



gedhetetlen volt, többszörös lecsapás, mosás, kristályosítás, szárítás stb. E lap – főleg idősebb – kémikus olvasóinak nem kell elmagyarázni, hogy a gravimetria milyen munka- és időigényes tevékenység. Az elemek felfedezése általában nagyobb hangsúlyt kap. Ma azt mondanánk, hogy nagyobb a piár-értéke, a fáradságos mennyiségi analízist kevésbé becsülik. Ahhoz, hogy Mengyelejev és elődei egyáltalán gondolkodni tudjanak a periódusos rendszeren, mindkét információra szükség volt: az elemek felfedezésére és az atomsúlyok megállapítására, valamint a kémiai és a fizikai tulajdonságaik ismeretére. John Dalton (1766–1844) a század elején még csak 20 elemmel tudott foglalkozni (lásd alább). Egyébként Lavoisier könyvében (1790) is nagyjából ennyi elem szerepel, ha a mai elemeket számítjuk. A földfémek oxidja-it még nem tudták elbontani, ezért azokat is még elemeknek tekintette. Mengyelejev már 63 elemmel dolgozhatott (volt köztük nem létező elem, két elem keveréke is [4]), amelyeknek már több tulajdonsága sokkal pontosabban ismert volt. Nagy sikerét további elemek megjósolásával érte el, mivel észrevette, hogy két, kémiai viselkedésben hasonló elem között hiányzik egy, hiszen a többi ilyen csoportban az atomsúlyok különbsége nagyjából szisztematikusan változott. Megjegyzendő, hogy egy új elem létezésének felismerése, illetve tiszta állapotban való előállítás és az atomsúlyának megállapítása között gyakorta évek vagy évtizedek teltek el (lásd például a tellúr történetét [5]). A 19. század nagy részében a kémiai analízis volt a fő eszköz. Később a felfedezésben a színképelemzés jutott nagy szerephez, az atomsúly meghatározásában – már a 20. században – a tömegspektrometria. Az első elem, amelyet színképelemzéssel fedeztek fel, a hélium volt 1870-ben, és nem a Földön, hanem a Nap spektrumában. Később a Földön is megtalálták a nemesgázokat, és már meg lehetett határozni az atomsúlyukat.

A tömegmegmaradás törvényének megállapításához – miként minden törvény létrejöttéhez – sok kutató járult hozzá, de Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794) szisztematikus kísérleti munkával alátámasztott elmélete (1789) hozta meg az áttörést.

Az állandó súlyviszonyok törvényével kapcsolatban Jeremias Benjamin Richter (1762–1807) német kémikus nevét emelhetjük ki, aki bevezette a sztöchiometria fogalmát (1792–94), és a francia Joseph Louis Proust (1754–1826) hősiességét hangsúlyozhatjuk, aki több száz vegyület gondos analízise elvégzésével kerekedett felül az ellentétes felfogást valló Claude Louis Berthollet-val (1748–1822) szemben. Berthollet egyébként kiváló vegyész volt, sőt ma már tudjuk, hogy vannak nem-sztöchiometrikus vegyületek is, de hibás felfogása erősen visszavetette a kémia fejlődését. A hősiességet azért használom, mert Proust-nak nemcsak egy szakmai nagysággal szemben kellett az igazát bizonyítani, hanem mert ellenfele Napóleon egyik kedvenc tudósa és a francia szenátus alelnöke is volt. Proust 1794-ben kifejlesztett elméletét végül csak az 1810-es években fogadták el. Egyébként Proust az 1800-as évek elején Spanyolországban dolgozott, de Napóleon se-rege felégette a laboratóriumát, és visszakényszerítette Franciaországba.

A többszörös súlyviszonyok törvénye

Az angol John Dalton munkássága tetőzte be a folyamatot, és szolgált alapul a további fejlődéshez. 1804 és 1808 közötti munkáiban egyértelműen leszögezte, hogy léteznek legkisebb részecskék, amelyek egy-egy elemnél azonos kiterjedésűek és súlyúak (atomsúly), viszont az egyes elemeknél ezek a tulajdonságok különbözőek (1. ábra). Az oszthatatlan atomok meghatározott arányban tudnak egyesülni.

ELEMENTS				
	Hydrogen	1	Strontian	46
	Azote	5	Barytes	68
	Carbon	5	Iron	50
	Oxygen	7	Zinc	56
	Phosphorus	9	Copper	56
	Sulphur	13	Lead	90
	Magnesia	20	Silver	190
	Lime	24	Gold	190
	Soda	28	Platina	190
	Potash	42	Mercury	167

1. ábra. A Dalton-féle elemek, 1803

Meg kell még emlékeznünk William Prout (1785–1850) angol kémikusról. Ő jelölte ki azt a viszonyítási alapot, amely szükséges volt a relatív atomsúlyok megállapításához (1815). Szerinte a többi atom hidrogénatomokból épül fel, atomsúlyuk a hidrogén atomsúlyának egész számú többszöröse. Sajnos, már túl pontosan mértek. Berzelius és mások kimutatták, hogy más elemek atomsúlyai jelentősen eltérnek az egész számú többszöröstől. Majd 100 évet kellett várni, míg felfedezték az izotópokat. Ha egy elemnek többféle súlyú izotópja van, akkor a súly természetesen nem egész szám, hanem az arányuktól függően változik. De Prout-nak igaza volt, a kémiai tulajdonságok a protonok számától függenek. Ernest Rutherford, amikor 1920-ban felfedezte a hidrogén atommagját, hódolni akart Prout zsenialitása előtt, és bár végül a proton (prótos – görögül első) névre esett a választás, fontolgatta a proutont is. Így is őrzi Prout emlékét a proton, mert ő ezt az alapvető részecskét protyle-nek nevezte.

