

# A Karlsruhei Nuklidtérkép új, 2015-ös kiadása

Sóti Zsolt

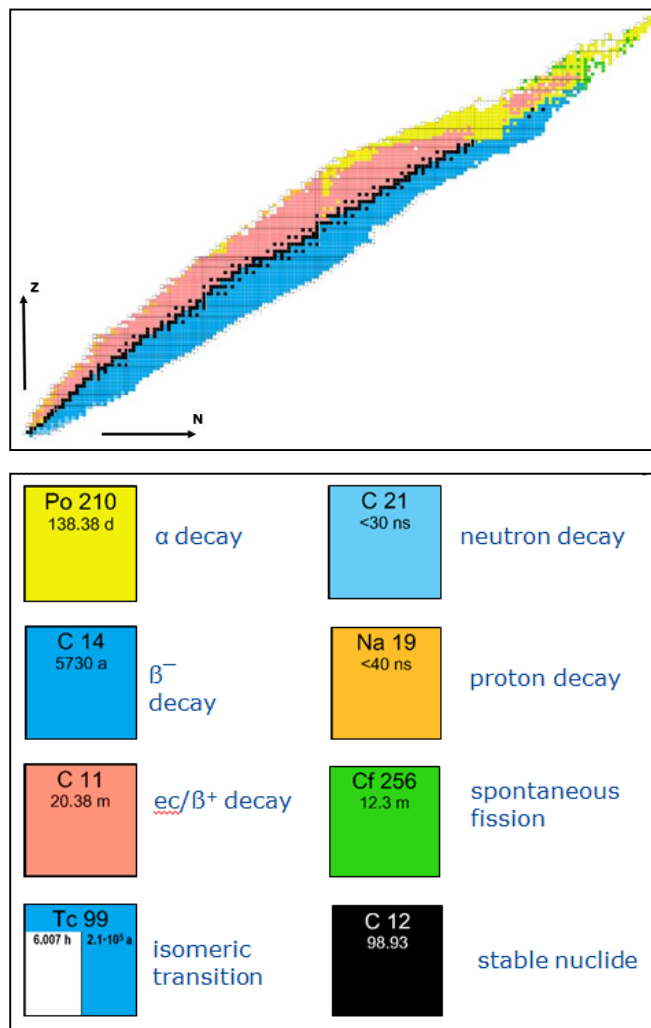
Európai Bizottság, Közös Kutatóközpont, Transzurán Elemek Intézete  
76139 Karlsruhe, Németország, Pf.: 2340

A Karlsruhei Nuklidtérkép legújabb kiadása 2015 augusztusában jelent meg. A nyomtatott nuklidtérkép segítségével az érdeklődő szakemberek és tanulók gyorsan és könnyedén eligazodhatnak a csaknem 4000 kísérletileg igazolt nuklid bomlási, sugárzási és egyéb adatai között. Az előző, 2012-es kiadást követően 147 új nuklid került fel a térképre és 1497 nuklid adatai módosultak. A térkép használatához szükséges legfontosabb tudnivalókat egy brosúra foglalja össze. 46 radioaktív nuklid egyszerűsített bomlási diagramja is megtalálható ebben a mellékletben. Ezek segítik a tömör formában közölt adatok értelmezését. A térkép a nukleáris tudományok mellett jól hasznosítható az orvostudományban, agrártudományban, környezeti, geológiai illetve asztronómiai tanulmányokban is.

