

## 2. rész.

### 3. A páros rendszámú elemek

A páros rendszámú elemek elkülönített tárgyalása azért célszerű, mert lényeges eltérés van a páratlan elemekhez képest, egyrészt a stabil izotópok számában, másrészt az elemek előfordulási gyakoriságában. Míg a páros elemekből a földi körülmények között az uránnal együtt összesen 46 létezik, és ezeknek 224 izotópja stabil, addig a páratlan elemek száma csupán 44, mindössze 60 stabil izotóppal. Az előfordulási gyakoriság „top-listáján” is a páros elemek vezetnek, nagyságrenddel megelőzve a páratlan elemeket. Az eltérés rendkívül szembetűnő, a tények közismertek, az okok tudományos magyarázatával azonban a fizikatudomány eddig még nem tudott szolgálni.

#### 3.1. A páros elemek általános jellemzői

Az izotópok száma a páros rendszámú elemeknél általában 4-6, bár létezik alsó határként 1, felső határként pedig 10 stabil izotóppal rendelkező elem is. A tömegszámok az izotópok többségénél párosak, de csaknem mindegyik páros elemnek létezik egy-két páratlan tömegszámú, és ebből következően páratlan neutronszámú stabil izotópja is.

#### 3.2. A páros rendszámú modellek külső formája

A páros rendszámú elemek modelljeinek formája igen változatos. Vannak egyszerű tengelyszimmetrikus formák, de jelen vannak a modellek között a szabályos testek összes változatának (2. sz. melléklet) megfelelő geometriai alakzatok is.

A modellek külső formájának jellege az összes páros elemre a 3.1 táblázatban látható, azzal a megjegyzéssel, hogy az ott szereplő besorolás az a legmagasabb szabályossági fok, amelyet az adott elem valamelyik izotópja el tud érni. Elemenként általában csak egy-két izotóp éri el a megadott szabályossági fokot, a többi izotóp pedig az alacsonyabb fokozatok valamelyikébe sorolható.

A 3.1 táblázatban a T, H és D betűk jelentése:

T jelöli a tetraédes jelleget, H jelöli a hexaédes és az oktaédes típusokat, mégpedig azért összevontan, mert az oldalak, az élfelezők és a csúcsok tengelyei fel-váltott funkcióval ugyan, de azonosak. D jelöli a dodekaédes és az ikozaédes felépítés jegyeit magánviselő modelleket, melyeknél egyaránt a 12, 20 és 30 féltengely térfelosztása határozza meg az irányokat. A fenti kategóriákba való besorolás jelentősége a kémiában és a kristályfizikában lehetne nagy, de sem az osztályozás meghatározási módjára, sem az esetleges alkalmazási lehetőségekre itt nem kívánunk kitérni.

A páros elemek modelljének mindegyikére jellemző, hogy az elrendeződésből adódóan a felszín bármelyik gömbjének megvan a térbeli tükörképe, vagyis az ellentett párja a halmaz átellenes oldalán. Ennek a térbeli szimmetriának köszönhető az atommag egyensúlya.

A neutronhalmaz felszíni egyedeire egyenként ráneheződő protonoknak a középpont felé ható nyomása ugyanis páronként, és ezáltal összességében kiegyenlítődik. Ez alól geometriai kivétel a tetraédes szimmetria, melynél a 4 féltengelynek nincs ellentett párja, azaz nincs a meghosszabbításában másik tengely, és emiatt a 4 neutronból és a 4 protonból álló berilliumnak (Be-8) komoly „stabilitási problémái” keletkeznek. A geometriai kivétel magfizikai kivételt eredményez, amint az a későbbiekben látható lesz. A magfizikában a páros protont és páros neutronot tartalmazó magokat „páros-páros” magoknak nevezik. A modelleknél ennek megfelelője a páros halmaz páros felszínnel, aminek következtében a belső neutronmag is páros lesz.

