

Mit adott nekünk Hevesy György? Megemlékezés halálának 50. évfordulójáról

Radnóti Katalin

Eötvös Loránd Tudományegyetem, természettudományi Kar
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.



Hevesy György élete dióhéjban

Hevesy György 1885. augusztus 1-én zsidó származású kikeresztelkedett családban született. Édesapja *Bischitz Lajos* hevesi földbirtokos, édesanyja *Eugenia Schossberger de Tonya* bárónő volt. Édesanyja családjának Hatvan közelében Turán egy *Ybl Miklós* által tervezett, nagystílű, hatalmas kastélya volt, melyhez egy óriási park is tartozott.



Napjainkban ez ismét látogatható, elkezdődtek a felújítási munkálatok is. A turai általános iskola felvette Hevesy György nevét. A család nevét édesapja változtatta Hevesyre, amikor nemességet kapott. Nyolcan voltak testvérek, 5 fiú és 3 leány.

A gyerekek nem jártak úgynevezett elemi iskolába, hanem magán úton tanultak, mely gyakran 10-12 óra tanulást is jelentett számukra, mivel több nyelvet is tanultak, németet, angolt és franciát.



Hevesy később a Piarista Gimnáziumban tanult és itt érettségizett, majd a budapesti Tudományegyetemen kezdte meg felsőfokú tanulmányait, ahová két félévet járt. Ezt követően Berlinben tanult, mint vegyészmérnök hallgató egy félévet, majd átment a dél-németországi Freiburgba, és itt fejezte be egyetemi tanulmányait. Ez után tanársegéd lett a Szerves Kémiai Tanszéken. Végül Zürichben 23 éves korában doktorált.

1910-től Karlsruhéban dolgozott Fritz Haber (1868-1934), az ammóniaszintézis feltalálója mellett, aki 1911-ben Angliába küldte. Hevesy Rutherford (1871-1937) laboratóriumát választotta Manchesterben, mely meghatározó helyszín lett számára tudományos karrierje szempontjából. Három éven keresztül dolgozott itt, kisebb – nagyobb megszakításokkal. Rutherfordtól származott az a feladat, mely későbbi Nobel díjas felfedezéséhez, az izotópos nyomjelzéshez, elvezette.

Hevesy fontosnak tartotta a kapcsolatot a magyar tudományos közélettel is. 1911-ben honosította doktori oklevelét, 1913-ban habilitált, továbbá cikkeket írt, előadásokat tartott. Hazajött, és mint magyar állampolgár az első világháború alatt szolgálatot teljesített a Monarchia hadseregében Besztercebányán és Nagytétényben. Az Állatorvosi Főiskola laboratóriumában dolgozott, mely abban az időszakban a hazai kémiai kutatások egyik meghatározó helyszíne volt.

A budapesti tudományegyetemen oktatói katedrát és tanszékvezetői kinevezést is kapott, de mire ez megtörtént, az már a Tanácsköztársaság idejére esett. Ennek bukása után furcsa körülmények között végül is távozott az országból. 1920-ban elfogadta Niels Bohr (1885-1962) meghívását Koppenhágába, ahol a részt vett a Bohr Intézet megalapításában, és le is telepedett ott. Ezt követően csak, mint magánember jött haza látogatóba. 1924-ben megházasodott, a dán Pia Riist vette feleségül, akitől négy gyermeke született. Ennek az időszaknak a „terméke” a hafnium elem felfedezése, melyet cikkünk későbbi részében ismertetünk. A koppenhágai egyetemhez tartozó intézet honlapján kiemelt helyen szerepel Hevesy György és munkásságának ismertetése [14].

1926-ban ismét Freiburgban van, ahol elfogadta az egyetem katedráját és nyolc kellemes évet töltött itt, ahol a röntgen-fluoreszcencia analízis módszerét fejlesztette ki analitikai célokra. 1933-ban, Hitler hatalomra jutásakor távozott és tért vissza Koppenhágába. Itt dolgozta ki a neutronaktiváció módszerét analitikai célokra, és azért, hogy radioaktív izotópokat tudjon létrehozni a már korábban felismert nyomjelzéses technikához.



Hevesy fényképe a Bohr Intézet honlapjáról

Azonban a náciizmus elől innen is menekülnie kellett és Svédországba ment. 1943-ban kapta meg a Nobel díjat, ami együtt járt azzal, hogy felvehette a svéd állampolgárságot, mellyel élt is a háborús helyzetre való tekintettel. Egészen addig magyar útlevéle volt. Gyermekei itt jártak iskolába, itt érettségiztek. Később, jóval a második világháború befejezését követően visszaköltözött szeretett városában, Freiburgba, és itt is halt meg 1966. július 5-én.



