

KAPTAY GYÖRGY

Kémiai elemek a kohászat szolgálatában és azon túl

A szerző rendszerezi az eddig a természetben felfedezett 94 és a fizikusok által kreált 24 (összesen 118) elemet, különválasztva a kohászat szempontjából hasznos (nem radioaktív) 81 elemet a 37 radioaktív elemtől. Mivel a 81 elem közül 16 elem erősen toxikus, azok csak kontrollált ipari körülmények között használhatóak, kitiltásuk az egyéni fogyasztóknak szánt termékekből folyamatos. Tehát az egyéni fogyasztóknak szánt termékeket a maradék 65 elemből kell megalkotni. Bemutatja, hogy a 81 elemből csak 75 elemnek ismertek megfelelő pontossággal a tulajdonságai, 6 elemnek azonban (különösen a lítiumnak) olyan változatos a földkéreg különböző helyein az izotóp-összetétele, hogy tulajdonságaik nem ismertek megfelelő pontossággal.

1. Bevezetés

A kohászat a kémiai elemekből építkezik [1]. Innen kiindulva ez a cikk a számunkra hasznos, illetve haszontalan kémiai elemek számbavételével foglalkozik, illetve azzal, hogy az egyes hasznos elemek felhasználhatósága vajon korlátozott-e, illetve tulajdonságaik ismertek-e legalább a mérnöki igények szintjén, ami kb. 4 értékes jegyet jelent.

2. Az elemek csoportosítása és tulajdonságaik [2-11]

Egy elem atomjai azért tartoznak egy adott elemhez, mert adott számú proton van az atommagjukban. Ugyanazon elem különböző izotópjai pedig abban különböznek egymástól, hogy atomjaik atommagjában az azonos protonszám mellett különböző számú neutron tartalmaznak. Az atomok összes tulajdonságát belső szerkezetük határozza meg. Ezért egy elem minden izotópjának minden tulajdonsága kisebb-nagyobb mértékben eltér egymástól, de egy azonos izotóp-eloszlású elemnek reprodukálható átlagos tulajdonságai vannak. Mivel az izotópok elválasztása nehézkes és drága, a kohászat az elemeket abban az izotópkeverék formájukban használja, ahogy ezek az elemek a földkéreg felső részében találhatóak, és onnan kibányászásuk azokat, majd a körforgásos gazdaságnak köszönhetően remélhetőleg ugyanabban a nem radioaktív izotóp-összetételben kapjuk vissza ugyanazokat az elemeket a 2., 3. stb. újrahasznosítási ciklusokban.

A földkéregben és a földi atmoszférában eddig 94 elemet fedeztünk fel, de ezek közül csak 81 elem gyakorlatilag sta-

bil, azaz nem radioaktív (részletesebben lásd lent). A maradék 13 természetes elem radioaktív, ezek közül csak az urán (U) és a tórium (Th) van szignifikáns mennyiségben a földkéregben. Ezen túl a fizikusok a mai napig 24 további mesterséges elemet hoztak létre, melyek mindegyike erősen radioaktív. Így ma (pontosabban 2007 óta, de még 2020 végén is érvényesen) összesen 118 elem ismert (1. ábra). Várható, hogy a fizikusok a jövőben további elemeket fognak kreálni, de valószínű, hogy azok mindegyike erősen radioaktív elem lesz (részletesen lásd lent). A radioaktív elemek közül a legkevésbé radioaktív az urán, de az életre már ez az elem is túlságosan veszélyes ahhoz, hogy sugárzó funkcióját leszámítva bármilyen másra is használjuk. Ezért a kohászat csak a 81 gyakorlatilag stabil elemet használja.

A 81 stabil elemből 16 erősen toxikus, ezért ezeket érthető módon jogi eszközökkel fokozatosan szorítják ki azon termékekből, melyek egyéni felhasználókkal kapcsolatba kerülnek. Ennek oka az emberi butaság és felelőtlenség: sajnos nem bízhatunk abban, hogy embertársaink vigyáznak magukra és egymásra. Tehát minden olyan termékben, ami egyéni felhasználókkal kerül kapcsolatba, lényegében csak 65 elem használható, vagy legalábbis e jogi helyzet felé haladunk. A jó hír az, hogy kontrollált ipari körülmények között mind a 81 stabil elem használható.