#### 3.3. Páros-páratlan izotópok modelljei

A páros rendszámú elemeknek léteznek páratlan neutronszámú stabil izotópjaik is. Ezek atommagjait nevezik „páros-páratlan” magoknak. Számuk lényegesen kevesebb, mint a páros-páros magoké, és érdekes módon mindig az izotópcsoport közepe táján foglalnak helyet. A páros-páratlan izotópok tipikus elhelyezkedése látható például a volfrámnál:

A volfrám páratlan neutronszámú izotópjai közül csak a W-183 stabil, és az éppen a stabil izotópok közepén helyezkedik el. A középtől kifelé haladva növekszik az izotópok radioaktivitása, azaz csökken a felezési idő. Más páros elemekre is érvényes a stabil izotópok ilyen elrendeződése.

(W-179)\* radioaktív

W-180 stabil

(W-181)\* radioaktív

W-182 stabil

W-183 stabil

W-184 stabil

(W-185)\* radioaktív

W-186 stabil

Rend- szám	Vegyjel	Név	Tetra	Hexa +okta	Dodeka +ikoza
4	Be	berillium	T		
6	C	szén		H	
8	O	oxigén		H	
10	Ne	neon	T		
12	Mg	magnézium			D
14	Si	szilícium		H	
16	S	kén	T		
18	Ar	argon		H	
20	Ca	kalcium			D
22	Ti	títán	T		
24	Cr	króm		H	
26	Fe	vas		H	
28	Ni	nikkel	T		
30	Zn	cink			D
32	Ge	germánium			D
34	Se	szelén	T		
36	Kr	kripton		H	
38	Sr	stroncium		H	
40	Zr	cirkónium	T		
42	Mo	molibdén			D
44	Ru	ruténium		H	
46	Pd	palládium	T		
48	Cd	kadmium		H	
50	Sn	ón			D
52	Te	tellur	T		
54	Xe	xenon		H	
56	Ba	bárium		H	
58	Ce	cérium	T		
60	Nd	neodímium			D
62	Sm	szamárium			D
64	Gd	gadolinium	T		
66	Dy	diszprozium		H	
68	Er	erbium		H	
70	Yb	ytterbium	T		
72	Hf	hafnium			D
74	W	volfrám		H	
76	Os	ozmium	T		
78	Pt	platina		H	
80	Hg	higany			D
82	Pb	ólom	T		
84	Po	polónium		H	
86	Rn	radon		H	
88	Ra	rádium	T		
90	Th	tórium			D
92	U	urán			D
94	Pu	plutónium	T		
96	Cm	kürium		H	
98	Cf	kalifornium		H	
100	Fm	fermium	T		
102	No	nobélium			D
104	Ku	kurcsatórium		H	
106			T		
108				H	

3.1. táblázat

Páros elemek szimmetriájának fokozatai.

**A 3.2. táblázat** a páros-páratlan izotópok neutronfeleslegét tünteti fel. A neutronfelesleg sokat elárul a neutronmodell felépítéséről, ezért érdemes analizálni.

