

150 éves a periódusos rendszer

A Mengyelejev-féle táblázat régen és ma

Kutasi Csaba

Kulcsszavak: Rendszám, Atomtömeg, Izotóp, Csoport, Periódus, Atomsugár, Ionizációs energia, Elektronegativitás, Elektronaffinitás, Elektronhéj, Alhég

2019 január végén Párizsban ünnepélyes keretek között megkezdődött „A periódusos rendszer nemzetközi éve”, amelyet az ENSZ-kögyűlés és az UNESCO annak emlékére hirdetett meg, hogy Dmitrij Mengyelejev orosz tudós 150 éve alkotta meg a kémiai elemek periódusos rendszerét.

A periódusos rendszer ikonikus és hasznos eszköz a kutató és gyakorló vegyészek számára. A kémiaoktatással foglalkozó oktatási intézmények falain mindig ott van egy ilyen táblázat. Nemrég egy skóciai előadóterem alatt találtak rá a világ legrégebbi falitablós periódusos rendszerére. A vászon-papír borítású, tekercselt táblázat az elsődleges vizsgálatok szerint 1885-ből származik, a bécsi Verlag v. Lenoir & Forster által nyomtatott tabló (1. ábra).

Mengyelejev felfedezése után 16 évvel megjelent tabló

1. ábra

Az elemek közötti összefüggések feltárása, rendszerezésük régóta foglalkoztatta a kémikusokat. 1829-ben Döbereiner az ún. triádokat tartotta a rendszerezés alapjának. (A triád középső elemének atomtömege a másik kettő számtani közepe volt). Más tudósok további kémiai összefüggéseket fedeztek fel. Így a fluor bekerült a többi halogén elem közé, valamint a kén, az oxigén, a szelén és a tellúr egy csoportba tömörült. A nitrogén, a foszfor, az arzén, az antimon és bizmut kapcsolata újabb csoportot hozott létre. Stanislaw Cannizzaro leírta a különbséget az elem és a molekula között. Ebből kiindulva az 1860-as évek elején John Newlands és Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois felfedezte, hogy az elemek atomtömegük szerinti sorba állításával kémiai tulajdonságaik szabályosságot mutatnak. A döntően ma is helyes rendszerezési megoldást Dmitrij Ivanovics Mengyelejev táblázata teremtette meg.

Mengyelejev táblázata

Dmitrij Ivanovics Mengyelejev
(1834–1907)
2. ábra

Dmitrij Ivanovics Mengyelejev (Tobolszk, 1834 – Szentpétervár, 1907) orosz kémikus (2.

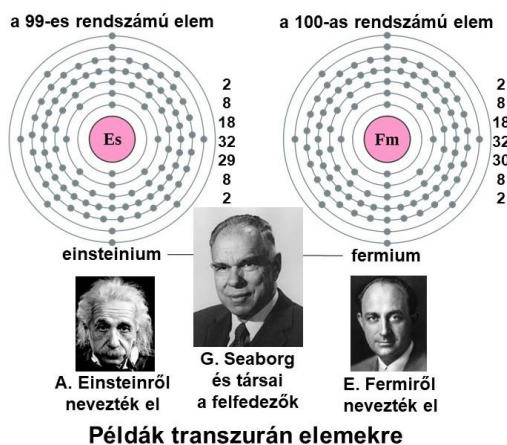
Mengyelejev első kéziratosa táblázata és összeállított rendszere

3. ábra

ábra) 1869-ben megalkotta nevezetes táblázatát, a periódusos rendszert (3. ábra).

Mengyelejev a tobolszki gimnázium igazgatójának tizenhetedik gyermekeként látta meg a napvilágot. Apja korai szembetegsége miatt anyja biztosította a megélhetésüket, az általa alapított üvegyárban kezdett dolgozni az ifjú, ahol az első kémialeckékben is részesült. Apja rövidesen elhunyt, a gyár tűzvész áldozata lett, az elszegényedett család Moszkvába költözött. Itt nem vették fel az egyetemre, Szentpéterváron tanárképző főiskolán tanult tovább. 1856-ban tért vissza Moszkvába, ahol fizikai-kémiai értekezésével tudományos fokozatot (magiszteri cím) ért el, majd egyetemi oktató lett. 1859-ben ösztöndíjas-ként, két évig Heidelbergben Bunsennel dolgozott (molekulák kohéziójával és a spektroszkópiával foglalkozott). 1864-ben a szentpétervári műegyetem kémiaprofesszora, majd a helyi egyetem általános kémiai tanszékének vezetője lett. 1868–70 között alkotta meg „A kémia alapjai” c. klasszikus művét, az akkor legjobb orosz nyelvű kémia-könyvet. A kémián kívül számos más dolog is érdekelt, pl. Oroszország természeti erőforrásai, meteorológia, lég-hajózás; 1887-ben léghajóban követte a teljes napfogyatkozást).

