

## A százéves elektron

### Fejezetek az atomfogalom történetéből

*Az embert ősidőktől fogva izgatta a kérdés, hogy mi alkotja az anyagi világot. Bármilyen eltérés is van az egyes tárgyak külső megjelenése, tulajdonságai között, mégis régóta feltételezték, hogy lehet valami közöst találni a különböző anyagokban. Tudták azt is, hogy a természetet nemcsak maga a természet, hanem az ember is át tudja alakítani, meg tudja változtatni, ami néha káros is lehet.*

*Ha például erdőket irt ki, az csak pillanatnyi haszonnal jár, hiszen később már használhatatlan lesz a terület.*

*A változásokat csak az anyag összetett voltával lehetett megmagyarázni. Így magától értetődő volt az a következtetés, hogy lenni kell olyan elemeknek, amelyek tovább már nem bonthatók.*

Az őselemekkel, az őszanyaggal kapcsolatos legelső nézetek a görög filozófusoktól maradtak ránk, akik azonban valószínűleg a régebbi kultúrnépek körében ismert elképzelések felhasználásával alkották meg a sajátjukat.

#### Tudománytörténeti előzmények

A legrégebbi görög filozófiai iskola az úgynevezett ión iskola volt, amelynek vezéralakja és alapítója, *Thalész* (i.e. 624–547), az ókori hét bölcs egyike a vizet tartotta őselemnek. Szerinte minden ebből alakult ki, s ez az elmélet később is fel-felbukkant a történelem során, s a növényvilág fejlődése is épp ezt látszik igazolni.

Az ókori atomelmélet szintén vissza-visszatért a századok során, amelyet *Anaxagórasz* (i.e. 500–428) fejtett ki elsőként. Szerinte minden dolog parányi magokból épül fel, arról azonban nem nyilatkozik, hogy ezek oszthatók-e. Más esetekben viszont az atom, mint valami többé-kevésbé meghatározott részecske, gyakran őselemként is szerepel. *Démokritosz* (i.e. 460–370) szerint minden atomokból áll, amelyek tovább nem oszthatók. Az atomok közt azonban nincs minőségi különbség, az atomokon és az üres téren kívül nem létezik semmi. A tárgyak közti különbség csupán az atomjaik száma, nagysága, alakja és rendje szerinti különbségtől függ. Az atomok száma és alakja a világmindenségben végtelen. Démokritosz elméletében tehát csak egy őszanyag van: az atom. Egy ránk maradt töredékében a következőt írja:

„Semmi sem történik véletlenül, hanem minden okkal és szükségszerűen.

Semmi sem teremthető a semmiből, és semmi sem pusztítható el és változtatható semmivé.

A világnak nincs vége, mert semmiféle külső hatalom nem teremtette.

A szín konvenció, az érdes és konvenció, a keserű is konvenció! Az egyedüli valóság: az atomok és az űr.”

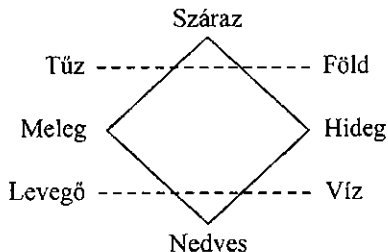
Az atomisztikus elképzelések termékeny talajra találtak *Lucretius Carus* római költőnél, akitől a túloldalon kiemelt idézetek származnak.

Az anyag atomos szerkezetéről szóló elképzelések az esetek többségében materialista világgépet tükröztek, ezért az idealista, vallásos irányzatok támadásának keresztüzében állnak, amire példákat is látunk majd.

A legfontosabb és a középkorban elfogadott, később dogmaként tisztelt elemelméletet Arisztotelész (i. e. 384–322) alkotta. A tudós a makedóniai Stagira városában született. Tizenhétéves korában Athénba indult, ahol az akkor hatvanéves Plátón tanítványa lett. Mestere halála után a tizennégyéves Nagy Sándor nevelője. I. e. 334-től ismét Athénban tanított. Tanítási szokásainak egyik jellegzetessége, hogy oktatás közben tanítványaival együtt sétált (περιπατεομαι), amiért ezt a gyakorlatot peripatetikus iskolának nevezték el. A történelemben a maga idejéig teljesen szokatlan méretű tudományos kutató központot hozott létre, ahol tanítványaival együtt adatokat gyűjtöttek, feldolgozták a legkülönbözőbb tudományterületekre – mint a természettudományokra, orvostudományra, filozófiára, történelemre, politikára, közgazdaságtanra, logikára stb. – vonatkozó ismereteket, s némelyik területen, például a biológiában, máig érvényes megállapításokat tettek.

Arisztotelész a maga elemelméletét ősrégi indiai alapokra helyezte, miszerint a világon minden négy elemből: tűzből, levegőből, vízből és földből áll. Ezekhez hozzátett még egy ötödiket is, az étert, s úgy képzelte, ebből állnak a földi tárgyaktól lényegükben különböző égitestek, vagyis ez egy égi princípium volt, mely örök és elpusztíthatatlan.