1. Az egyrétegű neutronfelesleg 11 neutronig tart.
2. A váltás a 43-as rendszámú technécium környezetében van, amely alatt (11-es belső magig) egyrétegűek a belső magok, felette pedig kétrétegűek, mert 13-nál és az felett legalább 1 neutron benyomul a halmaz belsejébe, miközben a maradék körülveszi azt.
3. 13 és 21 neutronfelesleg esetén a halmaz belsejében 1 neutron helyezkedik el, és ez jól biztosítja a belső mag számára a gömbforma megközelítését.
4. 23 és 25 neutrontöbblet esetén a halmaz belsejébe már 3 neutron is kerülhet. A 3 gömb, vagy egyvonalban, vagy háromszög alakban, vagyis egy síkban tud elrendeződni. Az előbbi hosszúkas, az utóbbi pedig lapos formát eredményez, tehát mindkettő kedvezőtlen, mert erősen eltér az ideális gömbformától. Ennek eredményeképpen az 58-as rendszámú cériumnak nincs páros-páratlan magú stabil izotópja.
5. A cériummal kezdődik a lantanoidák (ritkaföldfémek) sora, melyeknél 23-33 neutronfeleslegből 3 vagy 5 neutron helyezkedik el belül.
6. A hafnium (Hf) után van a következő váltás, és az ólomig tart. Ebben a tartományban már 33-43 közötti a neutronfelesleg, és ebből 7 vagy 9 neutron van a halmaz belsejében.
7. Az ólom és az urán közötti elemeknél (aktinoidák) a 43-49 közötti neutronfelesleg csakis 11-es legbelső maggal lenne elképzelhető a modellek szerint. A belső neutronmagnak ez a mérettartománya a stroncium neutron-halmazának környékére, a felépítése pedig a technéciuméra hasonlít. Ezért nem is csoda, hogy az egész csoport radioaktív.
8. Az urán-235 az egyetlen (kvázi)stabil páros-páratlan magú izotóp az ólom (ill. a bizmut) feletti tartományban. Ezt rendkívül különleges belső neutronmagjának köszönheti. (Lásd bővebben a 7. fejezetben.)
9. A transzuránoknál szükségszerűen megjelent a neutronhalmaz legbelső részében a kívülről számított negyedik réteg, mégpedig azáltal, hogy a legbelső neutronmag 13-as halmazából a mag középpontjába benyomult 1 neutron már külön „rétegnek” számít. Ezáltal a földi körülmények között véglegesen megszűnik a stabilitás a tapasztalat szerint.



A b. pont szerinti megállapítás alól is ugyanez a négy mag a kivétel. Ennek egyébként a definícióból szükségszerűen következnie is kell, hiszen a neutronfelesleg hiánya (vagyis a protonszám és a neutronszám egyezősége) egyúttal a neutronszám páratlanságát is jelenti. A H-2, a Li-6, a B-10 és a N-14 tehát a létező 4, ún. páratlan-páratlan stabil mag. Két másik nagyobb izotóp, a V-50 és a Ta-180 is páratlan-páratlan magú ugyan, de tökéletes stabilitásuk kérdéses, mert elméleti megfontolások alapján valószínűsítik a béta-instabilitásukat annak ellenére, hogy a jelenlegi mérések szerint megfigyelhetetlenül hosszú élettartammal rendelkeznek.

A c. pont azzal a kiegészítéssel válik teljessé, hogy nincs egyetlen stabil izotópja sem a 43-as rendszámú technéciumnak és a 61-es rendszámú proméciumnak, vagyis ezek az elemek a természetben nem fordulnak elő.

A d. pont az átlagot tekintve igaz, az ok azonban ismeretlen.

A mai modern fizika egyébként nem tud elfogadható magyarázattal szolgálni ezeknek a lényeges eltéréseknek az okaira. Úgy tűnik, hogy a tények feltárásával a témát lezárták, az okok kutatására azonban nem fordítanak kellő figyelmet. Megmagyarázatlanul maradnak tehát egyelőre a tények, de nézzük meg, hogy mit mutatnak a neutronmodellek a páratlan rendszámú elemek területén, és hogy adnak-e ezek választ az előbbiekben felmerült kérdésekre?

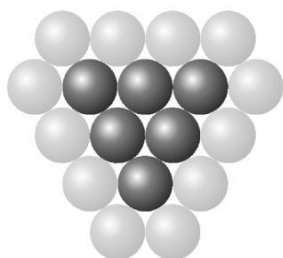
## 4.2. A páratlan elemek neutronmodelljei

A neutronmodell (a már említettek szerint) a neutronok olyan elrendeződése, amelynél a halmaz felszíni elemeinek száma az adott elem protonszámával azonos. Ebből következően a páratlan elemek modelljeinél a felszíni alkotóelemek száma is páratlan. A páratlanság már önmagában is azt jelenti, hogy sérül a szimmetria a modell felszínén, illetve a neutronhalmaz külső rétegén. Ennek következtében a páratlan rendszámú elemek modelljeiből szükségszerűen hiányoznia kell a többtengelyű szimmetriának, amely a páros elemeknél lehetővé tette poliédres felépítési struktúra kialakulását, és ezáltal a sok variánst adó szabályos alakzatok létrejöttét.