Mélyrehatóan kezdte vizsgálni a kémiai elemek atomtömegei közötti kapcsolatokat, egy logikus osztályozás kidolgozására törekedve. Ezzel már többen foglalkoztak, de Mengyelejevnek sikerült felfedeznie azt a szabályszerűséget, hogy a növekvő atomtömeg szerinti sorba állítás a fizikai-kémiai jellemzők periodikusságát mutatja. Így 1869-ben az orosz kémiaprofesszor nevéhez fűződik a periódusos rendszer megalkotása (3. ábra). Ebben a táblázatszerű összeállításban – elnevezése szerint – a vízszintes sorok a periódusokat, az oszlopok a csoportokat alkotják. A nyolc függőleges elrendezésben az egyes oszlopok hasonló tulajdonságú elemeket foglalnak magukban. Igaz, ezt a törvényszerűséget a német Lothar Meyer is felismerte, azonban ezt Mengyelejev publikálta előbb.



4. ábra

Mengyelejev a rendszer törvényszerűsége alapján képes volt megváltoztatni az egyes elemek sorrendjét, felismerve, hogy a táblázatban felmerülő üres helyekre még nem felfedezett elemek kerülnek (akkor 63 elem volt ismert).

A kezdeti táblázatokban az elemeket az oxigénnel vagy hidrogénnel való kémiai reakcióik alapján oszlopokba (a mai periódusos rendszer az elemek megismert atomszerkezetén alapul). A nemzetközi tudóstársadalom kétséggel fogadta a rendszerezést, beleértve az új elemek tulajdonságainak prognosztizálását is. Rendszerének helyességét 1875-ben felfedezett gallium igazolta (ezt Mengyelejev eka-alumíniumnak nevezte), amelynek tulajdonságai a megjósolttal egyeztek. Hasonlóan a periódusos rendszer tökéletességét igazolta a később ismertté vált germánium és szkandium. A periódusos rendszer valamennyi eleme rendelkezik egy önálló rendszámmal, amely az atommagjában előforduló protonok száma. A neutronokat Chadwick fedezte fel, berillium alfarészecskékkal történő besugárzásakor. Az atommodellel foglalkozó tudósok még nem ismerték a periódikusság eredetét. Rutherford és kutatótársai a 83-as rendszámú bizmut és 92-es urán között kevesebb üres helyet azonosítottak, pedig húsz új elemnek tűnő találtak. Ezek, a radioaktív bomlási sor atommagjai vezettek az izotópok bevezetéséhez, ami Soddy nevéhez fűződik. Pl. az urán izotópja a polónium 210, 214 és 218, ill. a tórium 230, 234, amelyek csak tömegszámukban térnek el (neutronszámuk különböző). A neutronbesugárzás lehetőséget mutat az atommag átalakítására. Az USA első hidrogénbomba tesztjénél 1952-ben, a robbanást követően a korallzátony törmelékben két új elemet találtak. Einsteiniumnak (Es) nevezték el a 99-es rendszámú, ill. fermiumnak (Fm) a 100-asat. A mesterségesen előállított elemek a rendszer 7. periódusban kaptak helyet, mint a transzurán sorozat tagjai (az uránnál nagyobb rendszámúak, csak mesterségesen hozhatók létre, radioaktívan bomlanak). Tíz ilyen elem előállítása G. Seaborg és munkatársai nevéhez fűződik, a 106-os rendszámú elemet még életében sziborgiumnak (Sg) nevezték el (4. ábra). A 101-es rendszámú kémiai elem, a mendelévium (Md) Mengyelejevéről kapta a nevét.