## Bevezetés

A nuklidtérképek a nukleáris kutatás és oktatás fontos segédeszközei. Céljuk, hogy a kutatóknak, szakembereknek és tanulóknak strukturált formában, pontos és aktuális adatokat biztosítsanak a stabil és radioaktív nuklidokról. A nuklidtérképek legfontosabb jellemzője, hogy az információkat egy neutron-proton koordináta rendszerben, adott pozíciókon ábrázolják. Egy-egy nuklid adatainak helyét az atommagban található neutronok (N) és protonok (Z) száma határozza meg [1. ábra, felül]. A különböző nuklidtérképek a pozíciókon ábrázolt adatokban és a pozíciók színkódjában térhetnek el egymástól. Egy térkép összeállításánál a legfontosabb kritérium a közölt adatok minősége és aktualitása. Mivel a nukleáris kísérleti technikák és az adatok kiértékelésének módszerei folyamatosan fejlődnek, elengedhetetlen a térképre felkerülő információk rendszeres ellenőrzése és revíziója. A Karlsruhei Nuklidtérkép legújabb, 9. kiadása 2015 augusztusában került publikálásra [1, 2]. Ez a verzió a 2012-ben nyomtatott 8. kiadás [3] frissítése.

A Karlsruhei Nuklidtérkép 1958 óta jelenik meg rendszeresen [4]. A térkép kísérletileg megfigyelt nuklidokat és azokhoz tartozó, kísérletileg igazolt adatokat tartalmaz. Régebben ez a nuklidtérkép átlagosan 6-8 évenként jelentkezett új kiadással, de az utóbbi időben a nukleáris kutatások intenzitásának növekedése miatt szükségessé vált a gyakoribb revízió. A Karlsruhei Nuklidtérképen a nuklidok adatait tartalmazó négyzetek a bomlási módok alapján színezettek [1. ábra, alul]. A radioaktív nuklidok esetében a négyzetek tartalmazzák a felezési időt, illetve a sugárzási adatokat. Az új kiadás kísérő füzetében egyszerűsített bomlási diagramok segítik a térképen közölt tömör adatok értelmezését.



1. ábra: Karlsruhei Nuklidtérkép (felül),  
A térkép színezése a bomlási módok alapján (alul)

## Adatok a Karlsruhei Nuklidtérképen

A Karlsruhei Nuklidtérkép minden sora egy-egy kémiai elem kísérletileg megfigyelt izotópjait jeleníti meg [2. ábra]. A sor első négyzetében található az adott elem vegyjele és relatív atomtömege, amennyiben az ismert [5]. Az elem stabil izotópjait fekete négyzetek jelölik az elem nevével, a nuklid tömegszámával és annak előfordulási valószínűségével a Földön az elem atomjainak százalékában [6]. A színezett négyzetek radioaktív izotópokat jelölnek. A sárga szín alfa, a kék szín negatív béta bomlást ábrázol. A piros szín kódolja a pozitív béta bomlást, illetve az ennek alternatívájaként jelentkező elektronbefogást. A világoskék a neutron bomlást, az okkersárga a proton bomlást ábrázolja. A zöld színű

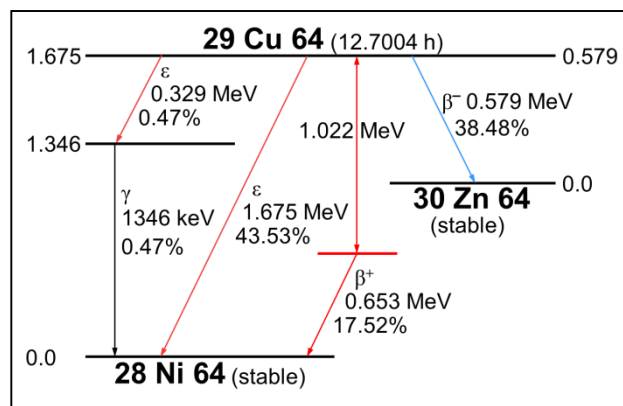
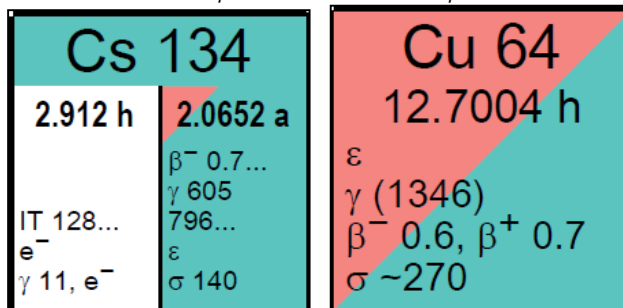
négyzetek jelölik a spontánul hasadó nuklidokat. Az adatok az atommag alapállapotára vonatkoznak (legkisebb energiájú állapot). Amennyiben egy nuklidhoz tartozik mérhető felezési idejű, magasabb energiaállapotú (metastabil) izomer is, a megfelelő négyzet több részre van osztva (pl. 2. ábra N-16 nuklid). Azt az esetet, amikor egy metastabil állapot gamma emisszióval alapállapotra bomlik, fehér szín jelöli a térképen [3. ábra, balra fent]. A térkép nem ábrázolja mind a körülbelül 2400 kísérletileg igazolt, 10 ns-nál hosszabb felezési idejű metastabil állapotot [7]. Azok a metastabil izomerek kerültek fel a térképre, amelyek nem csak az alapállapotra bomlanak, hanem más nuklidokra is, illetve ha csak az alapállapotra bomlanak, akkor a felezési idejük legalább 1s.