Az elemek izotóp-összetételének függvényében a 81 stabil elem három csoportba osztható (2–4. ábra). A 2. ábrán bemutatott 20 elem a legkönnyebben kezelhető számunkra, ezek ugyanis csak egy-egy izotópot tartalmaznak, így minden tulajdonságuk nagy pontossággal ismert. Ugyan a 3. ábrán bemutatott 48 elem mindegyike több stabil izotó-

Kaptay György okleveles kohómérnök (1984, Leningrádi Műszaki Egyetem), a műszaki tudományok kandidátusa (1988, ugyanott), a Miskolci Egyetem professzora (1999 óta), az MTA doktora (2005 óta), részfoglalkozásban a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Kft. vezető kutatója (2006 óta), a BAY-NANO Kutatóintézet alapító igazgatója (2006–2007), a nanotechnológiai oktatás megalapítója a Miskolci Egyetemen (2007), az MTA levelező tagja (2016 óta), a Magyar Anyagtudományi Egyesület elnöke (2015 óta), a Miskolci Egyetem

Tudományos Tanácsának elnöke (2017 óta) és az MTA Miskolci Akadémiai Bizottság elnöke (2020 óta). A Scimago szerinti Q1 (legjobb 25%) folyóiratcikkeinek száma 75 (ezek közül az MTMT szerint 41 cikk D1 minősítésű, azaz a tudományterület legjobb 10%-ában van), független hivatkozásainak száma 3.100 feletti, az azokból származó h-indexe 28. BKL Kohászat cikkeinek száma 37. Kutatási területei: metallurgia, kémiai termodinamika, határfelületi jelenségek, elektrokémiai szintézis, nanotudományok, anyagmodellek.

pot tartalmaz, ezek tulajdonságai ennek ellenére megfelelő pontossággal ismertek, mivel a földkéreg különböző pontjain talált minták izotópeloszlása a méréshatáron belül azonos.

A 4. ábrán bemutatott 13 elem erősen problémás. Ezen elemekben is több izotóp van, de a földkéreg különböző pontjairól származó minták izotópeloszlása változékony. Ennek pontos oka nem ismert, ezért van az, hogy ezen elemek minden tulajdonsága csak 2-6 értékes jeggyel ismert.

Ezek közül különösen problémás a Li, de részben az Ar, B, S, Cl és H is, melyek atomtömegei (és ezért tulajdonságai) nem ismertek még 4 értékes jegy pontossággal sem. A legproblémásabb Li atomtömegéről csak azt tudjuk, hogy az a földkéreg különböző helyeiről vett mintákban bármi lehet 6,938 ... 6,997 g/mol között, ami kb. 0,4%-os bizonytalanságot jelent az átlagos 6,97 g/mol értékhez képest. Ennek legnyilvánvalóbb következménye, hogy ha a Li-ötvetek (vegyületek) tömeg%-ban mért összetételét átszámítjuk atom%-ra (vagy vissza), akkor ezen átszámítás során 0,4 relatív %-os a bizonytalanság, ha nem ismerjük a konkrét Li-minta izotóp-összetételét. Itt érdemes megjegyezni, hogy az anyagokat egységnyi tömegre vásároljuk, de hasznos funkciójukat általában nem a tömegük, hanem az atomok darabszáma (anyagmennyisége) hordozza: például egy Li-elem gyártásához vásárolt 1 kg tömegű Li elektromos energiátároló kapacitása 0,4%-os változatosságot mutat a nagy átlaghoz képest csak a moláris tömeg változatossága miatt, és akkor a többi tulajdonságon keresztül kifejtett hatást még nem említettük.

Ezért a Li-ot és a többi problémás elemet (Ar, B, S, Cl, H) tartalmazó anyagokat kohászati szempontból külön figyelemmel kell kezelni. A legegyszerűbb (de nem olcsó) megoldás az lenne, ha minden, Li-Ar-B-S-Cl-H elemet tartalmazó mintában tömegspektrométerrel meghatároznánk a konkrét izotópeloszlást. De ha így teszünk, akkor idővel lesz majd a Li-6,938 és a Li-6,997 variánsok között 60-fajta különböző lítiumunk, különböző tulajdonságokkal. Véleményem szerint az előttünk álló egyik kihívás, hogy hogyan kezeljük a Li-6,938 kontra Li-6,997 problémát? (egyelőre mint ha a szőnyeg alá söpörnénk).