A földi négy elem mellé négy őstulajdonságot képzelt Arisztotelész: a meleget, a hideget, a szárazat és a nedveset. Úgy vélte, ezek harca okozza a változásokat. Minden őselem két őstulajdonsággal rendelkezik, amelyek közül egy-egy közös valamelyik másik őselemével. Valahogy így lehetne mindezt ábrázolni:



Míg az atomista nézetek szerint az ütközések, az atomok egyesülése vagy szétoszlása okozza a kémiai és fizikai jelenségeket, addig Arisztotelész szerint ezek oka az őselemek,

*„Most, hogy feltártam: semmit sem  
szülhet a semmi,  
És ami megszületett, nem térhet a  
semmibe vissza,  
Mégis azért, hogy kételkedni ne  
kezdj szavaimbán,  
Hogy nem láthatjuk meg az  
ősanyagot szemeinkkel,  
Halld, és ismerd el magad is, hogy  
vannak a dolgok  
Közt olyanok bőven, melyeket nem  
láthat az ember.”*

Máshol így ír:

*„...ha öltönyödöt víz szélénél  
felakasztod,  
Nyirkos lesz, míg újra a napra kiteve  
kiszárad.  
S nem láthattuk, a nedvesség hogy  
járta keresztül,  
Vagy hogy a hőségtől ismét mint  
szállt ki belőle.  
Mert hisz a nedvesség oly csöpp  
részekre oszolva  
Száll, hogy a szem sehogyan sem  
tudja követni az útját.”*

Lucretius Carus  
(Tóth Béla fordítása)

illetve az őstulajdonságok arányának a megváltozása. Az anyag szerinte folytonosan osztható. Az anyag átalakulása folyamatos, például a Föld mélyében évezredek alatt a föld és a víz egyesül fémekké.

A középkorban a keresztény Európa az arabok közvetítésével ismerkedik meg az antik tudománnyal. Az arab filozófusok Arisztotelész elemelméletét vették át, amelyet némileg módosítottak, miszerint további két őanyagot képzeltek el hozzá, ez pedig a higany és a kén volt, amelyeken azonban nem a mai értelemben vett két elemet kell érteni. A higany és a kén az arab filozófusok szerint valamilyen formában szétbonthatatlan vegyülete a négy alapelemnek, s ezek képezik különböző arányban a többi anyagot. A középkori alkímisták a higany és a kén mellé egy további őanyagot, a sót is odasorolták, amely felfogásukban az éghetetlen és vízben oldható részeket jelentette.

Az atomokról szóló elképzelés később is fel-felbukkant, bár főleg bírálatok formájában. Mint tudományos elképzeléssel, találkozhatunk a hetedik században a hispániai (mai Spanyolország) *Isidorus* és az írországi *Bedda* műveiben, majd a 10. század körül *Conchesi Vilmos* és *Hugo de St. Victor* munkáiban. Ezek a nézetek igen óvatos formában jelentkeztek, de ezután ismét évszázadokra eltűnnek és Európában Arisztotelész nézetei válnak uralkodóvá. A középkori egyetemeken egyértelműen az eredeti arisztotelészi négy elem elképzelése volt az uralkodó.

A 17. század elején találkozhatunk csak olyan véleményekkel, amelyek már nem ragaszkodnak szigorúan az arisztotelészi elképzelésekhez, hanem módosítják, illetve megfigyeléseknek, kísérleteknek vetik alá őket, s ezek alapján jutnak új következtetésekre. A tudósok ekkor már egyetértenek abban, hogy a tűz nem lehet elem. A legjelentősebb közülük *Jan Batiste van Helmont* (1577–1644). Ő mondta ki, hogy az anyagoknak különböző halmazállapotaik vannak, s az ezekbe való átváltozások nem változtatják meg a minőségüket, és hogy nem minden, ami légnemű, azonos a levegővel. Felfedezte, hogy különböző gázok léteznek, s vizsgálta az oldódás folyamatát is.

Helmont és mások megállapításai a halmazállapot-változásokról, az oldásról, továbbá arról, hogy az anyagi minőség ilyenkor a forma megváltozása ellenére változatlan marad, felvetették a kérdést, hogy miként lehet ezeket a tapasztalatokat magyarázni? És ekkor ismét előkerül az ókori atomelmélet.

A korabeli szerzők írásaiban egyre többször fordul elő az atom szó, bár annak értelmezése még nagyon változó volt. *Giordano Bruno* (1548–1600) lehetett az első, aki határozottan visszanyúlt az atomelmülethez. Az atomokat Démokritoszhoz hasonlóan inkább mint őanyagot képzelte el. Később *Galilei* atomképe inkább a geometriai ponthoz volt hasonlatos, így nem hozható kapcsolatba az elemfogalom fejlődésével.

*Daniel Sennert* (1572–1637) német orvos a kémiai és fizikai jelenségek oldaláról vetette fel az atomok létének a kérdését. Elképzelése szerint az anyag igen kicsi, egyszerű, tovább már nem osztható részecskékből áll, és ennek segítségével magyaráz számos jelenséget, mint például a párolgást, szublimációt, az oldódást. Ilyenkor az anyag összesűrített atomjai kiterjednek, szétoszlanak, míg kondenzáció esetében összesűrűsödnek. A fémek és a sók oldódása esetében az anyag olyan kis részecskékre oszlik, amelyeket már nem tudunk érzékelni. Az *anyagok szaga* is szükségszerűen feltételezi, hogy az igen kicsi részecskék elszabaduljanak belőle. Sennert elképzelése az arisztotelészi és a démokritoszi kép közé helyezhető, miszerint vannak elsőrendű atomok: a tűz, a levegő, a víz és a földatomok. (Figyeljük meg: nemhogy még mindig elemnek tekinti a vizet, hanem még a levegőt is.) Vannak másodrendű atomok, ezekből állnak a négy elemből képzett összetett testek. A másodrendű atomok vegyületeiből újabb testek képződhetnek. (Ebben akár az atomok és a molekulák megsejtését is láthatjuk.)