A Nobel díjon kívül számtalan kitüntetést kapott, sok akadémia választotta tagjává, több egyetem díszdoktora volt, többek közt az Eötvös Loránd Tudományegyetemé és Budapest Műszaki Egyetemé is. 2001. április 11-én újratemették Budapesten, sírja a Nemzeti Panteonban található a Kerepesi úti temetőben [1,5,11,12,13,14,15].

A radioaktív nyomjelzés lehetőségének felismerése

A következőkben nyomon követjük a felfedezés menetét, miközben kiemeljük annak fontos részeit. A *kiindulási probléma* a következő volt: Az osztrák kormány ajándékként Manchesterbe érkezett több száz kiló uránérc-küldemény. Hevesy Rutherfordtól azt a

feladatot kapta, hogy válassza szét az ólmot és a radioaktív sugárzás egyik bomlástermékét, a rádium D-t.

A *hipotézis* a következő volt: Az urán bomlási sorában található RaD és a sor záró tagja, az ólom „különböző elemek”, tehát ezeket kémiai szét lehet választani.

Hevesy a *kutatási feladat* kiadására a következőképp emlékezett vissza:

"- Nos fiam, ha megérdemled a sót a levesedbe, a sugárzó RaD atomokat különítsd el ettől a sok piszkos ólomtól!"

El is kezdte a megfelelő kísérleti vizsgálatok sorát elvégezni, melyet a vegyészek szoktak. Azonban a feladat megoldhatatlan volt, a rádium D-t kémiai úton nem lehetett elválasztani az ólomtól (mivel ez az ólom egyik izotópja, a 210-es tömegszámú, mint azt napjainkban már tudjuk).

Tehát Hevesy levonta a *következtetést*, hogy ez lehetetlen, de vizsgálatai egy *új ötlet* felmerülését eredményezték, melyet 1913. január 8-án le is írt munkatársának, Friedrich Adolf Paneth-nek (1887-1958): "Mivel a RaD nem különül el az ólomtól, azt az ólom nyomon követésére használhatjuk, például arra, hogy megvizsgáljuk az ólomsók vízben történő oldhatóságát különböző hőmérsékleteken."

Részletesebben:

"- Mint megmutattuk, a radioaktív RaD ólomtól történő elkülönítése mindmáig eredménytelen maradt: egyik kísérlet során sem volt megfigyelhető koncentrációjuk megváltozása. Mért mennyiségű RaD-t adtunk ismert mennyiségű ólom-vegyülethez, azután teljesen összekevertük őket. Akármilyen kis mintát vettünk is ki az oldatból, koncentrációviszonyuk minden kémiai kezelés után ugyanaz maradt. Mivel a radioaktív RaD sugárzása révén sokkal kisebb mennyiségben is kimutatható, mint az ólom, RaD hozzáadása kvalitatívan és kvantitatívan is lehetővé teszi az ólom nyomon követését. A RaD tehát az ólom indikátora lehet." [4]

A RaD, amelyet Hevesy nem tudott elkülöníteni az ólom 210 tömegszámú, úgynevezett neutronikus izotópja, amely 22 év felezési idővel alakul át. Az urán-rádium sorozat tagja, a sorozat kezdőizotópja a 238-as tömegszámú urán és végterméke a 206-os tömegszámú ólomizotóp. A leírásban a radioaktív nyomjelzés módszerének első leírásai olvashatók, amelyért Hevesy sok évvel később Nobel díjat kapott.

A már az életrajzi részben említett Állatorvosi Főiskolán együtt dolgozott Hevesy Róna Erzsébettel (1890-1981), akinek első komoly vizsgálatsorozatához ő adta az ötletet. Az erről készült publikáció 1914-ben, Róna Erzsébet 24 éves korában jelent meg, és ebben az urán bomlási sorozatának vizsgálati eredményeit közli [4].

1915-ben Róna Erzsébet és Hevesy György egy közös kísérleti munkájukról beszámoló cikket jelentettek meg a nyomjelzéses technika egy konkrét alkalmazásáról [2,8,9,10].

A kísérletsorozat kiinduló *hipotézise* az volt, hogy az oldódási sebesség változik a savkoncentráció függvényében. Az egyes atomok helyzete dinamikusan változik a folyadék és a szilárd fázis között, az atomok állandó kicserélődése megy végbe.

Ennek alapján a *kutatási feladat*, a *kérdésfeltevés* a következő volt: Hogyan változik az ólom és a bizmut oldódási sebessége salétromsavban a sav koncentrációjának függvényében? Ténylegesen történik-e a szilárd és folyékony fázis között atomkicserélődés?

