lucretiust megidézve szögezte le a 20. század végén: a társadalmi, gazdasági és politikai rendszerek a tudományon és a műszaki tudáson, végső soron az atomok tulajdonságain alapulnak. Mackay azt is hangsúlyozta, hogy a kémikusok

(véleménye szerint különösen a kristallográfusok) a természetre támaszkodnak egy vita eldöntésében, és olyan megállapodásokra törekszenek, amelyeket egyaránt elfogadnak az eltérő álláspontok követői. Ilyen közös alapra lenne szükség, írta, a különböző nemzetek, vallások képviselői között is utódaink és környezetük fennmaradása érdekében. [3] Ez a megállapítás ma még sokkal időszerűbbnek tűnik, mint harminc-negyven évvel ezelőtt.

Silberer Vera

IRODALOM

- [1] István Hargittai: Remembering Alan L. Mackay (1926–2025)—a scientists' scientist in the footsteps of Lucretius. Structural Chemistry (2025), <https://doi.org/10.1007/s11224-025-02486-7>. István Hargittai: Farewell to Alan L. Mackay (1926–2025)—scientist, friend. International Crystallography Newsletter (2025) 33/2.
- [2] Hargittai István: Mozaikokból egy élet. Budapest: Akadémiai, 2019.
- [3] Alan L. Mackay: Lucretius: atoms and opinions. Symmetry (1990) 1(1), 3–17.
- [4] Titus Lucretius Carus: A természetről. Fordította, a bevezetést és a jegyzeteket írta: Tóth Béla. Budapest: Kossuth, 1997.
- [5] Stephen Greenblatt: Egy reneszánsz könyvvadász. Fordította: Zsuppán András. Budapest: Typotex, 2015.
- [6] Saul Fisher: Pierre Gassendi's philosophy and science. Leiden–Boston: Brill, 2005. Saul Fisher: Pierre Gassendi. In The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Spring 2014 Edition.