Sennert nyomán egyre több híve támadt az atomelméletnek, ám a hivatalos tudomány továbbra is az arisztotelészi tanokat hirdette. Érdekességként említjük, hogy 1624. augusztus 24-én Párizsban néhány tudós vitaülést akart szervezni, amelynek épp az atom-

elmélet védelme lett volna a célja. Azonban e tanokat a ma is híres párizsi egyetem, a Sorbonne tanári kara hamisnak nyilvánította. A kitűzött helyre a megadott időpontban már mintegy ezer érdeklődő gyűlt össze, ám a vita elmaradt, mivel a megelőző éjszaka a rendező tudósok egy részét letartóztatták, más részük pedig elmenekült. A párizsi bíróság később kitiltotta őket a városból. A Sorbonne-on pedig még közel egy évszázadon keresztül esküt kellett tenniük a tanároknak, hogy nem fognak a katedráról Arisztotelésszel ellentétes nézeteket hirdetni.

Mégis egy francia pap, *Pierre Gassendi* (1592–1655) volt az, aki visszanyúlt az eredeti ókori démokritoszi elképzelésekhez, mivel ő elismerte az üres tér létezését. Ez pedig ellentétes volt Arisztotelész tanításával, aki szerint a természet iszonyodik az ürtől. Gassendi azonban már ismerte az üres teret *Torricelli* híres kísérletéből, amely a higanyval töltött csőben képződik, ha annak nyitott végét higanyval telt tálba helyezzük. A külső légnyomás ugyanis csak 760 mm magasra nyomja fel a higanyt a csőben, e felett pedig légüres tér van. Gassendi szerint a testeken belül is üres terek vannak, amelyekben az atomok mozognak. Az atomok egy őanyag legkisebb, tovább már nem osztható részecskéi, amelyek azonban nem pontszerűek. Anyaguk, nagyságuk, tömegük és alakjuk szerint azonban különbözőek. Az atomokból kis képződmények jöhetnek létre, amelyet molekulának nevezett.

Ettől kezdve az atomisztikus elképzelés már minden tudományos elméletben fellelhető, de az elem fogalma még nem alakult ki.

A kémiával foglalkozók, elsősorban az alkimisták, bár később már az orvosok is, nagyon sok anyagot előállítottak, sok reakciót megvizsgáltak. A kísérleti tapasztalatok közt meg kellett próbálni valamilyen rendet teremteni. Az orvosi kémia az élő szervezet vizsgálata során észrevette, hogy a folyamatokban nagy szerepet játszanak a vizes oldatok. Így az alkimisták olvadékai helyett (arany előállításának céljából) a vizes oldatok vizsgálata került előtérbe. A tudósok felfigyeltek az egyes reakciók közti hasonlóságokra, melyek eredményeképpen a növényi eredetű „indikátorok” segítségével elkülönítették a savakat és a bázisokat. Megfigyelték a közömbösítési folyamatokat is. Ugyanakkor arra is rájöttek, hogy vannak olyan anyagok, amelyeket lombikjaikban szét tudnak bontani, majd ismét előállítani, viszont vannak olyanok, amelyek néha eltűnnek, más anyagokká alakulnak át, majd az új anyagból többnyire eredeti formában visszanyerhetők, maguk viszont tovább már nem bonthatók. Vagyis felfedezték az elemeket és a vegyületeket.

A kémiai elem fogalmát először *Robert Boyle* (1627–1691) ír természetkutató határozta meg, méghozzá a következőképpen: „Én elemem azt értem, amit a legvilágosabb beszédű kémikusok a maguk őselvén értenek: bizonyos egyszerű vagy teljességgel elegyítetlen testeket, amelyek nem állnak más testekből vagy egymásból, amelyek alkotórészei valamennyi tökéletesen elegyített testnek, amelyek közvetlenül ezekből vannak összetéve, és amelyek végezetül ezeké bonthatók szét.”

Hogy hány ilyen elem van, arra még nem tudott válaszolni, azt azonban valószínűsítette, hogy sokkal több, mint kettő, három vagy négy. Boyle nézetei hamarosan általánossá váltak a kémikusok közt, bár hogy ki mely anyagot tartott elemnek, az általában változó volt. Az elemek közé sorolták például a savakat és a lúgokat, de érdekes módon a fémeket nem, hanem a fémoxidokat tartották eleminek.

Boyle minden általa vizsgálat jelenséget az anyag részecsketermészetével próbált megmagyarázni. Úgy vélte, hogy valószínűleg egyetlen őanyag van, de lehetséges, hogy több, és ez képezi az atomokat. Vagyis nyitva hagyta a végső alkotórész kérdését és az ezzel kapcsolatos filozófiai nézeteket, ellenben a gyakorlati kémia számára megteremtette az elem fogalmát. A filozófiában és a fizikában azonban tovább élt az „őselem” kérdése.

A savakat Boyle a következőképp határozta meg: azok az anyagok, amelyek feloldják a fémeket, a bázisokkal semleges sókat képeznek és bizonyos növényi kivonatok színét jel-

lemző módon megváltoztatják. Boyle sok indikátort is felfedezett és alkalmazott, mint például az ibolya, a búzavirág, a lakmusz stb. „...ha valamely anyag a szirup színét vörösré változtatja, ez azt bizonyítja, hogy az illető anyagban a savas jelleg van túlsúlyban, de ha a szirup színe zöldre változik, ez amellest szól, hogy az uralkodó jelleg a savakkal ellentétes tulajdonságú...” – írja az *Experimenta de Coloribus* című könyvében.