3. Részletesebben a 37 radioaktív és a 81 stabil elem közötti különbségről [2-11]

A 81 mérnökileg stabilnak tekintett elemből 80 elemnek van legalább 1-1 stabil izotópja, de ennek a 80 elemnek nem-

csak 80, hanem összesen 253 stabil izotópja van, ami átlagban 3,16 stabil izotóp per stabil elem. A csúcstartó az ón, aminek 10 stabil izotópja van. Stabil izotópnak azt az izotópot nevezzük, melynek felezési ideje mérhetetlenül nagy (jellemzően 10^{24} év feletti). Felezési időnek nevezzük azt az időt, amennyi alatt egy adott izotóp tömegének a fele radioaktív bomlást szenved, és más elem(ek) lesz(nek) belőle. A felezési idő jele $t_{1/2}$, mértékegysége jellemzően az év. Instabil izotópnak nevezzük azt az izotópot, melynek felezési ideje már mérhetően kicsi (jellemzően 10^{24} év alatti).

A 253 stabil természetes izotópon kívül ismerünk 105 instabil természetes izotópot is. Nem meglepő, hogy ezek többsége (73 instabil izotóp) a 13 instabil (radioaktív) természetes elem része. Ennél meglepőbb, hogy a további 32 instabil izotóp a 81 stabil elemhez tartozik (van például egy instabil izotópja az ónnak is, a fent említett 10 stabil izotópja mellett). A legnagyobb rendszámú stabil elemnek, a bizmutnak egyáltalán nincs stabil izotópja, csak instabil izotópjai vannak. Most joggal merül fel a kérdés: ha ez így van, akkor miért nevezzük pl. a Bi-ot, vagy a többi, instabil izotópot is tartalmazó elemet „mérnökileg stabil” (= nem veszélyesen radioaktív) elemnek? Ennek a kérdésnek a megválaszolásáról szól ez a fejezet.

Mielőtt erre a kérdésre rátérünk, meg kell hogy jegyezzük, hogy a fizikusok nemcsak instabil elemek instabil izotópjait állítják elő, hanem a stabil elemek rengeteg instabil izotópját is, ezek száma ezer feletti. Ennek dacára a fizikusoknak még nem sikerült olyan stabil izotópot előállítaniuk, ami a természetben ne lenne megtalálható. Annak az esélye, hogy a jövőben akár egy ilyet is sikerül előállítaniuk, erősen csekély. Ez azért van így, mert a természetnek évmillióárdok álltak rendelkezésére „minden” kipróbálására, míg az atomfizikusok ezt a tevékenységet csak kevesebb mint 100 éve művelik, ráadásul a rendelkezésükre álló laborok is sokkal kisebbek, mint amilyen méretű „laborban” a természet kísérletei folytak/folynak.

Most térjünk rá egy instabil izotóp radioaktív bomlásának jellemzésére. Vizsgáljunk egy izotóp típusból N db atomot, és az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy ez az izotóp csak egyfajta radioaktív bomlást szenved, majd nem bomlik tovább. Ahhoz, hogy ezen izotóp egy atomja radioaktív bomlást szenvedjen, semmifajta külső hatásra nincs szükség, mindez spontán módon történik. A bomlás valószínűsége az izotópfajta tulajdonsága. Azt nem tudjuk, hogy

H																			
Li													B	C	N	O			
	Mg													Si		S	Cl	Ar	
																	Br		
		*																	
		**											Tl						
	*																		
	**																		

■ 4. ábra. A periódusos táblázat azon 13 stabil eleme, melyek mindegyikének több mint egy stabil izotópja van, de az izotópeloszlásuk a földkéregben változékony, ezért ezen elemek moláris tömege (és minden egyéb tulajdonsága) csak 2 ... 6 értékes jeggyel ismert

egy adott atom mikor fog elbomlni, de nagyszámú (N) atomról statisztikailag tudjuk, hogy egységnyi idő alatt hány atom bomlik el benne. Ezért a radioaktív bomlás sebességét leíró differenciálegyenlet:

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot N \quad (1)$$

ahol t (év) az eltelt idő, k (1/év) a bomlási állandó, ami az adott izotóp tulajdonsága, míg a negatív előjel utal arra, hogy az idő előrehaladtával egyre kevesebb a még el nem bomlott atomok száma (N). Az (1) differenciálegyenlet integrálalakja:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -k \cdot \int_0^t dt \quad (2)$$

ahol a nyilvánvaló két peremfeltétel: 1.) a $t = 0$ időhöz a kérdéses izotóp kiindulási N_0 darab atomja tartozik, 2.) egy tetszőleges t idő eltelte után a még el nem bomlott izotóp atomok száma N -re csökken. A (2) egyenlet mindkét oldalának integrálása után annak megoldása:

$$N = N_0 \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (3)$$

Emlékezzünk vissza a felezési idő fenti definíciójára.