Mengyelejev felfedezését a 19. század végén, a 20. század elején az elemek elektronszerkezetének megismerése tökéletesen igazolta. Jelenleg mintegy kétszer annyi elem ismert, mint Mengyelejev idejében, számuk tovább növekszik.

Magyar vonatkozása miatt kiemelt érdemmel, hogy 1923-ban Koppenhágában Hevesy György és Dirk Coster a Norvégiából és Grönlandról származó cirkonból


Hevesy György (1885-1966)
Nobel-díjas magyar vegyész

A 72-es rendszámú elemet fedezte fel Dirk Costerrel

5. ábra



a Hafnium (Hf) egyik felfedezője



Müller Ferenc József (1742-1825)

Az 52-es rendszámú elemet fedezte fel

6. ábra

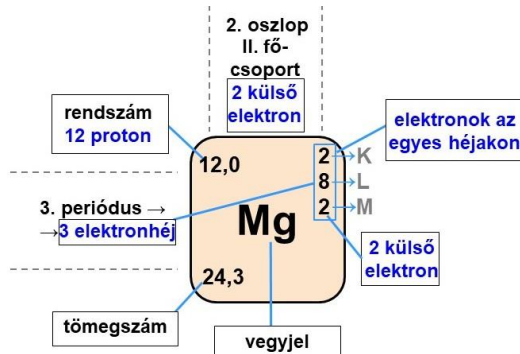


a Tellúr (Te) felfedezője

röntgenspektroszkópiával egy új elemet mutatott ki. Koppenhága latin neve (Hafnia) alapján hafniumnak nevezték el (5. ábra). Müller Ferenc József (1742-1825) osztrák származású kémikus és mineralógus pedig Erdélyben, 1783-ban fedezte fel az 52. elemet, a tellúrt (Te) (6. ábra). Megjegyzendő, hogy tőle függetlenül Kitaibel Pál (1757-1817) magyar botanikus és kémikus is felfedezte a tellúrt 1789-ben.

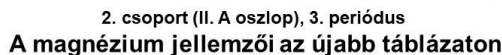
A periódusos rendszer alakulása a kvantummechanika és -kémia tudományá fejlődésével

Mengyelejev korában az elemi részecskék nem voltak ismeretesek. Ugyanakkor az elemek nyolc oszlopba sorolása mai is helytálló, azaz a külső elektronhéj atompályáin összesen nyolc elektron lehet (a nemesgázoknál ezek a pályák teljesen megtelnek elektronokkal). A Lewis-Langmuir-elméletre alapozott ún. oktettsszabályt (amely szerint az atomok kémiai kötések elektronátadással vagy elektronpár-megosztással létesítenek azért, hogy nemesgáz-konfigurációra tegyenek szert) ma is tanítják. Pedig az oktettsszabály abszolutizálása hosszú ideig akadályozta a kémiatudomány fejlődését. Rinus Pauling 1936-ban említette, hogy zárt elektronhéjuk ellenére a



A magnézium a korábbi periódusos rendszerben

7. ábra



8. ábra

A periódus általánosságban szabályos ismétlődést, valamilyen ismétlődő dolognak egy-egy visszatérő szakaszát jelenti. A kémiai periódusos táblázatban növekvő rendszám szerint sorba rakott elemek egyes tulajdonságai visszatérően ismétlődnek:



9. ábra



10. ábra

Az adott csoportba tartozó elemeknek jellemzően több hasonló tulajdonságuk van. A hasonlóságok a korszerű kvantummechanikai elméletekkel magyarázhatók, miszerint az azonos oszlopon belüli elemek vegyértékelektron-szerkezete egyező. Így az egy csoportba tartozó elemek kémiaiailag hasonlóan viselkednek, továbbá tulajdonságaik az atomtömeg növekedésével változnak.