2. ábra: A berillium, bór, szén, nitrogén, illetve nobélium és laurencium izotópok adatai a nuklidtérképen

A radioaktív nuklidok négyzeteiben a nuklid megnevezése alatt szerepel a felezési idő és a bomlás során megfigyelt legintenzívebb sugárzások energiái is. A gamma sugárzások energiái keV-ben, az alfa, béta, proton és neutron energiák MeV-ben értendők. Ha a kísérletek többféle konkurens bomlási módot igazoltak egy nuklid esetében, akkor ezeket a bomlási módoknak megfelelő színű háromszögek jelölik a négyzet sarkában (Pl. 2. ábrán a Lr-253 nuklid). A kis háromszög a nuklidot ábrázoló négyzet sarkában 5%, vagy attól kisebb elágazási arányt jelöl, míg a nagyobb háromszög 5%-tól nagyobb elágazási arányt képvisel [3. ábra, jobbra fent]. A stabil, illetve a hosszú felezési idejű nuklidok négyzetei tartalmazzák a termikus neutronokra vonatkozó hatáskeresztmetszetet barnban kifejezve. Ezt  $\sigma$  jelöli a térképen. Egy adott tömegszámra (pl. A=21) a térkép tartalmazza az U-235, illetve Pu-239 hasadási hozamokat (fission yields) a termikus neutron reakciókra vonatkoztatva.

A felezési idővel és a bomlásokkal kapcsolatos adatok legfontosabb forrása a Nuclear Data Sheets (NDS) [8] tudományos folyóirat. Ezen folyóirat egy-egy havi kiadásában 10-40 nuklid adatait elemzik ki a szakemberek az aktuális kísérletekről közölt publikációk alapján, és tesznek javaslatot a megfelelő fizikai értékekre. Ez évente 300-400 nuklid revízióját jelenti. Ezzel a ritmussal viszont a csaknem 4000 nukliddal egy-egy nuklid átlagosan 8-10 évenként kerül sorra, de van olyan nuklid, melynek revíziója 20 éve nem történt meg. A fentiekből látszik, hogy pusztán az NDS-re hagyatkozva nem garantálható az adatok aktualitása.