Ezek szerint, amikor $t = t_{1/2}$, akkor $N = N_0/2$.

Behelyettesítve e két értéket a (3) egyenletbe, az adódó új egyenletből kifejezhető a bomlási állandó:

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (4)$$

A (4) egyenletet a (3) egyenletbe helyettesítve kapjuk a még el nem bomlott atomok számát leíró végső egyenletet:

$$N = N_0 \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}\right) \quad (5)$$

Elosztva az (5) egyenlet mindkét oldalát az Avogadro-számmal:

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}\right) \quad (5a)$$

ahol n (mol) az el nem bomlott izotóp anyagmennyisége, míg n_0 (mol) a kiindulási izotóp anyagmennyisége. Ha megszorozzuk az (5a) egyenlet mindkét oldalát az izotóp atomtömegével (g/mol), a következő kifejezéshez jutunk:

$$m = m_0 \cdot \exp\left(-0,693 \cdot \frac{t}{t_{1/2}}\right) \quad (5b)$$

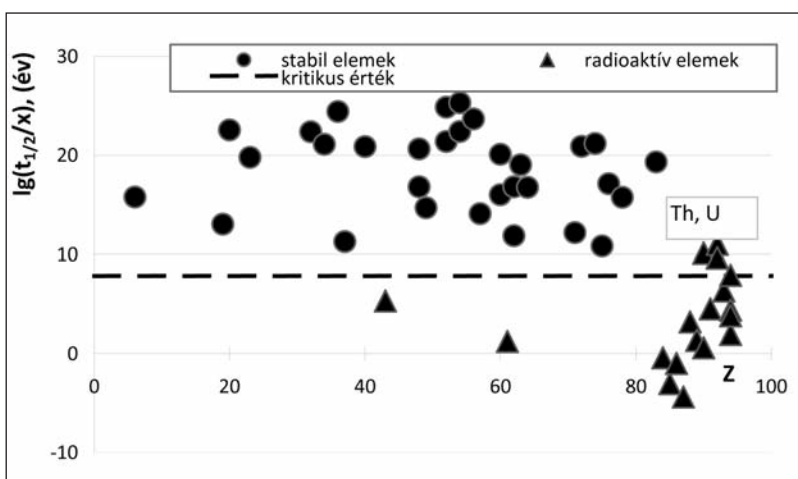
ahol m (g) az el nem bomlott izotóp tömege, míg m_0 (g) a kiindulási izotóp tömege. Mint látjuk, az (5 – 5a – 5b) egyenletek azonos típusú egyenletek, ami azt jelenti, hogy egy adott izotóp azonos sebességgel veszíti el atomjait, móljait és tömegét, mivel ezen utóbbi mennyiségek arányosak egymással.

Most vizsgáljuk a radioaktív bomlást minőségbiztosítási szempontból. Egy adott anyag akkor tekinthető a radioaktív bomlás szempontjából minőségbiztosítottnak, ha elegendően hosszú idő alatt csak olyan kevés bomlik el belőle, hogy ezzel az anyag összetételében és ezért tulajdonságaiban nem következik be szignifikáns változás. Óvatos becsléssel ehhez az kell, hogy a koncentrációváltozás 1 ppm-nél kevesebb legyen 100 év alatt. Behelyettesítve az (5b) egyenletbe a $t = 100$ év és az $m = 0,999999 \cdot m_0$ értékeket, ez a feltétel akkor teljesül, ha $t_{1/2} \geq 6,93 \cdot 10^7$ év. Ez a helyzet akkor, ha egy elem csak ezt az egy izotópot tartalmazta $x = 1$ móltörttel a kiindulási állapotban. Ha azonban az adott izotóp kiindulási móltörtje a természetes mintában x , akkor a feltétel akkor teljesül, ha igaz:

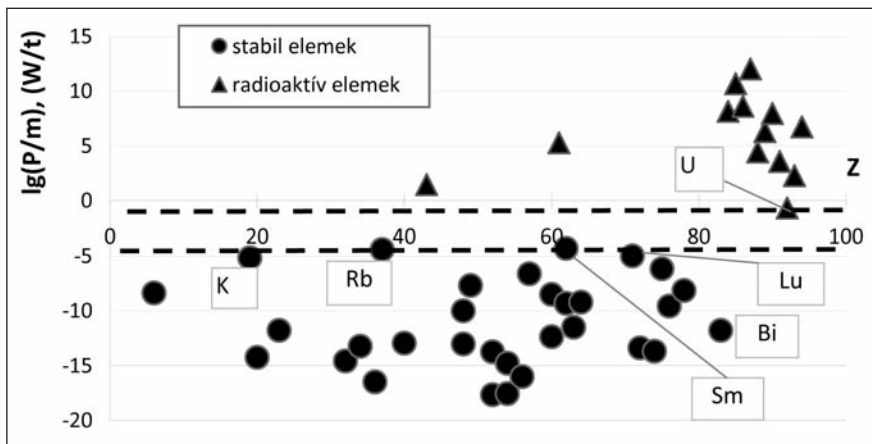
$$\frac{t_{1/2}}{x} \geq 6,93 \cdot 10^7 \text{ év} \quad (6)$$

A (6) egyenlettel leírt kritériumot a természetes elemek instabil izotópjaira az 5. ábrán ellenőrizzük le. Mint az 5. ábrán látszik, minden stabilnak gondolt elem minden instabil izotópjára kielégíti ezt a feltételt, azaz a belőlük készült anyagok összetétele 100 év alatt sem változik még 1 ppm értékkel sem a radioaktív bomlás következtében. Ebből a szempontból tehát mind a 81, fent stabilnak nevezett elem valóban stabil. Kicsit váratlan módon az 5. ábráról azt is látjuk, hogy a Th és az U is elég stabil ebből a szempontból.

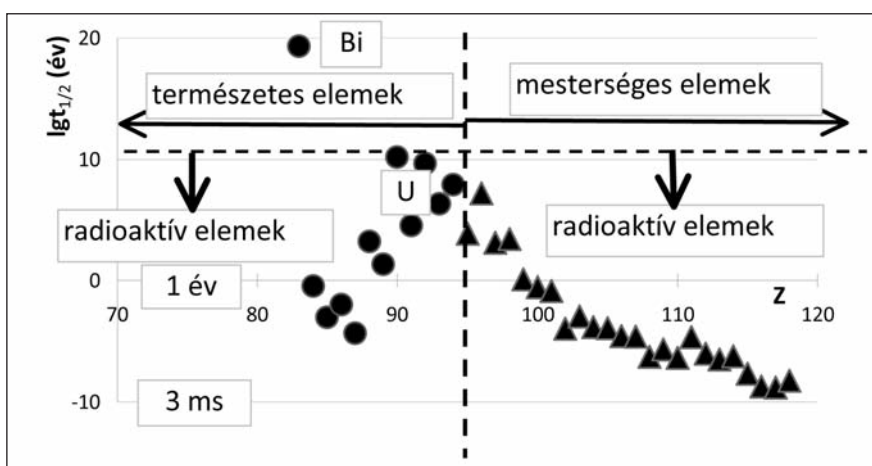
Egy kohómérnök azonban nemcsak az általa gyártott anyagok minőségéért, hanem munkatársai és vásárlói egészségéért is felelős. Ezért most vizsgáljuk meg, hogy miért és mennyire veszélyes az emberi életre a radioaktív sugárzás. A veszélyt főleg az okozza, hogy a radioaktív bomlás során a bomló anyagból He atommagok szabadulnak ki, melyek roncsolják az élő szervezetet. Például miközben egy U-235-ös izotópatom fokozatosan átalakul egy Pb-207-es izotópatommá, ezt 7 héliumatom megjelenése kíséri (mivel $(235 - 207)/4 = 7$) és az ezt kísérő energiaváltozás – 17,8 GJ/g (lásd 8. ábrát is; a radioaktív bomlás azért spontán folyamat, mert negatív energiaváltozás kíséri). Érdekes módon ez az érték nem sokkal marad el attól a – 72 GJ/g energiaváltozástól, ami az U-235-ös maghasadását kíséri. A nagy különbség a maghasadásos láncreakció és a radioaktív bomlás között ezek sebességében van: egy atombombában a – 72 GJ/g energia másodpercen belül felszabadul, míg 2 g U-235-ös izotóp radioaktív bomlása