Vizsgálataik során kimutatták, hogy mind az oldódási sebességeket, mind a szilárd és a folyadékfázis közötti atomkicserélődést jól lehet tanulmányozni a nyomjelzéses módszerrel. Az ólmot a radioaktív ThB-vel, a bizmutot a ThC-vel mint indikátorral keverték össze. A ThB

valójában nem más, mint az ólom egyik β bomló izotópja, mely a tórium bomlási sorának tagja és 10,6 óra a felezési ideje. (Ez nem azonos a RaD-vel, mely a nyomjelzés ötletét adta Hevesynek, mert az az urán 238-as izotóp bomlási sorának tagja, és 22 év a felezési ideje.) A ThC pedig a 212-es bizmutizotóp.

A vizsgálatok során kapott eredményeik alapján levonták a *következtetéseket, megállapították*, hogy az ólom és a bizmut oldódási sebessége növekszik. Az ólomionok jelenléte a ThB (ólom 212) oldódási sebességét csökkenti, de nem változtatja a ThC-jét. Továbbá történik a szilárd és folyadék fázis közt atomkicserélődés, melyre az aktivitás változásából lehetett következtetni.

A módszernek napjaink kutatásaiban és orvosi alkalmazásainak, elsősorban a diagnosztikában az élettani folyamatok nyomonkövethetősége miatt óriási a jelentősége.

Ha egy elemet radioaktív izotópjával keverünk, a radioaktivitás, mint jelzés segítségével végigkísérhetjük ezen elem útját a legkülönbözőbb kémiai folyamatokban. Ez a dolog pedig akkor válik különösen izgalmassá, ha a biológiai szervezetek anyagszerelét és más olyan folyamatait vizsgáljuk, melyek fizikai (oldódás, diffúzió) és kémiai folyamatokban valósulnak meg. Hevesy már fiatal korában fölismerte a radioaktív nyomjelzés e lehetőségét és, mint fentebb bemutattuk, alkalmazta azt a kémiában. Ez azonban kevés lett volna a Nobel-díjhoz. Viszont ugyancsak ő volt az, aki e módszert bevezette a biológiába, majd az orvostudományba, s aki a kísérleti atomfizika fejlődését — a mesterséges izotópok létrehozásának lehetőségét — fölhasználva hatékonyan kidolgozta e területeken is a fiziológiai és orvostudományi vizsgálódásokat (így pl. a daganatkutatást) alapvetően forradalmasító, s ma már az orvosi diagnosztika és gyógyítás mindennapjaihoz hozzátartozó módszert, s ily módon a nukleáris medicina megalapítójává vált.

Ezeket a vizsgálatokat Koppenhágában kezdte el. Elsőként mesterséges radioaktív foszforizotópot állított elő ($^{32}\text{S}(\text{n},\text{p})^{32}\text{P}$ magreakcióval), amit aztán fontos élettani vizsgálatokhoz használt fel. A radioaktív foszfor segítségével először a csontfejlődés mechanizmusát tanulmányozta, majd később a rák kialakulásával kapcsolatban is végzett vizsgálatokat. Továbbá ez vezette a neutronaktivációs analízis felfedezéséhez is [12,13,14].

A nukleáris medicina napjainkban az egyik legdinamikusabban fejlődő nukleáris szakterület. A radioaktív izotópokkal jelzett vegyületeket felhasználják diagnosztikára, terápiára, fiziológiás és gyógyszermechanizmus vizsgálatokra egyaránt. Az egyik legújabb terület a pozitronemissziós tomográfia (PET), melyről egy két részes cikk jelent meg a Nukleonban [3].

A fentieken kívül a Németországban töltött évek alatt a természetben előforduló radioaktív elemek sugárzását tanulmányozta és ezekből az eredményekből vont le következtetéseket a Föld kialakulására vonatkozóan. Azonosította a ^{40}K -t is, amely a természetes kálium 0,01%-a és pozitív, illetve negatív béta-bomlással alakul át argonná illetve kalciummá 10^9 év felezési idővel. A levegőben lévő körülbelül 1 %-nyi argon ebből a folyamatból származik. Felfedezte és vizsgálta a ^{147}Sm , ^{148}Sm és ^{149}Sm magokat, amelyek a természetben lévő samárium 15%-át, 11,3%-át, illetve 13,8%-át adják, alfa-emisszióval bomlanak 10^{11} , $7 \cdot 10^{15}$ és 10^{16} év felezési idővel [12].