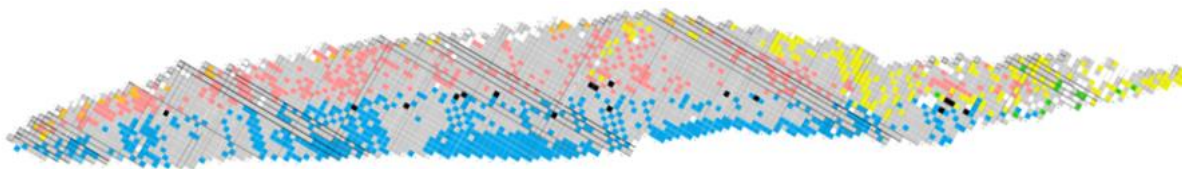


3. ábra:  $^{134}\text{Cs}$  alapállapotára gamma emisszióval bomló  $^{134\text{m}}\text{Cs}$  metastabil állapot (balra fent);  $^{64}\text{Cu}$  nuklid konkuráló bomlási módokkal. Az elágazási arányuk nagyobb, mint 5% (jobbra fent); Egyszerűsített bomlási diagram a magyarázó füzetben (alul)

A nuklidtérkép aktualitásának megőrzéséhez szükség van más adatforrások felkutatására is. Fontos forrásai még a szakemberek által javasolt adatoknak a Decay Data Evaluation Project [9] illetve a Nuclear Data Evaluation Project - TUNL [10]. A szerkesztésnél azonban figyelembe kell venni azokat a kutatásokat is, amelyek még nem kerültek be a fenti kiértékelési rendszerekbe. Ezek a kísérleti eredmények olyan tudományos folyóiratokban találhatóak, mint: Physical Review C, Physics Letters B, European Physical Journal A, Nuclear Physics A, Nature vagy a Physical Review Letters (a teljesség igénye nélkül).

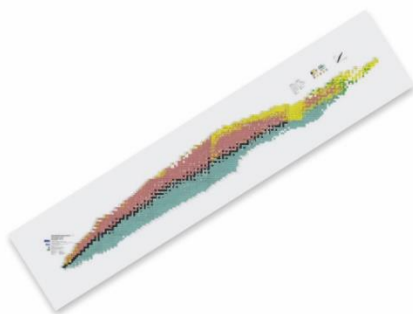
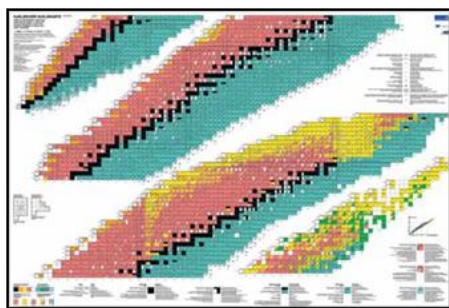
## A nuklidtérkép 2015-ös 9. kiadása

A Karlsruhei Nuklidtérkép 2015-ös kiadása 118 kémia elem közel 4000 izotópjának adatait tartalmazza, ebből 3248 alap- és 744 metastabil állapotú nuklid. A 4. ábrán azok a nuklid mezők vannak színnel jelölve, melyek a 2012-es kiadás óta újak, illetve adataikban változás történt. Ezek közül 147 az új nuklidok száma és 1497 nuklid esetében történt valamilyen adatmódosítás.



4. ábra: Az 1644 színes négyzet a módosított és új nuklidokat jelöli a 2015-ös kiadásban

A nuklidtérkép három formátumban került nyomtatásra [5. ábra]: széthajtható leporelló formátum, fali poszter formátum és előadótermi nagy formátum (3,16 m x 0,43 m). Ez a verzió a "nuklidok szigetét" egyben ábrázolja.



5. ábra: A Karlsruhei Nuklidtérkép nyomtatott formátumai.