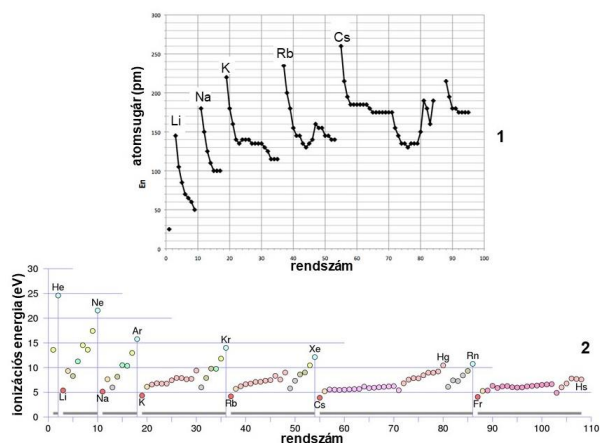
Az egyes csoportokat az első tag alapján is elnevezik, pl. a 14-es a széncsoport, a 15-ös a nitrogéncsoport, a 16-os az oxigéncsoport. Előfordul a jellegzetes besorolás szerinti elnevezés, így 1-es az alkálifémek, 2-es az alkáliföldfémek, 13-as a földfémek. Csoportosítanak a jellegzetes viselkedés alapján is, a 17-es csoportot halogéneként, a 18-as csoportot nemesgázokként használják.

Az azonos periódusban elhelyezkedő elemek atom-sugara, ionizációs energiája, elektronaffinitása⁵ és elektromegativitása nagyjából egyenletesen változik. Az atom-sugár a periódusban jobbra haladva csökken, mert a növekvő protonszám következtében az atommag egyre fokozottabb vonzó hatást gyakorol az elektronokra (ezért

² Az első ionizációs energia a semleges atomról egy elektron leválasztásához szükséges energia, a második ionizációs energia a második elektron eltávolításához szükséges és így tovább. Azonos atomnál az egymást követő ionizációs energiák értéke mindig nagyobb az előzőnél, mert a második (és a többi) elektront már egy pozitív töltésű ionról kell leszakítani.

4 Az ion önmagában nem jellemezhető éles határvonallal, az ionsugár megadása egy-egy elem különböző állapotának jellemzésére alkalmas. Az ionok töltésüktől függően kisebbek vagy nagyobbak is lehetnek a semleges atomhoz képest. Pl. a kationképződésnél (atom elektronvesztése) a többi elektron jóval nagyobb vonzerőt alakít ki, ezért mérete kisebb lesz.

5 Az elektronaffinitás leegyszerűsítve az az energia, mely egy
mólnyi gázállapotú atomnál vagy molekulánál egy elektron fel-
vételéhez szükséges (egyszeres töltésű negatív ion létrehozása-
kor). Angol nyelvterületű meghatározás szerint az az energia-
különbség, amikor egy elektron kapcsolódik egy semleges atom-
hoz vagy molekulához.

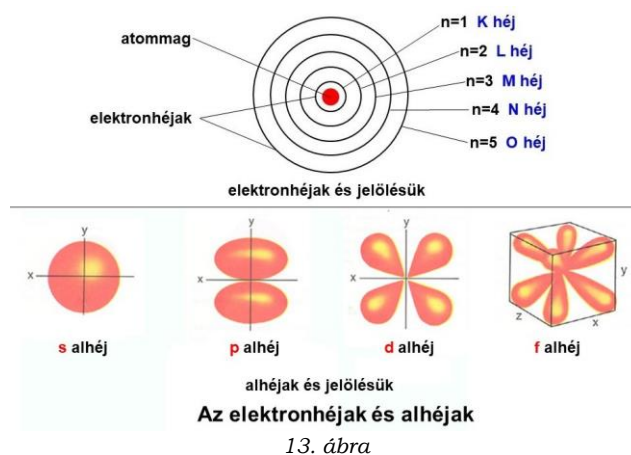


Az atomsugár (1) és az ionizációs energia (2) alakulása a rendszám függvényében
11. ábra

nehezebb eltávolítani őket az atomról). Az atomsugár csökkenésével magyarázható az ionizációs energia balról jobbra megnyilvánuló növekedése a perióduson belül. Ugyanakkor a csoportokon belül azért növekszik az atomsugár, mert a vegyértékelektronok egyre nagyobb méretű héjon vannak jelen. Az elektronaffinitás növekedést mutat a perióduson belül, így a periódus bal oldalán elhelyezkedő fémek kisebb elektronaffinitással rendelkeznek, mint a jobb oldalán található nemfémek (10., 11. ábra).