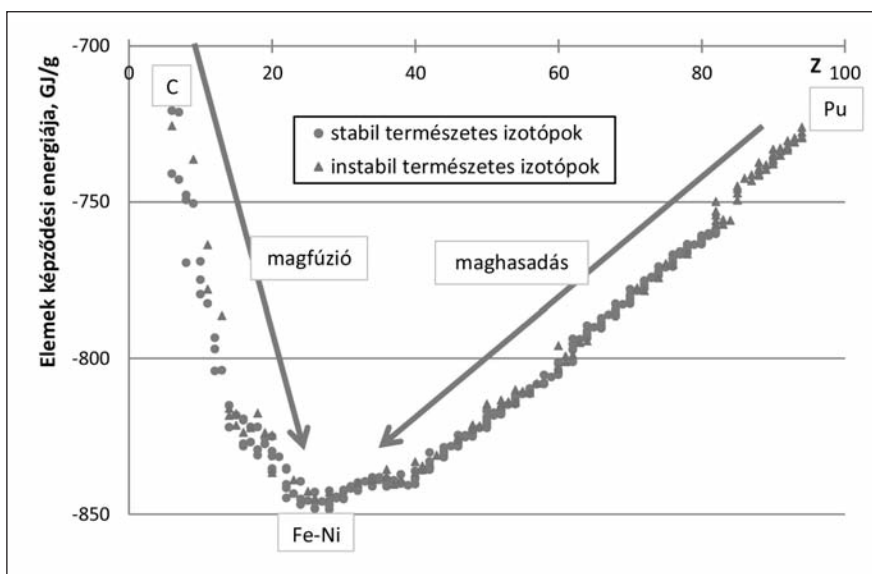
■ 5. ábra. Instabil izotópok felezési idejének és az adott elem belüli móltörtjének hányadosa (annak 10-es alapú logaritmusa) a rendszám (Z) függvényében természetes elemekre (körök: stabil elemek, háromszögek: radioaktív elemek, vízszintes szaggatott vonal: a (6) egyenlettel számolt kritikus érték)



■ 6. ábra. Instabil izotópok (9) egyenlettel számolt fajlagos radioaktív teljesítménye (annak 10-es alapú logaritmusa) a rendszám (Z) függvényében természetes elemekre (körök: stabil elemek, háromszögek: radioaktív elemek, a két vízszintes szaggatott vonal az elemtípusokat elválasztó demarkációs vonalak, köztük 4 nagyságrend)



■ 7. ábra. A 24 mesterséges elem legstabilabb izotópjának (háromszögek) és néhány természetes elem (körök) legstabilabb izotópjának felezési ideje (annak tízes alapú logaritmusa) a rendszám (Z) függvényében



■ 8. ábra. Elemek képződési energiája az elemi részecskékből a rendszám függvényében. A karbon előtti elemekre az értékek pozitívabbak – 700 GJ/g-nál. Mivel a görbe minimuma a Fe és Ni elemeknél van, ezért ez a két legstabilabb elem az univerzumban. A görbén nyilal bemutatott „magfúzió” és „maghasadás” csak az elvi, termodinamikai lehetőséget jelzi. Kinetikai okokból ezek a folyamatok csak speciális izotópokra és csak speciális körülmények között játszódnak le

során a – 17,8 GJ/g energia közel 1 milliárd év alatt szabadul fel, mivel ennyi az U-235 felezési ideje. Ezért ami a radioaktív bomlás veszélyét jelzi, az a radioaktív bomlás teljesítménye, aminek jele P, mértékegysége $W = J/s$. Ennek logikus számítási képlete:

$$P = \Delta E \cdot \frac{dm}{dt} \quad (7)$$

Helyettesítsük be a (7) egyenletbe az (1) egyenletet, miután megszoroztuk annak mindkét oldalát a moláris tömeg és az Avogadro-szám hányadosával, figyelembe véve a (4) egyenletet is, majd az eredményt osszuk el m-mel (az izotóp tömegével):

$$\frac{P}{m} = -\Delta E \cdot \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (8)$$

A (8) egyenlet bal oldalán a P/m hányados az izotóp fajlagos (egységnyi tömegrre vonatkozó) radioaktív teljesítménye, mértékegysége W/kg. A (8) egyenlet arra az esetre vonatkozik, amikor egy radioaktív elem egyetlen izotópból áll. Ha azonban az elem több instabil izotópot tartalmaz, melyek móltörtje x, akkor az elem fajlagos radioaktív teljesítménye:

$$\frac{P}{m} = -0,693 \cdot \sum \frac{x \cdot \Delta E}{t_{1/2}} \quad (9)$$

ahol a szummázást az elem instabil izotópjai szerint végezzük. Mint a (9) egyenletből látjuk, egy izotóp akkor igazán veszélyes, ha nagy móltörthöz kis felezési idő tartozik. Ez azonban ritka kombináció, hiszen még ha ez is volt a helyzet évmilliárdokkal ezelőtt, a kis felezési idő miatt ennek az izotópnak a nagy része mára már elbomlott, mint ahogy ez történt pl. a K-40-es izotóppal is, amiből mára már szerencsére kevés maradt.