Általában a nagyon precíz mérések és az észlelt kis eltérések kritikusak egy-egy elmélet megdöntésében és az újnak születésében. Néha némi lezserség is fontos, hogy csak a lényegre lássuk. Így Mengyelejev híres, periódusos rendszerről szóló publikációjában alig találunk tört számot az atomsúlyoknál (összesen 13-at, és azok is maximum 1 tizedesig vannak megadva), pedig a hidrogén atomsúlyát kerekén 1-nek vette, és ennél már voltak pontosabb mérések. Lothar Meyernél sokkal több (51) törtszám szerepel, századértékig megadva.

Berzelius elvülhetetlen érdemei

Egy nagyszerű svéd tudósunk jutott az a szerep, hogy laboratóriumában fáradhatatlanul munkálkodva megkoronázza és összefoglalja az eredményeket. (A svéd tudomány néhány évtized alatti óriási fejlődéséről és a svéd tudósokról egy korábbi cikkünkben írtunk [5].) Analitikai, módszerfejlesztési munkássága révén nagy tekintélyre tett szert, és ennek következtében a kémia történetének talán legnagyobb tudományszervezőjét is tisztelhetjük személyében. Utazásai során találkozott a kor kiváló tudósaival, folyamatosan levelezett is velük, a fiatal generáció számos későbbi kiválósága nála tanult. Évente összefoglalta az új eredményeket a kémiai területén. Számunkra életművéből az alábbiak fontosak. Bevezette a vegyjeleket az elemek latin nevének első, illetve első két betűjét használva. Így van ez ma is a periódusos rendszerben.

hány más kutató is, de van, hogy nem sorolja fel őket, csak annyit, hogy „és mások”, és nem egyértelmű, hogy a táblázatokban szereplő adatok kiktől származnak. Mindenesetre Pettenkofer és Dumas munkái mindkét tudósnál alapvető szerepet játszottak. Mengyelejevnek sokat jelentett a karlsruhei vegyészkongresszuson kialakult vita, mert írásában elemzi Prout elméletét és elfogadja két, meghatározó szereplőt, a francia Jean Baptiste André Dumas (1800–1884) és az olasz Stanislao Cannizzaro (1826–1910) [3] elképzelését az atomokról, az atomsúlyról, a molekulákról, valamint megemlíti Gerhardt korábbi eredményeit. [Charles Frédéric Gerhardt (1816–1856) már nem élt (vegyszermérgezésben hunyt el), de sokszor hivatkoztak rá. Mengyelejev 1869-es, orosz nyelvű cikkében „Gerar”-ként szerepel. Vagy Mengyelejev nem írta jól, vagy a nyomdász nem tudta jól elolvasni a külföldi nevet. Akkoriban a kéziratot még tényleg kézzel írták.]

Dumas inkább szerves kémikusként ismert. Az ő hatására vették el Berzelius dualista elektrosztatikus elméletét, mert kimutatta, hogy szubsztitúciós reakciókban a hidrogén klórral helyettesíthető. Ez pedig Berzelius szerint lehetetlen, mert pozitív elem csak pozitívvá cserélhető. Számunkra pontos gőzsűrűségmérései a fontosak, amelyek eredményeiből több mint 30 elem atomsúlyát számolta ki 1826 és 1860 között. Dumas a hidrogén atomtömegét 1-nek vette, és erre adta meg az értékeket.

Max Joseph Pettenkofer (1818–1901) bajor kémikus orvosi, közegészségügyi tevékenységéről ismert igazán, ezekért a munkáiért kapott nemességet is. Észrevette, hogy a hasonló tulajdonságú elemek atomsúlyai közötti különbség szabályszerű, és a korábbi triádok helyett az elemek nagyobb csoportjai közötti szabályszerű változást tételezett fel. Érdekes, hogy őt a legtöbb könyv kihagyja a periódusos rendszer történetéből, pedig Mengyelejev és Meyer is nagyra tartotta munkáját. Sajátos, hogy a korábbi rendszeralkotási törekvésekre nem sok szót vesztegetnek, csak az angol William Odlingot (1829–1921) idézi Mengyelejev. Nem foglalkoznak John Alexander Reina Newlandsszel (1837–1898) és más elődökkel sem.