Az elektronok számos tulajdonságát a *Bohr*-féle atommodell korában még nem ismerték. Később *Stern* és *Gerlach* fedezte fel, hogy az elektronokra elektromos töltésük mellett saját mágnesességük (spinjük) is jellemző. Így két azonos mágnesességű elektron kétszeresen taszítja egymást, ellentétesen mágneses elektrópárt hozhatnak létre. Az elektronszerkezet kialakulásánál a *Pauli*-elv (két félegész spinű részecske nem foglalhatja el ugyanazt a kvantumállapotot) és a *Hund*-szabály (az azonos energiájú szintek közül a különböző mágneses kvantumszámúak töltődnek be először) az irányadó.

Az elektronhéjak a többielektronos rendszereknél (az elektronok taszító hatása miatt) különböző energiaszintű alhéjakra hasadnak. A periódusos rendszerben már az alhéjak energetikai sorrendje is követhető, az éppen beépülő alhéj alapján *s*, *p*, *d* és *f* mezőkre tagolódik. Az ún. átlós szabály segítségével az elem rendszáma alapján ismert az alapállapotú elektronszerkezet, a periódusos



13. ábra

rendszerben elfoglalt hely. Miután minden új elektronhéj esetén egy újabb alhéj is megjelenik, nem csak a jól ismert *s*, *p*, *d* és *f* alhéjak lehetnek, hanem az 5. héjtól kezdődően már a *g*, a 6.-tól *h* alhéj is előfordulhat. Ezek korábban még nem kerültek előtérbe, mert ilyen elemet még nem tudtak igazolni (12., 13. ábra).

A kémia a 20. század elején vált igazán tudománygyá, a kvantummechanika, a kvantumkémia kialakulásával. Jelenünkben már ismert a molekulák finomszerkezete, így ezek elektronszerkezete és makroszkopikus tulajdonsága kellően kapcsolatba hozható. Ennek ellenére jellemző, hogy az 1980-as években viták voltak az elméleti kémia hasznosságáról. 1984-ben éppen Budapesten rendezték az Elméleti Szerves Kémiai Világszövetség (WATOC, World Association of Theoretical Organic Chemistry) konferenciáját. Az eseményt záró vitaülésen az egymásnak ellentmondó felszólalásokban arról esett szó, hogy mennyire képes az elméleti kémia segíteni a laboratóriumban tevékenykedő kémikusokat. Az elnöklő *B. Pullman* professzor így zárta az ülést: „Az elméleti és gyakorlati kémia házasságában még sok krízishelyzet alakulhat ki, egy azonban biztos, ez a házasság nem fog válassal végződni”.

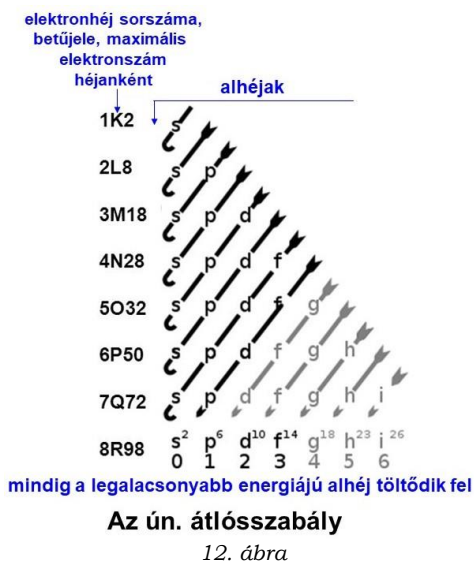
Az idők folyamán bekövetkezett tudományos fejlődés számos dologra is fényt derített. A részecskegyorsítók, atommag-ütköztetők kísérletei során bebizonyosodott, hogy a szupernóva-robbanásoknál keletkezett olyan atommagok is megjelentek, amelyek rövid életük miatt már nem léteznek a földkéregben.

Textilipari vegyületek elemei

A textilipar – ezen belül főleg a kikészítő szakágazat, beleértve az előkészítés-fehérítés, színezés, színnyomás, végkikészítés fizikai-kémiai jellegű műveleteit – számos szerves és szervetlen vegyületet használ a különböző technológiai folyamatoknál. A fontosabb vegyületcsoportok (kivéve színezékeket), amelyeken keresztül követhetők az elemek, a következők:

Jellegzetes főbb szervetlen vegyületek:

- Savak: sósav, kénsav, salétomsav.
- Bázisok: nátrium-hidroxid, ammóniumhidroxid.
- Sók: nátrium-karbonát, nátrium-klorid, nátrium-szulfát, nátrium-szulfid, nátrium-acetát, magnézium-klorid, alumínium-szulfát, kálium-karbonát, cink-klorid, cinkszulfát, rézszulfát, ónklorid, ammónium-szulfát, kálium-ferrocianid, vízüveg (nátrium-poliszilikát).