Tovább bővítette kémiai elem fogalmát, illetve az elemek sorát a francia *Antoine Laurent Lavoisier* (1743–1794). A levegő és a víz összetett voltának a felfedezése, illetve az oxigén, a nitrogén és a hidrogén megismerése kapcsán a mai felfogáshoz hasonlóan minősítette az egyes anyagokat elemmé. Szerinte az elemeket sem fizikai, sem kémiai módszerekkel nem lehet tovább bontani.

Vizsgálódásai, illetve a reakciók tanulmányozása során a kémikusok bizonyos számszerűleg kifejezhető törvényeket fedeznek fel. Először rájönnek arra, hogy a közömbösítésnél, majd később az oxidok képződésénél a vegyületek csak bizonyos meghatározott tömegarányok szerint jöhetnek létre.

*Joseph Louis Proust* (1755–1826) felismerte, hogy ha két elem egymással többféle vegyületet alkot, akkor az arányok ugrás-szerűen változnak és minden vegyület határozott tömegaránytal rendelkezik. *John Dalton* (1766–1844) kimutatja, hogy ha két elem többféle vegyületet alkothat egymással, akkor az egyik elem azon mennyiségei, amelyek a másik elem ugyanazon mennyiségével képesek vegyülni, úgy aránylanak egymáshoz, mint a kicsiny egész számok. És ennek indoklására nyúl az atomelmélethez. Dalton atomelmélete azonban különbözik minden addigi atomelmélettől, mivel az mennyiségi értelmezést is ad!

Vegyünk egy egyszerű példát, mégpedig a szén kétféle oxidját! Az egyik vegyületben az oxigén tömegaránya minden esetben 57,1%, míg a másikban 72,7%. Köztes, avagy más arány nem lehetséges fel. Nézzük meg azonban, hogy azonos mennyiségű szenet alapul véve, mekkora a kétféle

vegyületben az oxigén mennyisége. Az azonos mennyiségű szén az egyszerűség kedvéért legyen éppen 12 g. Az egyik vegyületben ehhez 16 g oxigén kapcsolódik, míg a másikban 32 g. Vegyük észre, hogy ebben a felírási módban azonnal látszik a 1:2 arány!

Az atomok Dalton szerint az anyag legkisebb részecskéi. Ugyanazon elem atomjai minden tulajdonságukban hasonlítanak egymáshoz, a különböző elemek atomjai azonban különbözőek. A vegyületek az atomok egyesülésével jönnek létre, és csak egész atomok egyesülhetnek. Ezzel válik érthetővé az állandó tömegarányok törvénye! A különböző elemek atomjainak tömege különböző. A vegyületek képződésénél megállapított tömegarányok az egyes atomok eltérő tömegének a következményei. Ha tehát egy viszonyítási alapot választunk, akkor az atomok egymáshoz viszonyított tömege megadható. E célra végül is a legkönnyebb elemet, a hidrogént jelölték ki.

Az atomelmélet kísérleti igazolásának tekinthetők a vegyülő gázok térfogati törvényei. 1805-ben *Gay-Lussac* és *Humboldt* a víz képződésének feltételeit vizsgálta, különös tekintettel arra az esetre, amikor vagy a hidrogén, vagy az oxigén feleslegben volt. Példá-

*A kémiai elem fogalmát először Robert Boyle (1627–1691) ír természetkutató határozta meg, méghozzá a következőképpen: „En elemen az tértem, amit a legvilágosabb beszédű kémikusok a maguk őselvén értenek: bizonyos egyszerű vagy teljességgel elegyítetlen testeket, amelyek nem állnak más testekből vagy egymásból, amelyek alkotórészei valamennyi tökéletesen elegyített testnek, amelyek közvetlenül ezekből vannak összetéve, és amelyek végezetül ezekké bonthatók szét.”*

ul 200 térfogatrész hidrogén és 100 térfogatrész oxigén elektromos szikrával való robbantásakor a gázalmazállapot teljesen eltűnik. Viszont 100 térfogatrész oxigénrészhez 300 térfogatrész hidrogént keverve 100 térfogatrész hidrogén megmarad stb. Vagyis megállapították, hogy a hidrogén és az oxigén 2:1 térfogatarányban vegyül, függetlenül attól, hogy melyikből mennyi van. Később a nitrogén és a hidrogén reakcióját is vizsgálják, ahol az arány 1:3 volt.

Gay-Lussac a következőképp írt erről a kérdéstről 1808-ban: „A gázok egy új tulajdonságát fogják ebben a dolgozatban megismerni, amely tulajdonság egy szigorú törvénynek engedelmessékedik. Azt szándékozom ugyanis az alábbiakban bebizonyítani, hogy a gáz állapotú anyagok egymás között nagyon egyszerű viszonyok szerint vegyülnek, továbbá hogy a térfogatcsökkenés, amely ezen vegyüléskor bekövetkezik, ugyancsak meghatározott törvényszerűséget követ. Remélem, hozzájárulok ezzel kiváló kémikusok azon kijelentéseinek igazolásához, hogy nem vagyunk már messze attól az időtől, amikor a legtöbb kémiai jelenség matematikailag kiszámítható lesz.” Alább pedig: „Bebizonyítottam... hogy a gáz alapú vegyületek egymással alkotott vegyületei nagyon egyszerű (térfogat) arányok szerint keletkeznek; ha az egyik (térfogatát) egységnyinek tekintjük, úgy a másiké 1, 2 vagy legfeljebb 3. Ezeket a térfogatarányokat nem találjuk meg a folyékony vagy szilárd vegyületek körében, és akkor sem, ha csak a súlyarányokat (tömegarányokat) vizsgáljuk. Új bizonyíték ez arra nézve, hogy a gáz alak az, amelyben az anyagok azonos körülmények között vannak és ahol szabályos törvényeket követnek.” A cikk befejezéseként a következőt írta: „Dalton úr nemrégiben kifejtett elképzelését, nevezetesen, hogy a vegyüléskor atom reagál atommal vagy két atommal vagy három atommal, látszik támogatni.”