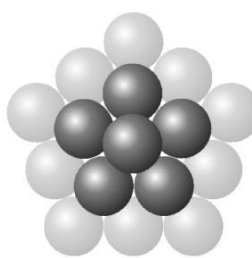
A párosságot igénylő poliéderek hiánya miatt drasztikusan csökken a térbeli szimmetriával rendelkező halmazok száma. A páratlan elemeknél egyetlen lehetőségként az egytengelyű szimmetria (ill. tükörszimmetria) maradt meg, így a modellek csak nyújtott, vagy lapított ellipszoidok lehetnek.

A modellfelszín páratlansága csak a modell középsíkjaiban jelentkezhet. Erre a középsíkra is szimmetrikusnak kell lennie a modellnek a tengelyszimmetrián kívül, mert a térbeli szimmetria feltétlenül szükséges a statikai egyensúly megvalósulásához.

A középsík metszete sokféle lehet, de leginkább a 3- és 5-szögű metszet a jellemző (lásd a 4.1. és 4.2. ábrákat).



4.1. ábra



4.2. ábra

A páratlan elemek neutronmodelljeinek középsík-metszetei.

A fenti geometriai okok miatt az „életképes” alakzatok száma a párosakéhoz képest a negyed-, ötödrészére csökkent. Csak azok maradtak meg, amelyeknél a felszíni neutronok és a belső neutronhalmaz méretviszonyai éppen optimálisak. Tovább ritkítja a bevezetésben közölt 2. feltétel is az izotópok sorait, amely miatt végül csak a páros neutronszámúak maradnak meg. Ez elemenként csak 1 vagy 2 izotópot jelent.

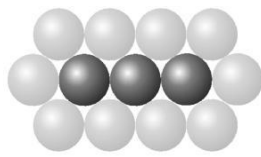
A 4.1. táblázatban látható a páratlan elemek neutronfeleslegeinek számértéke. A fenti számértékek elemzése során a következő megállapításokat tehetjük a modellek felépítésének ismerete alapján:



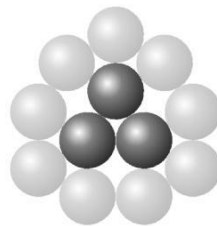
1.) A 17 alatti rendszámoknál (a már említett hidrogén és nitrogén kivételével) dominál az 1 neutronfelesleg. Mivel a halmazok mérete ezeknél a kis rendszámoknál nem indokolná a +1 neutron megjelenését, vagyis helykitöltőként nem lenne rá szükség, ezért megjelenésének más oka kell legyen. A modellek elemzéséből az derült ki, hogy sajátos funkciója van ennek a neutrontöbbletnek. Egyrészt a 2. feltétel teljesülését biztosítja ez az 1 neutronfelesleg azáltal, hogy a páratlan neutronszámot párossá egészíti ki, másrészt megkönnyíti a statikai egyensúly megmaradását a neutronhalmaz középsíkijában, ahol páratlan számú erő hatása érvényesül a középpont felé.

2.) A 17 és 19-es rendszámoknál (klór és kálium esetében) átfedés van, mert megjelennek az 1-es mellett a 3-as neutronfeleslegű stabil izotópok is, azonban lényegesen ritkább előfordulási gyakorisággal.

3.) A 21-es rendszámú szkandium a természetben ugyan nem kifejezetten ritka előfordulású, nincsenek azonban gazdag szkandium tartalmú egybefüggő ásványtelepek. Ez az elem több száz ásványban előfordul, de mindenütt csak kis mennyiségben. A világ teljes készlete ma is csak néhány kilogramm, ezért az ára kétszázszorosa az arany árának. A szkandium neutrontöbblete is 3, és úgy tűnik, hogy a 3-as neutronhalmazokat a természet nehezen tűri meg az atommagok közepében. Az ok az, hogy 3 neutron elrendeződése vagy hosszúka (4.3. ábra), vagy lapos formát (4.4. ábra) tud csak eredményezni. Márpedig e formák egyike sem igazán jó belső indítás az atommag külsejétől elvárható gömb-forma megközelítéséhez. (A „lapos” forma az ábra síkjára merőlegesen értendő.)