Az ún. átlósszabály
12. ábra

(késsel bekeretezve)

A textiliparban gyakran használt vegyületek elemei

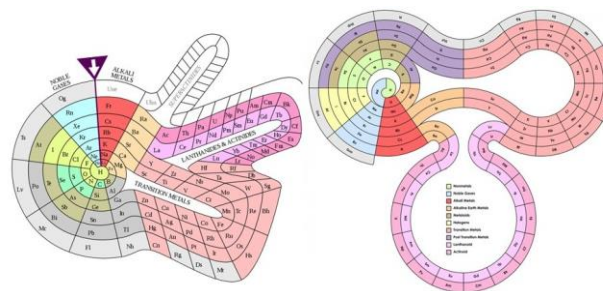
14. ábra

<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">előkészítés, fehérítés</div> <p>nedvesítőszer, alkália, oxidálószer, ásványisav stb.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">színezés</div> <p>nedvesítőszer, egalizálószer, alkália, só, redukálószer, oxidálószer, utánkezelő-szer stb.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">színyomás</div> <p>sűrítő, oldószer, hidrotrop anyag, oxidálószer, redukálószer, felületaktív anyag stb.</p>	   	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">hagyományos végkikészítés</div> <p>keményítőszármazék vízoldható műanyag stb.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">könnyű kezelést biztosító végkikészítés</div> <p>műgyanta, varrásszilárdság javító, savleádo katalizátor stb.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">különleges végkikészítés</div> <p>N-metilol vegyületek víztaszítás, szennyztisztítás, égéskésleltetés, pillíngesedés-csökkentés stb.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">szerkezet- és felület módosító eljárások</div> <p>bolyhozó hatást fokozó, ványolószer stb.</p>
---	---	---

A textilkikészítésnél használt főbb vegyületek felhasználása

15. ábra

- Oxidálószer: nátrium-hipoklorit, nátrium-klorit, nátrium-nitrit, nátrium-perborát, nátrium-perkarbonát, hidrogén-peroxid, nátrium-peroxid, nátrium-kromát, kálium-kromát, kálium-bikromát.
- Redukálószer: nátriumsulfid, nátrium-bisulfid, nátrium-ditionit, nátrium-szulfoxilát-formaldehid.
- Oxidok: cinkoxid, titándioxid.



Egyedi alakzatú periódusos rendszerek

16. ábra

Fontosabb szerves vegyületek:

- Szénhidrogének (nyílt és zárt láncú).
- Savak: hangyasav, ecetsav, borkősav.
- Bázisok: anilin, piridin.
- Alkoholok: etilalkohol, glicerin, poliglikol, polivinil-alkohol.
- Klórozott szénhidrogének: tetraklór-metán, triklór-etilén.
- Aldehid, keton: formaldehid, aceton.
- Egyéb vegyületek: szénhidrátok (pl. keményítő), fehérjék (kollagén, pl. enyv, zselatin), enzimek, szulfatált ricinusolaj, alkil-szulfát, alkil-aril-szulfonát, alkil-aril-poliglikol-éter, poliglikol-észter, polivinil-acetát, kvaterner ammóniumsó, alkil-piridiniumsó, dimetilol-etilén-karbamid, dimetilol-dihidroxi-etilén-karbamid, karbamid, sztilbén, poli-dimetil-sziloxán, higany-fenol-acetát, bisz-tributyl-ónoxid, tetrakis-(hidroximetil)-foszfónium-hidroxid, oktadecil-oxiometil-piridinium-klorid stb. (14., 15., 16. ábra).

Felhasznált irodalom

- Hermann Römp: Vegyészeti lexikon. Műszaki könyvkiadó, Budapest 1961.
- Réffy József: Hogyan oktatunk és hogyan oktassunk kémiát?
- 170 éve született Mengelejev. National Geographic, 2004.
- Palló Gábor: A hafnium története és Hevesy György Nobel-díja
- Csiky Gábor: A magyar földtan történetének első évezrede