Élément	I	II			III (1961)
		1860	1865	1876–1881	
Chlore	35,5	35,46	35,457	–	35,454
Soufre	32,0	32,0742	–	–	32,065
Azote	14,0	14,041	14,044	14,0550	14,0072
Argent	108,0	107,943	107,930	107,9300	107,874
Potassium	39,0	39,13	39,137	39,1425	39,104
Sodium	23,0	23,05	23,049	23,0455	22,9906
Plomb	207,0	206,914	–	–	207,20
Brome	80,0	–	79,952	–	79,912
Iode	127,0	–	79,952	–	126,9092
Lithium	7,0	–	7,022	–	6,939

5. ábra. A Stas által meghatározott atomsúlyok a különböző években (II), valamint Mengyelejev (I) és az IUPAC 1961-es adatai (III) (a jód 1865-ös adata nyomdahiba)

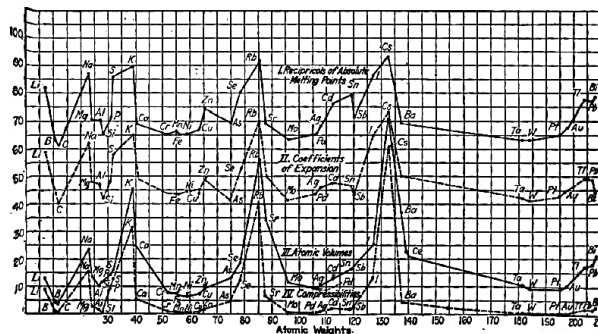
Mengyelejev 1871-es cikkében említi a belga Jean Servais Stas (1813–1891) által mért atomsúlyokat. Stas megérdemli figyelmünket, mert rendkívül precízen mért (5. ábra). Sajnos ma már alig ismert a neve. Először Dumas-val együtt publikálta a szén nagy pontossággal megmért atomsúlyát ($12,000 \pm 0,002$) 1840-ben.

Nobel-díjak atomsúlyokért a 20. században

Az atomsúlyok meghatározásáért még a 20. század elején is lehetett Nobel-díjat kapni. A Harvard Egyetem professzora, Theodore William Richards (1868–1928) 1914-ben nyerte el a kémiai

Nobel-díjat számos kémiai elem atomsúlyának pontos meghatározásáért. Ő lett az első amerikai kémiai Nobel-díjas. [Ő volt a második Nobel-díjas az Egyesült Államokból, mert Albert Abraham Michelson (1852–1931) 1907-ben már megkapta a fizikai Nobel-díjat.] Persze, ez már más korszak volt, de azért még a hosszú 19. század folytatása. Ugyanis Richards még kémiai módszereket alkalmazott, hiszen a tömegspektrométert még nem használták. Mindazonáltal ki tudta mutatni azt is, hogy egy elemnek többféle atomsúlya lehet, ami jelentősen hozzájárult az izotópok létezésének elfogadásához. Hihetetlen alaposan dolgozott. Feljegyezték, hogy a tiszta túlium előállításához több ezerszer kristályosította át a bromátját.

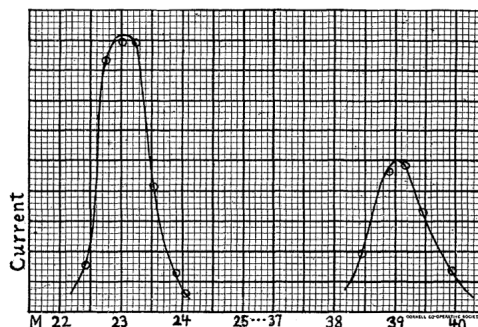
A kémiai tulajdonságok mellett a fizikai tulajdonságok is periódikusan változnak (6. ábra).



6. ábra. Theodore William Richards periódusos grafikonja. Különböző tulajdonságok az atomsúlyok függvényében (J. Am. Chem. Soc. 1915)

Mengyelejev 1875-ben újra megmértette Paul É. L. de Boisbaudrannal (1838–1912) a gallium sűrűségét, mert kevésnek találta. Igaza is lett, a reakciónál használt nátriumból maradt szennyezés a fémben.

A tömegspektrométeres izotóptömeg-meghatározásért az angol Francis William Aston (1877–1945) kapott Nobel-díjat 1922-ben. Ebben nagy szerepe volt 1919-ben megalkotott tömegspektrográfjának. Arthur Jeffrey Dempster (1886–1950) kanadai-amerikai fizikus fejlesztette ki az első modern tömegspektrométert 1918-ban (7. ábra). Ő fedezte fel a maghasadási reakcióban nagy



7. ábra. A nátrium és a kálium tömegspektruma (A. Dempster: Phys. Rev. 1918)

karriert befutott urán ²³⁵U-izotópot 1935-ben. Részt vett az atombomba létrehozásában is.

A 20. században is fedeztek még fel elemeket. Most nem a transzurálemekre gondolunk [6], hanem nagy verseny indult meg a hiányzó helyeket betöltő elemek felfedezéséért. A felfedezés a röntgenspektrumok elemzésén alapul azóta, hogy Henry Moseley (1887–1915) 1913-ban felfedezte a róla elnevezett törvényt, ami kapcsolatot létesít a röntgenspektrum jellemző vonalai és az elem periódusos rendszerbeli sorszáma (Z) között (ma