4.3. ábra



4.4. ábra

A 3-as belső neutronmag elhelyezkedési lehetőségei

4.) A 43-as rendszámú technécium neutronhéj méretéhez a 11-es belső magméret kicsi. A 12-es közelebb áll az ideális mérethez, ezzel azonban páratlanná válik a neutronszám, ami nem kedvez a stabilitásnak. A 13-as belső mag párossá egészíti ki ugyan a 43-as külső héjat, mérete azonban már túl nagy ehhez a héjhoz. Nincs tehát geometriai megoldás. A természetben sem található technécium. Bizonyára nem véletlen a geometriai és a magfizikai tények itteni egybeesése sem.

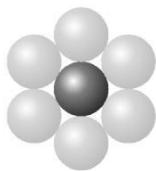
A mesterséges technécium-izotópok felezési ideje:

Tc-97  $2,6 \times 10^6$  év (belső neutronmag: 11)

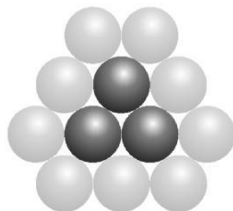
Tc-98  $1,5 \times 10^6$  év (belső neutronmag: 12)

Tc-99  $2,1 \times 10^5$  év (belső neutronmag: 13)

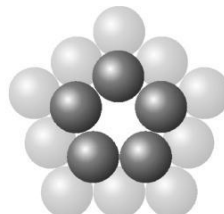
A technéciumnál egy igen határozott váltás van az atommagokat felépítő héjak számában. A technécium alatti elemek külső neutronhéja alatt 1-11 neutronból álló egyrétegű belső mag van, a technécium felettiéknél pedig a 13-43 neutronból álló belső mag már kétrétegű. A „kétrétegűség” közvetlenül a technécium feletti elemeknél úgy jelentkezik, hogy megjelenik a középpontban először 1 neutron (4.5. ábra), majd felfelé haladva egy egyre több neutronból álló halmaz (4.6. és 4.7. ábra). Ez a halmaz a neutronmodellnek a legbelső „rétege”, amely kívülről számítva már a harmadik, és állhat akár 11 neutronból is. Látni fogjuk, igen nagy jelentősége van annak, hogy ezek közül éppen milyen méretű halmaz foglal helyet a középpontban.



4.5. ábra



4.6. ábra



4.7. ábra

Páratlan neutronhalmazok a mag közepén

5.) A technéciumtól a céziiumig terjedő tartományban a neutronhalmaz belsejében 1 neutron ül. Ez a szimmetriát egyáltalán nem befolyásolja rossz irányban. A szakasz a céziummal zárul, melynek 23-as neutronfeleslege sajátos módon helyezkedik el. Kívül ugyanis 22, belül pedig 1 neutron van. A „20-ban a 3” verzió tehát nem tetszik a természetnek, valószínűleg a geometria törvényeinek kényszere miatt. A 22+1-es változat ugyanis sokkal közelebb áll a gömbformához, mint a 20+3-as, éppen a 3-as halmaz előbb említett kedvezőtlen formája miatt.

6.) Az 57-es rendszámú lantanoknak egyik izotópja stabil, egy másik pedig kvázistabil. Rendkívül szép felépítése külön fejezetet érdemel.

7.) A lantánt követő 15 elem a lantanoidák (ritkaföldfémek) csoportja.