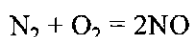
Az atomhipotézis és a reagáló térfogatokra vonatkozó megfigyelések *Avogadrót* egy újabb feltételezéshez vezették, amelyet a következőképp fogalmazott meg 1911-ben: „M. Gay-Lussac egy érdekes tanulmányában megmutatta, hogy a gázok mindig nagyon egyszerű térfogatarányok szerint vegyülnek egymással, és ha az egyesülés terméke is gáz, úgy ennek a térfogata is nagyon egyszerű viszonyban áll az összetevőkéivel. De a vegyületeket felépítő anyagok mennyiségi viszonyai, úgy tetszik, csak az egyesülő atomok és a keletkező molekulák viszonylagos számától függenek. El kell tehát ismernünk, hogy ugyancsak nagyon egyszerű összefüggések állnak fenn a gázok térfogatai és az őket felépítő atomok és molekulák száma között. A legegyszerűbb kínálózó hipotézis, amely láthatóan ugyanakkor az egyetlen elfogadható is, az a feltevés, hogy egyenlő térfogatokat tekintve, bármely gázban ugyanannyi molekula van, vagyis hogy a molekulák számára arányos a térfogattal.”

Ehhez és a többi idézethez is hozzá kell tennünk, hogy a térfogatokat azonos hőmérsékleten és nyomáson kell mérni.

Az érdekes az, hogy maga Dalton mégis támadta e törvényt. Mi lehetett az oka ennek?

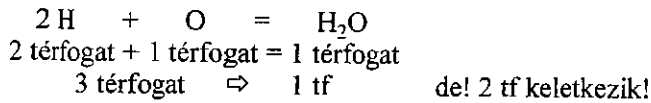
Az általa felállított atomhipotézis és Gay-Lussac törvénye a vegyülő gázokra ugyanis csak akkor állhat fenn egyidejűleg, ha az atomsúly és a gáztérfogat között arányosság van (ami igaz is), vagyis ha a különböző gázok sűrűsége az atomsúlyok arányában nő. Azonban ezt az adott korban még nem lehetett látni a hibás mérések miatt. De volt egy mások ellenérve is Daltonnak, amelyet napjainkban a kétatomos elemmolekulák létevel magyarázunk, de ez akkor még ismeretlen volt. Nézzük meg a következő példát:

1 térfogat nitrogéngáz 1 térfogat oxigéngázzal úgy reagál, hogy közben 2 térfogat nitrogén-monoxid keletkezik és nem pedig 1 térfogat!

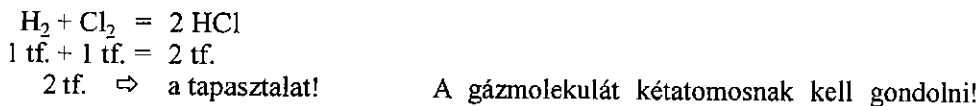
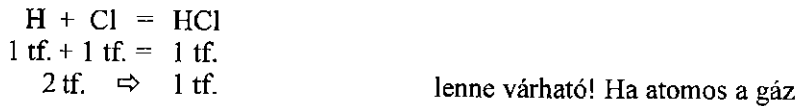


$$1 \text{ tf.} + 1 \text{ tf.} = 2 \text{ tf.}$$

Továbbá



Avogadro vette észre, hogy



A hidrogénre vonatkoztatott relatív atomtömegek jó közelítéssel egész számok. Ez a tény alkalmas arra, hogy ismét feléledjen az őselem-hipotézis. *William Prout* (1786–1850) angol orvos 1815-ben terjeszti elő azt az elképzelését, hogy a hidrogén lehet az őanyag. Hipotézise szerint ebből képződött a többi elem, mégpedig úgy, hogy azok atomjait több, minden esetben meghatározott hidrogénatom alkotja. Az elképzelés sokaknak tetszett és mai tudásunk szerint is nagyon közel jár a valósághoz, ám mégis feledésbe merült. Ugyanis a kor vezető kémikusa, a svéd *Jöns Jakob Berzelius* (1779–1848) rendkívül pontos relatív atomtömeg-meghatározásaiból az derült ki, hogy azok korántsem tekinthetők egész számoknak (Mi már tudjuk, miért, hiszen az elemeket alkotó atomok különböző tömegszámú izotópok keverékei.) Továbbá abban az időben nem volt még egységes a viszonyítási alap. Volt, aki a hidrogént és volt, aki az oxigént használta viszonyítási alapként.