A hafnium felfedezése

A felfedezés a Bohr elmélet egyik *prediktív állítását* igazolta. E szerint a ritkaföldfémek száma 14-re korlátozódik, amiből az következett, hogy a 72. elem nem lehetett ritkaföldfém, hanem csak a titánhoz és a cirkóniumhoz hasonló kémiai tulajdonságokkal rendelkező elem. Bohr elmélete szerint a lantántól kezdve nem a külső elektronhéj épül tovább, hanem a még telítetlen 4f alhéj, ahol 14 elektron fér el, és ezen alhéj kiépülésével (a 71. elemmel) zárul le a ritkaföldfémek sora. A 72. elem tehát nem tartozhat ide. Hevesy ennek alapján 1922 nyarán Magyarországon töltött szabadsága alatt elkészítette a 72. elem felkutatását célzó *kutatási tervét*. E szerint nem ritkaföldfém ásványokban, hanem a cirkónium ásványaiban kereste és meg is találta a 72. elemet 1923-ban Koppenhágában, melyet Koppenhága latin neve után keresztelt hafniumra. 30 dolgozata foglalkozik ezzel az elemmel. Többek szerint már ezért a felfedezéséért megérdemelte volna a Nobel-díjat. Nézzük a történetet!

A ritkaföldfémek felkutatása egészen a 18. század végére nyúlik vissza. Az elválasztási módszerek finomodásával sorra találták meg az itriumot, cériumot és társaikat, az egymáshoz kémiaiilag igen hasonló elemeket. Nehézséget okozott azonban, hogy egyrészt nem volt számukra hely a periódusos rendszerben, másrészt megjósolhatatlannak tűnt, mennyi is van belőlük. Gondoljuk meg a kérdések súlyosságát! Dimitrij *Mengyelejev* (1834-1907) tudta, hogy bizonyos elemek még nem ismeretesek, ezért számukra bizonyos kockákat üresen hagyott, ám az üresen hagyottak között nem szerepeltek olyan elemek, amelyek egészen olyannak mutatkoztak, mint a lantán, vagyis azok, amelyeket ritka földfémeknek neveztek el. Márpedig, ha léteznek a lantánhoz hasonló elemek, melyeknek nincs helyük a táblán, talán mindenféle egyéb ismeretlen elemek is létezhetnek, talán a periódusos rendszer nem adja meg az összes lehetséges földi elem teljes térképét.

A periódusos rendszer megőrzésére általánosan elfogadták Bohuslav *Brauner* (1855-1935) cseh kémikus 1899-ben tett javaslatát, amely szerint a ritkaföldeket a lantánéval azonos, egyetlen kockába kell írni és külön, általában a táblázat alatt fölsorolni. Ez a praktikus megoldás persze nem tisztázta az elvi kérdéseket, köztük azt, *hány ritkaföld létezik, milyen hosszú a táblázat alatti lista*.

A probléma megoldásához hozzájárult a *Henry Moseley* (1887-1915) által 1913-ig kifejlesztett röntgen-spektroszkópia, illetve a vele kapcsolatban kialakított rendszám fogalma. Ez utóbbi a periódusos rendszerben elfoglalt hely és a röntgen-spektroszkópiái adatok között teremt összefüggést: az adatok alapján meg lehet határozni valamely elem helyét a táblán. A lantán rendszáma 57-esnek adódott, ebbe a kockába kellett beírni a ritkaföldeket.

De nem tudták, vajon a még ismeretlen 72-es rendszámú elemmel végződik-e a ritkaföldek sora vagy ez már ismét a táblára kerül. Ez volt a *kutatási kérdés*.

Az egész ügy egy Niels Bohrral folytatott beszélgetés során került Hevesy látókörébe. Bohr 1913-ban publikálta atommodelljét, ám ez csupán a hidrogén, hélium és lítium szerkezetét magyarázta meg. Hevesy visszaemlékezése szerint *“1922 januárjában a vele [mármint Bohrral] tett séta közben tudtam meg, hogy kiterjesztette elméletét az egész periódusos rendszerre, és ezzel megmagyarázta többek között a ritkaföldek elhelyezkedését is a periódusos rendszerben. Elmélete szerint ezek száma csupán tizennégyre korlátozódik, tehát az ismeretlen 72. számú elem nem lehet ritkaföld, hanem titán homológ.”* Tehát Bohr a saját modellje alapján felállított *hipotézise* szerint az új elem már felkerül a fő táblára, a periódusos rendszerben a d mezőben a helye.