Ebből a lutéciummal bezárólag 7 elem tartozik a most tárgyalt páratlan elemekhez. Az 59-es rendszámú praeodímium a rendkívül kedvezőtlen formájú 3+20=23-as belső neutronstruktúrájával még éppen stabil, de a 61-es rendszámú promécium már nem fordul elő a természetben. Ennek oka az, hogy a 61-es neutronhéhoz egy 24-es belső neutronmag tartozna a gömbhalmazok méretviszonyai szerint. Ez azonban páratlan neutronhalmazt eredményezne, amely éppúgy instabil izotóphoz vezet, mint a túl kicsi 23-as, vagy a túl nagy 25-ös neutronhalmazok. Nincs tehát megoldás éppúgy, mint ahogyan a technéciumnál sem volt. Mindehhez hozzájárul még az a kedvezőtlen tény is, hogy ezeknek az illeszkedéseknek 3-as legbelső neutronmaggal kellene történnie.

Az európium és a lutécium közötti öt páratlan elem mindegyikének a legbelső magja 5-ös, és valószínűleg ez okozza tulajdonságaik hasonlóságát. Középső neutronhéjuk egyébként 20 és 30 közötti, a külső pedig 63 és 71 közötti, ami a rendszámmal azonos.

8.) A lantanoidákat (lantanidákat) követő tantál határesetként éppúgy átmenetet képez egy másik legbelső magú csoportba, mint ahogyan a lantán, vagy a nióbium. Nióbe, Tantalosz lánya ugyanúgy jelzi a rokonságot, mint a periódusos rendszerben az egy oszlopba tartozás, vagy az a tény, hogy ásványaikból a két elemet csak bonyolult módon, több lépésben lehet elválasztani egymástól. (Periódusos rendszer V. alcsoport: vanádium, nióbium, tantál.)

A tantál és a lantán hasonlósága abban mutatkozik, hogy mindkettőnek van egy kvázistabil páratlan-páratlan magú izotópja, és ez ismét egy külön fejezetet érdemelne. A kisebbik tantál-izotóp (Ta-180), amelynek a magfizikai számítások szerint nem volna szabad stabilnak lennie, mégis stabil, de előfordulása csak 0,0123%-os. Legbelső neutronmagja 6-os.

9.) A nagyobbik tantál-izotóp (Ta-181), továbbá a 75, 77 és 79 rendszámú elemek (a rénium, az irídium és az arany) legbelső magja már 7-es. Ez egy rendkívül kedvező alakzat, ezért ezek a fémek igen "nemes" tulajdonságokkal rendelkeznek.

10.) A 81, ill. a 83-as rendszámú tallium és bizmut zárják a stabil elemek sorát. Neutronmagjuk 41-es és 43-as, melyek 9-es legbelső neutronmag köré épülnek.

11.) A bizmut és az urán közötti páratlan elemek többségénél a relatíve legstabilabb izotópok legbelső magja 11-es. A 11-es halmaz a formáját tekintve éppolyan kedvezőtlen, mint a 3-as, mert ez is csak nyújtott, vagy lapított ellipszoid lehet. Ezek mind radioaktív fémek.

12.) A transzuránokra jellemző, hogy legbelső neutronmagjuk már 13-as és az feletti. A 13-as legbelső mag már önmagában is kétrétegű, így a teljes neutronhalmaz négyrétegű lesz, és a stabilitás ebben a tartományban végleg megszűnik.

Figyelemreméltó, hogy a 3. fejezet 3.2.-es táblázatának és a 4. fejezet 4.1.-es táblázatának a vonalvezetése nagy hasonlóságot mutat. Az összehasonlításhoz csúsztassuk össze fésűszerűen ezeket. Az eredmény a 4.2. táblázatban látható. Megdöbbentő az egybeesés. A keletkező vonal adja az izotóptérkép (a Segré-táblázat) gerincét, vagyis a stabil izotópok sávjának középvonalát. A két eredeti táblázat geometriai magyarázata pontosan fedi a természetben található tényeket. Azt is lehet mondani, hogy geometriai eszközökkel meg lehetett volna határozni az elemek felfedezése előtt azok stabil izotópjainak tömegszámát. Ugyanezen módszerrel meg lehet határozni a transzuránok csoportjában is a viszonylag stabilabb izotópok tömegszámait. Mindez bizonyítani látszik a geometriai modellek helyességét.