Az atomos, illetve a molekuláris szemléletet a fizika oldaláról az 1865-től kialakuló kinetikus gázelmélet támasztja alá, amely statisztikai megfontolások segítségével szemléletesen értelmezte például a gázok nyomását, a belső energiát, a gázmolekulák sebességének nagyságát stb. *Loschmidt* ennek alapján meg is határozza a molnyi mennyiségű anyagban lévő molekulák számát, amelyet napjainkban inkább Avogadro-állandónak hívnak. Ne felejtsük el azonban, hogy az atomos felfogás ebben a korban még hipotetikus, és a 19–20. század fordulója táján sokan elutasították illetve nem tekintették többnek egyszerű munkahipotézisnél. Teljesen meggyőző bizonyítékként az *Einstein* által 1905-ben értelmezett Brown-mozgást és a röntgensugarak kristályokon való elhajlására vonatkozó, 1912-ben végrehajtott *Laue*-kísérletet lehet tekinteni. A legdöntőbb bizonyítéknak azonban az a tény tekinthető, hogy az Avogadro-állandót számos jelenség vizsgálatából, egymástól független módszerekkel is meghatározták (pl. a Brown-mozgás, elektrolízis, radioaktivitás), amelyek a kísérleti hibák határán belül ugyanarra az eredményre vezettek. Értéke a jelenleg legpontosabbnak elfogadott mérések szerint:

$$L = 6,0225 \times 10^{23}$$

### Van-e szerkezete az atomnak?

A 19. század második felének tudósai már sok elemet ismertek, amelyeket családokba rendeztek, de a családok egymással való kapcsolatáról nem sokat tudtak. A választ a napjainkban már jól ismert periódusos rendszer felismerése mutatta meg. Hattározottan *Mengyelejev* mondta ki először 1869-ben kéthónapi töprengés után erre vonatkozó hipotézisét. A periódusos törvény rendkívül merész általánosítás volt, miszerint az akkor még

éppen elfogadott atom súlyok és az elemek természete közti összefüggést alapvető természeti törvényként állította be. Több addig fel nem fedezett elem tulajdonságait „jósolta” meg hipotézise alapján, amelyek később helyesnek bizonyultak. Idézet Mengyelejev 1869-ben megjelent cikkéből, amely a *Zeitschrift für Chemie*-ben jelent meg:

„Ha az elemeket függőleges oszlopokban rendezzük el növekvő atom súly szerint, úgy, hogy a vízszintes sorok analóg elemeket tartalmazzanak ismét csak növekvő atom súlyuknak megfelelően, olyan elrendezést kapunk, amelyből több általános következtetést vonhatunk le:

1. Az atom súlyok nagysága szerint elrendezett elemek tulajdonságaik periodikus változását mutatják.

2. Kémia ilag hasonló elemek atom súlyja vagy igen közel esik egymáshoz (Pt, Ir, Os), vagy azonos nagysággal növekszik (K, Rb, Cs).

3. Az atom súlyok szerinti elrendezés megfelel az elemek valenciájának és bizonyos fokig a kémiai viselkedésükben mutatott különbségeknek; például Li, Be, B, C, N, O, F.

4. A természetben leggyakrabban előforduló elemeknek kicsi az atom súlyuk, és mindegyik ilyen elem jellegzetes viselkedésével tűnik ki. Ilyen módon ezek típusoknak tekinthetők, és a legkönnyebb elem, a hidrogén jogosan szerepel mint a tömeg egysége...

(...)

6. Sok új elem felfedezését megjósolhatjuk; például a Si és Al analóg elemei a 65 és 75 atom súly között.

7. Néhány atom súlyt feltehetőleg korrigálni kell. Például a Te atom súlyja nem lehet 128, hanem 123 és 126 közé kell esnie.

8. A táblázatból új hasonlóságok is leolvashatók; így az U a Be és Al analogonjaként jelentkezik, ez egybevág a kísérleti eredményekkel.”

Az atomelmélet legtöbb követője Dalton nyomán az atomokat oszthatatlan és változatlan részecskéknak, azaz egymásba semmiképpen át nem alakítható és kisebb részekre nem bontható egységeknak tartotta. Viszont a periódusos rendszerben mutatkozó szabályos ismétlődések nyilván csak úgy képzelhetők el, hogy az atomok kisebb alkotórészekből épülnek fel, valamilyen törvényszerűen ismétlődő csoportosulás szerint. Ezekben az évtizedekben is vannak olyan kutatók, akik még az atomok létében is kételkednek, és vannak, akik azokat tovább akarják osztani még elemibb részecskékre. Végül is ez utóbbiaknak lesz igaza, hiszen a 19. század végén felfedezik az elektront, majd néhány évtized alatt megismerik az atom szerkezetét, amely napjainkban már minden iskolában tananyag.

### Sugárzások

Lépjünk kicsit vissza az időben! A 19. század első felének fontos kutatási területe volt az elektromosság tan. *Volta* 1800-ban alkotta meg a róla elnevezett oszlopot. *Berzelius* már 1803-ban megfogalmazta azt a megfigyelését, hogy a savak pozitív, a bázisok pedig a negatív pólus körül gyűlnek össze az elektrolízis során. Ebből arra következtetett, hogy az anyagok kémiai természete összefügg elektromos viselkedésükkel. *Davy* 1806-ban hasonló megállapítás tett, miközben a fémoxidokat bontotta elektromos úton.