AZ ELEMOK PERIÓDUSOS RENDSZERE
A KÉMIAI JELLEMZŐK CSOPORTOSÍTÁSÁVAL

Itt egy jó periódusos rendszert mutatunk, mert csak a 14 f mező elemeit mutatja az alsó két sorban! Sok esetben 15 elem található ebben a két sorban, a lantán és az aktínium is, ami nem jó! Azok még d mezőbeli elemek.

Hevesy azzal nyugtatta Bohrt, hogy komoly kémikus nem hisz néhány bizonytalan spektrumvonalnak: elő kell állítani az elemet.

Hevesy 1922 nyarán, Magyarországon geokémiai munkákat olvasott és Bohr elméletére támaszkodva arra az álláspontra jutott, hogy cirkónium tartalmú ásványban kell keresni a 72. számú elemet. Tehát az általa *tervezett vizsgálatokba* cirkónium tartalmú ásványokat vont be. Hevesy az ásványból eltávolította az oldható komponenseket, és a mintában kereste az új elemre jellemző spektrumvonalakat. Ezeket is ki tudta mutatni. Tehát az *adatok elemzése* azt mutatta, hogy az új elem ténylegesen a cirkóniumhoz hasonlós. Vagyis azt a *következtetést* tudta levonni, hogy a hipotézisnek megfelelően a periódusos rendszer d mezőjében helyezhető el. Az elemet ő nevezte el hafniumnak.

A felfedezést drámai körülmények között jelentették be. Bohr már átvette a Nobel-díjat Stockholmban és a következő nap kellett megtartania előadását a Svéd Tudományos Akadémián. Este értesítette telefonon a mérés pozitív eredményéről, és Hevesy már rohant az állomásra, hogy jelen lehessen másnap az előadáson, amikor Bohr nyilvánosságra hozza az eredményt. Az előadás vége felé tett bejelentés csakugyan óriási izgalmat keltett a hallgatóságban, majd az egész nemzetközi vegyésztársadalomban [5,6].

Emléktábla Hevesy szülőházán Budapest Akadémia utca 1.

Összefoglalóan jelen írásban röviden bemutattuk Hevesy György munkásságát, annak hatását napjainkra és életének főbb állomásait. Némely példát kiragadva javaslatot tettünk azoknak a közoktatásban való felhasználására.



Felhasznált irodalom

- [1] Marx György (2000): *Marslakók érkezése*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- [2] Hevesy György - Róna Erzsébet (1915) Die Lösungsgeschwindigkeit der molekularen Schichten, Z. Phys. Chem, **89**, 294.
- [3] Nagy Mária, Zsámberger Noémi Kinga, Pávó Gyula: A pozitronemissziós tomográfia (PET) elvi alapjai és feldolgozási lehetőségei a középiskolában. *Nukleon* 150. és 151.
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/6_4_150_Nagy_1.pdf
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/6_4_151_Nagy_2.pdf (utolsó látogatás 2016. 06. 23.)
- [4] Nemzeti alaptanterv 2012.
- [5] Palló Gábor (1992): *Radioaktivitás és a kémiai atomelmélet*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- [6] Palló Gábor: A HAFNIUM-TÖRTÉNET ÉS HEVESY GYÖRGY NOBEL-DÍJA.
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0105/pallo.html>
utolsó látogatás 2016. június 23.
- [7] Radnóti Katalin (2008): Az izotópfogalom történetéhez. *A Kémia Tanítása*. XVI. évfolyam. 5. szám. 7-14. oldalak
- [8] Radnóti Katalin (2014): Götz Irén és Róna Erzsébet munkássága. *Nukleon* 171.
http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/7_4_171_Radnoti_0.pdf (utolsó látogatás 2016. 06. 23.)
- [9] Róna Erzsébet (1914a) Az urán átalakulásairól, *Mathematikai és Természettudományi Értesítő*, **32**, 350.
- [10] Róna Erzsébet (1914b) Az urán átalakulásairól, *Magyar Chemikusok Lapja*, 5, 42.
- [11] <http://www.omikk.bme.hu/archivum/magyarok/hm/hevesyrov.htm> (utolsó látogatás 2016. 06. 23.)
- [12] Vértés Attila: Hevesy György
<http://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/teazo/tn2000/hevesy.html> (utolsó látogatás 2016. 06. 23.)
- [13] Vértés Attila (2009): Hevesy György és nyomjelzéstechnika. In.: *Szemelvények a nukleáris tudomány történetéből*. (Szerk.: Vértés Attila) Akadémiai Kiadó. Budapest.
- [14] http://www.nbi.ku.dk/english/www/george/de_hevesy/
- [15] A turai Hevesy György Általános Iskola honlapja névadójuk életéről
<http://hevesytura.hu/?p=bemutakozo/nevado>