Az uránra a (9) egyenlettel kiszámolt érték mindössze 0,21 W/t, ami nagyon alacsony fajlagos radioaktív teljesítmény. Ha a természetes urán radioaktív bomlásával akarnánk meghajtani egy 60 W-os izzót, ahhoz minimum 286 t uránra lenne szükség feltételezve, hogy a radioaktív bomlást kísérő energiaváltozás 100%-át tudjuk elektromos energiává alakítani. Ez az eredmény magyarázza meg azt, hogy miért nem építünk radioaktív bomláson alapuló erőműveket (mert értelmetlenül kevés elektromos energiát nyernénk belőle). Azonban ez a kicsinek tűnő fajlagos teljesítmény megszorozva a Föld tömegével és abban az urán előfordulásával elegendő ahhoz, hogy az urán (és a tórium) radio-

aktív bomlásából származó hő a Föld belsejét melegen tartsa és minket geotermikus energiával lásson el.

Az élővilág és ezen belül az emberi test azonban nagyon érzékeny a radioaktív sugárzásra, így még ez a csekélynek tűnő fajlagos radioaktív teljesítmény (0,21 W/t) is elég ahhoz, hogy az uránt „radioaktív” minősítsük. Sajnálatos tény ugyanis, hogy az uránbányászok között szignifikánsan magasabb a rákmegbetegedések száma az átlag lakossághoz képest, ami elegendő ahhoz, hogy kohómérnökként ne építsünk uránt semmilyen műszaki anyagba.

A (9) egyenlettel számolt fajlagos radioaktív teljesítményt különböző természetes izotópokra a 6. ábra mutatja be. Láthatjuk, hogy a legkevésbé veszélyes elem a radioaktív elemek közül az urán. A stabilnak gondolt elemek közül a legveszélyesebbek a K, Rb, Sm és Lu, de mindezen elemek fajlagos radioaktív teljesítménye 4 nagyságrenddel kisebb az uránéhoz képest. Mivel az emberi szervezet kb. 150 g káliumot tartalmaz, állíthatjuk, hogy az nem veszélyes ránk nézve. Innen, illetve a 6. ábra felhasználásával azt is állíthatjuk, hogy a stabilnak tartott 81 elem radioaktivitás szempontjából veszélytelen ránk nézve annak ellenére, hogy bennük 32 instabil természetes izotóp is található. A 6. ábrán külön meg van jelölve a Bi, ami csak két instabil izotópot tartalmaz, de az ábra szerint ennek ellenére veszélytelen elem.

Visszatérve az 5. ábrára, ahol azt találtuk, hogy a minőségbiztosítási teszten az urán és a tórium is átment, a 6. ábra ismeretében meg kell állapítanunk, hogy e két elem nem lehet része olyan műszaki anyagnak, ami emberek közelébe kerül. Ezzel a gyakorlati kohászatból ezt a két elemet kizártuk, és maradunk a 81 stabil elemnél.

Az 5-6. ábrákon nem vizsgáltuk a fizikusok által kreált 24 mesterséges elemet. Azért nem, mert ezekre a mesterséges elemekre a (6) és (9) egyenletekben szereplő izotóp móltört (x) értelmezhetetlen, hiszen az a földkéregben talált ásványokban lévő elemekre vonatkozik. Ezért a 24 mesterséges elem legstabilabb izotópjainak felezési idejét a 7. ábra mutatja be. Láthatjuk, hogy még a legstabilabb mesterséges elem felezési ideje is jóval az urán felezési ideje alatt van, ami azt jelenti, hogy mind a 24 mesterséges elem radioaktívabb az uránnál. Ráadásul a felezési idő a rendszám növelésével a millió évekről a másodperc alá csökken. A 7. ábrán látható trendet elnézve nem sok reményünk lehet arra, hogy majd a 119., 120. stb. rendszámú mesterséges elem nem lesz radioaktív. De még ha találnának is a fizikusok stabil elemet a 118-as rendszám felett, akkor sem valószínű, hogy annak kohómérnöki haszna lehet, hiszen az várhatóan „aranyárban” lesz. Ezért kohómérnökként ne reménykedjünk túlságosan abban, hogy majd a fizikusoktól új stabil eleme(ke)t kapunk ajándékba. Ehelyett törődjünk bele abba, hogy minden mérnöki feladatot a természetes és gyakorlatilag stabil 81 elemből kell megoldanunk.