Az elektrolízis alapvető törvényszerűségeinek felfedezése *Faraday* nevéhez kapcsolódik. Ezzel foglalkozó tanulmánya végén hipotetikusan felvetette, hogy a testek kémia ilag egyenértékű mennyiségei az „elektromosság egyenlő mennyiségét tartalmazzák”. Majd így folytatta: „Ha elfogadjuk az atomelméletet, akkor azt mondhatjuk, hogy kémiai hatásaikban egymással ekvivalens testek atomjaiban egyenlő mennyiségű elektromosság van”; de hozzátette: „...én bizalmatlan vagyok az atom kifejezéssel kapcsolatban.” *Faraday* ugyanis azt gondolta, hogy az elektromosság nem súlyos anyag, illetve nem súlytalan folyadék, ahogyan néhányan akkor gondolták, hanem meghatározott típusú erő. Ne



felejtjük el, hogy ekkor a 19. század első felében az atomelmélet még nem fizikailag megalapozott, matematikailag leírható elmélet.

*Helmholtz*, aki a hőtan első főtételét mai alakjában megfogalmazta, 1882-ben a következőt mondta: „Ha elfogadjuk azt a hipotézist, hogy az elemi anyagok atomokból állnak, akkor nem kerülhetjük el azt a következtetést, hogy mind a pozitív, mind a negatív elektromosság is meghatározott elemi mennyiségekre osztozott, amelyek az elektromosság atomjaiként viselkednek.”

Faraday tanulmányozta a légritkított csövekben jelentkező gázkisüléseket, ami mintegy előfutára volt a később oly fontossá vált katódsugár-kísérleteknek.

### Az elektron felfedezése

Az elektromos áram ritkított gázokban (mindössze néhány Pa nyomás) való vezetésének vizsgálata közben fedezte fel az elektront 1897-ben *Joseph Thomson*. Már az 1870-es évektől kezdve ismerték azt a jelenséget, hogy a légritkított térben lévő fémlektrodok között, megfelelően nagy potenciálkülönbség (néhány ezer volt) esetében a katódról sugárzás indul ki, amelyet el is neveztek katódsugárzásnak. Az eszköz neve pedig katódsugárcső.

Thomson vizsgálatai során kimutatta, hogy a katódsugár olyan részecskékből áll, amely részecskék azonosak, bármilyen elemet is használt katódként vagy töltőgázként. Továbbá fémekből nemcsak a katódsugárcsőben léphetnek ki az előbb említett részecskék, hanem hevítés, sőt bizonyos fémekből megvilágítás hatására is. Így arra a következtetésre jutott, hogy ezek a részecskék minden elem atomjának alkotórészei, amelyeket elektronoknak neveztek el. A szó görög eredetű és borostyánkővet jelent. (A borostyánkő dörzsölés hatására elektromos állapotba kerül, amely jelenséget már az ókori görögök is ismerték, bár magyarázni természetesen még nem tudták. Erre a régen ismert tapasztalatra emlékeztet az elnevezés.) A nevet egyébként nem Thomson, hanem *Georg J. Stoney* adta már 1874-ben, mivel rámutatott arra, hogy amennyiben az anyag atomos szerkezetű, akkor az elektromosságnak is kell, hogy legkisebb adagja legyen.

A következő lépés az volt, hogy meg kellett határozni az újonnan felfedezett részecske tulajdonságait, tömegét és töltését. A katódsugárcsőből kilépő sugárzás negatív töltésű részecskéinek fajlagos töltése a mérések szerint  $-1,758804 \times 10^{11}$  C/kg. Ennél nagyobb abszolút értékű fajlagos töltést sohasem észleltek. Az elektron hordozza tehát a tömegegységre jutó legnagyobb töltést.

Az elektron töltését 1910-ben *Millikan* mérte meg nagy pontossággal, amely  $1,6 \times 10^{-19}$  C-nak adódott. A töltésnek létezik egy legkisebb, tovább nem osztható adagja, amelyet ezrét elemi töltésnek nevezünk.

A legújabb évek kutatási eredményei szerint léteznek olyan eleminek tekinthető részecskék, amelyek az elektromos töltés törtrészét hordozzák. Ezeket kvarkoknak nevezik. Töltésüket is kimérték, amelye  $+2e/3$ -nak és  $-e/3$ -nak adódott. A kétféle kvark neve *u* (up) és *d* (down). A proton e modell szerint két *u* és egy *d* kvarkból (*uud*), a neutron pedig egy *u* és két *d* kvarkból (*udd*) áll. Azonban magányos kvarkot előállítani (miként magányos elektront) eddig még nem sikerült. Az elektron nem bontható tovább semmilyen módon, a kísérletek szerint nincs belső szerkezete, úgy mint a protonnak és a neutronnak.

Az elektron tömege töltése és fajlagos töltése segítségével a két mérés alapján már kiszámítható:

$$m = \frac{-e}{\frac{-e}{m}} = 0,910953 \times 10^{-30} \text{ kg.}$$

Összefoglalásként a következők állapíthatók meg az elektrorról: a legkisebb tömegű elektromosan töltött részecske az elektron, az elemi töltés hordozója, oszthatatlan egy-

ség. Tömege közel  $10^{-30}$ kg, töltése  $-1,6 \times 10^{-19}$ C. Thomson így írt róla 1897-ben: „Ezekből a mérésekből azt látjuk, hogy  $m/q$  értéke független a gáz természetétől, nagysága ( $10^{-7}$ ) pedig nagyon kicsiny a  $10^{-4}$  értékhez képest, amely eleddig ezen mennyiség legkisebb ismert értéke volt és amely érték az elektrolízisben található hidrogénionhoz tartozik...  $m/q$  kicsiny volta eredhet  $m$  kicsinységéből, vagy  $q$  nagyságából, vagy a kettő kombinációjából... Ilyen módon a katódsugarak az anyag új állapotát jelentik, egy olyan állapotot, amelyben az anyag részecskéire bomlása sokkal magasabb fokú, mint a közönséges gázállapotban: ez egy olyan állapot, melyben minden anyag – származzon az hidrogénből, oxigénből vagy bármely más forrásból – már egy és ugyanazon fajta; lévén ez a szubsztancia, amelyből az összes kémiai elem felépül.”