A nuklidtérképhez tartozik egy 62 oldalas magyarázó füzet is. Ez a füzet angol nyelvű, de a térkép használatához szükséges legfontosabb információkat 6 nyelven: angolul, németül, franciául, spanyolul, oroszul és kínaiul is tartalmazza. 46 radioaktív nuklid egyszerűsített bomlási diagramja is megtalálható ebben a mellékletben [3. ábra, alul]. Ezek a diagramok arra hivatottak, hogy segítsék a nagyon kondenzált formában közölt adatok értelmezését. A füzet tartalmaz még egy listát azokról a nuklidokról, amelyek módosultak a 2015-ös kiadásban. Ezenkívül található benne egy táblázat a legfontosabb fizikai konstansok értékéről, egy táblázat a kémiai elemek legfontosabb tulajdonságairól, illetve tartalmaz egy összefoglalót az atomtudományok fejlődéséről is. Az elmúlt három évben igény mutatkozott a nuklidtérkép nagyobb méretű kiadásaira is, így az alábbi speciális verziókat fejlesztettük ki: egy 6,5 m x 1 m nagyságú térkép a CERN-nek; egy 3,5 m x 2,5 m-es térkép a Müncheneri Egyetemnek; egy alumínium kontúr térkép az Európai Dialógus Centrumnak, illetve a 14 m x 2,1 m-es mozaik verzió a karlsruhei Transzurán Elemek Intézetébe [6. ábra].



6. ábra: A Karlsruhei Nuklidtérkép néhány speciális kiadása.

## Összefoglaló

A Karlsruhei Nuklidtérkép publikálása közel 60 éves múltat tekint vissza. Az első kiadás 1958-ban, a legutóbbi, 9. pedig 2015 augusztusában jelent meg. Az új kiadás közel 4000 kísérletileg igazolt nuklid adatait tartalmazza. Az előző, 2012-es kiadást követően 147 új nuklid került fel a térképre és 1497 nuklid adatai módosultak. A nyomtatott Karlsruhei Nuklidtérkép fontos jellegzetessége, hogy a nuklidokat jelölő négyzetek színei különböző bomlási módokat kódolnak. (Pl. sárga szín az alfa, kék szín a negatív béta bomlást a piros szín pedig az elektronbefogást és a pozitív béta bomlást jelöli).

Az 57 éves hagyományokat folytatva a Karlsruhei Nuklidtérkép legújabb, 2015-ös kiadása átfogó képet ad a nukleáris kutatások jelenlegi állapotáról. Természetesen a térképen közölt adatok nagyrészt megtalálhatóak a különböző digitális adatbázisokban vagy fájlokban, melyek számítógéppel kezelhetőek, ennek ellenére a tradicionális, nyomtatott formátum fontos didaktikus segédeszköz a kutatásokban és az oktatásban. A nyomtatott térkép segítségével gyorsan és könnyedén átláthatóvá válnak az információk a 4000 nuklid bomlásáról és a bomlások közben kibocsájtott sugárzások típusairól és energiáiról.

---

## Irodalomjegyzék

- [1] J. Magill, G. Pfennig, R. Dreher, Z. Soti, *Chart of the Nuclides, 9th Edition, 2015.*
- [2] <http://www.karlsruhenuclidechart.net>
- [3] J. Magill, G. Pfennig, R. Dreher, Z. Soti, *Chart of the Nuclides, 8th Edition, 2012.*
- [4] C. Normand, G. Pfennig, J. Magill, R. Dreher *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry November 2009, Volume 282, Issue 2, pp 395-400*
- [5] J. Meija, T.B. Coplen, M. Berglund, W.A. Brand, P. De Bièvre, M. Gröning, N.E. Holden, J. Irrgeher, R.D. Loss, T. Walczyk, and T. Prohaska, *Atomic weights of the elements 2013, Pure Appl. Chem. előkészületben*
- [6] M. Berglund, M.E. Wieser *Pure Appl. Chem., Vol. 83, No. 2, pp. 397-410, 2011*
- [7] A. K. Jain, B. Maheshwari, S. Garg, M. Patial, B. Singh, *Nuclear Data Sheets Volume 128, Pages 1-130*
- [8] *Nuclear Data Sheets 113 -125 (2012 - 2015), <http://www.nndc.bnl.gov/nds/>*
- [9] *Decay Data Evaluation Project (2003-2015), Laboratoire National Henri Becquerel, Franciaország, <http://www.nucleide.org/>*
- [10] *TUNL - Nuclear Data Evaluation Project-(1992-2015), <http://www.tunl.duke.edu/nuclldata/>*