Ezt az elemek stabilitásáról szóló cikket zárjuk a 8. ábrával, ami remélhetőleg melegséggel tölti el acélkohász kollégáim szívét. Innen ugyanis az látszik, hogy a természet két legstabilabb eleme a vas és a nikkel (ezért sem valószínű, hogy az acélgyártást belátható időn belül felváltja a még fel sem fedezett egyik mesterséges elem gyártása). A 8. ábrából az is következik, hogy a vasnál kisebb rendszámú elemek atommagfúzióra hajlamosak (mivel ezekre az elemekre ez a folyamat jár energiacsökkenéssel), míg a nikkelnél

nagyobb rendszámú elemek atommaghasadásra hajlamosak (hiszen ezekre az elemekre ez a folyamat jár energiacsökkenéssel). E két lehetőség közül az emberiség eddig csak az atommaghasadást használta ki először tömegpusztító, majd később energiatermelési céllal is. Ma is intenzív kutatás tárgya, hogy atommagfúzióval építhető-e gazdaságosan működő atomerőmű – tippelni csak pesszimistán tudnék, ezért inkább nem tippelek, inkább vakon reménykedem a fizikusok sikerében, ami ha megvalósulna egy olcsó és gyakorlatilag végtelen energiaforrás megalkotásával, az a kohászatra is pozitív hatással lenne.

Összefoglalás

A kohómérnökök csak 81 elemet használhatnak tevékenységük során, annak ellenére, hogy a modern periódusos táblázatok 118 elemet tartalmaznak. Arra sajnos a 119., 120. stb. elemek megalkotása után se számítsunk komolyan, hogy az általunk ma használható elemszám nőni fog. Ráadásul ebből a 81 elemből 16 erősen toxikus, így azok olyan termékekbe nem építhetők bele, melyek kapcsolatba kerülnek az egyéni fogyasztókkal. Így a kohászat kettős szorításban tevékenykedik. Egyrészt ki kell elégíteniük a végtelenbe emelkedő fogyasztási spirált hajszólo emberiség igényeit, másrészt az egészségügyi kutatások egyre több elemről derítenek ki egyre több egészségügyi kockázatot, amit a kormányok jogi eszközökkel érvényesítenek is, azaz egyre többet kell kihoznunk egyre kevesebb engedélyezett elemből. Mindezt ráadásul fenntartható módon kell megoldanunk. Elmondhatjuk tehát, hogy kohómérnökként az élet csupa kihívás, és várhatóan ez a „nemzetközi helyzet” a jövőben is csak „fokozódni” fog.

Irodalom

- [1] *Bárczy Pál*: Anyagtechnológiától anyagtudományig és vissza. BKL Kohászat 153 (2020) 30–34.
- [2] *J. Emsley*: The elements. Clarendon Press (1989) London.
- [3] *G. Audi, A. H. Wapstra*: The 1993 Atomic mass evaluation. Nucl Phys A 565 (1993) 1–65.
- [4] *P. J. Mohr, B. N. Taylor, D. B. Newell*: CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006. Rev Modern Phys 80 (2008) 633–730.
- [5] *P. J. Mohr, D. B. Newell, B. N. Taylor*: CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014. J Phys Chem Ref Data 45 (2016) 043102.
- [6] *T. B. Coplen, N. E. Holden*: Atomic weights – no longer constants of nature. Chem Int. March-April (2011) 10–15.
- [7] *Kaptay György*: Anyagegyensúlyok. Miskolci Egyetem, 2011, 359. oldal
- [8] *G. Kaptay*: On the atomic masses (weights?) of the elements, J. Min. Metall. B. 48 (2012) 153–159.
- [9] *G. Audi, A. H. Wapstra*: The AME2003 atomic mass evaluation. Nucl Phys A 729 (2003) 337–676.
- [10] *M. Wang, G. Audi, A. H. Wapstra, F. G. Kondev, M. MacCormick, X. Xu, B. Pfeiffer*: The AME2012 atomic mass evaluation. Chin Phys C 36 (2012) 1603–2014.
- [11] *J. Meija, T. B. Coplen, M. Berglund, W. A. Brand, P. De Bièvre, M. Groning, N. E. Holden, J. Irrgeher, R. D. Loss, T. Walczyk, T. Prohaska*: Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem. 88 (2016) 265–291.