*Thomson vizsgálatai során kimutatta, hogy a katódsugár olyan részecskékből áll, amely részecskék azonosak, bármilyen elemet is használt katódként vagy töltőgázként. Továbbá fémekből nemcsak a katódsugár-csőben léphetnek ki az előbb említett részecskék, hanem hevítés, sőt bizonyos fémekből megvilágítás hatására is. Így arra a következtetésre jutott, hogy ezek a részecskék minden elem atomjának alkotórészei, amelyeket elektronoknak neveztek el. A szó görög eredetű és borostyánkővet jelent. (A borostyánkő dörzsölés hatására elektromos állapotba kerül, amely jelenséget már az ókori görögök is ismerték, bár magyarázni természetesen még nem tudták. Erre a régen ismert tapasztalatra emlékeztet az elnevezés.) A nevet egyébként nem Thomson, hanem Georg J. Stoney adta már 1874-ben, mivel rámutatott arra, hogy amennyiben az anyag atomos szerkezetű, akkor az elektromosságnak is kell, hogy legkisebb adagja legyen.*

A huszadik században a tudósok már végérvényesen elfogadták az atomok létét, amit napjainkban senki sem kérdőjelez meg, sőt, a valóságot egyre jobban leíró atommodelleket alkotnak.

#### A gyermeki anyagszemléletről

A gyerekek számára komoly kihívást jelent az anyag részecskékből való felépítettségének elfogadása, mintegy kicsit hasonlóan a tudomány történetéhez. Az anyagot folytonosnak képzelik. Különös, hogy a gyerekek több vonatkozásban is, egészen pontosan reprodukálják az arisztotelészi világképet anélkül azonban, hogy valaha is hallottak volna a nagy görög gondolkodóról. A gyermek kezdeti tapasztalata az anyagot illetően az, hogy az időnként eltűnhet, majd ismét megjelenik. Így értelmezik a kémiai reakciók folyamatait, a halmazállapot-változásokat és az oldódást.

A gyerekek fejében lévő folytonos anyaggép felváltása a szemcsés szerkezetű anyaggéppel nem könnyű feladat. A NAT szerint azonban ennek meg kell történnie a 6. évfolyam végére, hiszen a 7. osztályban az *Ember és természet* műveltségterület részét képező kémia már természetesen módon kell, hogy használja e fogalmat. A módszer a következő lehet:

A gyerekek minél több jelenséget próbáljanak meg megmagyarázni először a folytonos anyagszemléletük segítségével. Sőt, próbáljanak meg előrejelezni különböző tényeket, amelyeket aztán kísérletileg is vizsgálni tudnak. Ilyen lehet például a cukor vagy a só oldása vízben. Mit lehet mondani a kiindulási és a keletkezett anyagok tömegére, térfogatára vonatkozóan? Hová tűnik a feloldódott anyag? Vissza lehet-e ismét kapni?

Adjunk lehetőséget minél több tanuló megnyilvánulásra, így egymással szembeállíthatjuk azokat, a tanulók vitatkozhatnak egymással. Lesz, aki sokáig tovább ragaszkodik majd a folytonos anyagról alkotott képhez, többen lesznek azonban, akik a részecskeképet fogják sokkal egyszerűbbnek találni, illetve később már szinte csak ezt fogják magyarázatiakhoz használni.

A pedagógiai szakirodalomban az imént vázolt folyamatot konceptuális váltásnak nevezik, hiszen a gyerekek eredeti elképzeléseinek egy adott témát illetően a tanulás folyamán alapvetően meg kell változniuk.

#### Irodalom

- BALÁZS LÓRÁNT–HRONSZKY IMRE–SAIN MÁRTON: *Kémia történeti ABC*. Tankönyvkiadó, Bp. 1981.  
 BUDÓ ÁGOSTON: *Kísérleti fizika III*. Tankönyvkiadó, Bp. 1975.  
 EINSTEIN, ALBERT: *Válogatott tanulmányok*. Gondolat Könyvkiadó, Bp. 1974.  
 ERDEY-GRÚZ TIBOR: *A fizikai kémia alapjai*. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1972.  
 GAMOV, G.: *A fizika története*. Gondolat Könyvkiadó, Bp. 1965.  
 HABER-SCHAIM–CROSS–ABEGG–DODGE–WALTER: *Introductory Physical Science Newton Collage of the Sacred Heart*. New Jersey 1977.  
 NAHALKA ISTVÁN: *Természettudomány az iskolában, avagy Taníthatunk-e továbbra is úgy, mint eddig?* Kézirat.  
 SCHILLER RÓBERT: *Rendszertelen bevezetés a fizikai kémiába a hidrogén ürügyén*. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1987.  
 SIMONYI KÁROLY: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Bp. 1986.  
 SZABADVÁRY FERENC: *Az elemek nyomában*. Gondolat Kiadó, Bp. 1961.  
 WEISSKOPF, VICTOR: *Fizika a huszadik században. Válogatott tanulmányok*. Gondolat Könyvkiadó, Bp. 1978.