

Atommag-modell

(1. rész)

Szerzők: Sindely László – Sindely Dániel

Cím: H-6400, Kiskunhalas, Pozsony utca 51.c.

E-mail: sindely.laszlo@freemail.hu

Kivonat: Az itt ismertetett új magmodell geometriai eszközökkel igyekszik megmutatni azt, hogy a stabil atommagok protonszámához miért csak azok a neutronkészletek tartozhatnak, amelyeket a természet az adott atommag protonszámához rendelt. Gömbökből összeállított szoros, koncentrált halmazok felületi és a belső térrészben közrezárt egyedeinek darabszámai ugyanolyan számpárokat mutatnak, mint a stabil atommagok protonszám, és neutronfelesleg értékei. A modellek ezen felül még számos magfizikai kérdésre válaszol szolgálnak, az alfa-, és béta-bomlások okának magyarázatától egészen a maghasadásig, és a hasadékpárok aszimmetriájáig.

Címszavak: atommodell; magmodell; neutronkészlet; stabil atommag; izotóp; maghasadás; proton/neutron-arány; geometriai modell;

Bevezetés

Az atommodellek szemléltetik az anyag alapvető összetevőinek feltételezett szerkezetét, továbbá azok felépítésének a megismerés szempontjából lényeges részleteit. Ezen belül igyekeznek megmutatni az atomokat alkotó elemi részecskék alakját, valamint azok magbéli elrendeződését is.

Azért beszélünk feltételezett formákról és pozíciókról, mert az atomi részecskéket szemmel nem érzékelhetjük, és nem tehetjük láthatóvá optikai vagy képrögzítő eszközökkel sem. Méretük ugyanis a látható fény hullámhossztartományára alatt van. Meg kell tehát elégednünk a részecskék formájára, magbéli helyzetére és kölcsönös pozícióikra vonatkozóan következtetésekkel, sőt néha a találgatásokkal. Ezeket az elképzeléseket igyekeznek megjeleníteni az atommodellek.

Nobel-díjas fizikustól származik a kijelentés, mely szerint ma még nincs olyan atommodell, amely valóban pontosan, a mérési tapasztalatokkal egyezően írna le mindent. A Thomson és a Rutherford által megalkotott modellek éppúgy szemléletesek, mint a Bohr-féle, vagy a Bohr-Sommerfeld atommodell, de igazságtartalmuk a valóságtól messze áll.

Az egyik legújabb modell a kvantumelméletből született, és elnevezése kvantummechanikai vagy más néven hullámmechanikai modell. Ez nem szemléletes, így megértéséhez a klasszikus fizika tanításai által befolyásolt szemléletünknek is változnia kell. Alkalmazhatósága is korlátozott, mert bonyolult matematikai háttere miatt ma legfeljebb a hidrogén és a hélium szinképeinek értelmezésére alkalmas.

A nukleonok térbeli elhelyezkedése a magon belül éppúgy tisztázatlan, mint a stabil magokban található nukleonszámok arányainak összefüggései. Az izotóptáblázat egy tetszőleges helyén ugyanis semmiféle tudományos számítással nem lehet bizonyossággal meghatározni, hogy egy kiválasztott protonszám és tömegszám mellett stabil vagy instabil izotóp jelenik-e meg. Ha például a Heisenberg-féle empirikus összefüggés

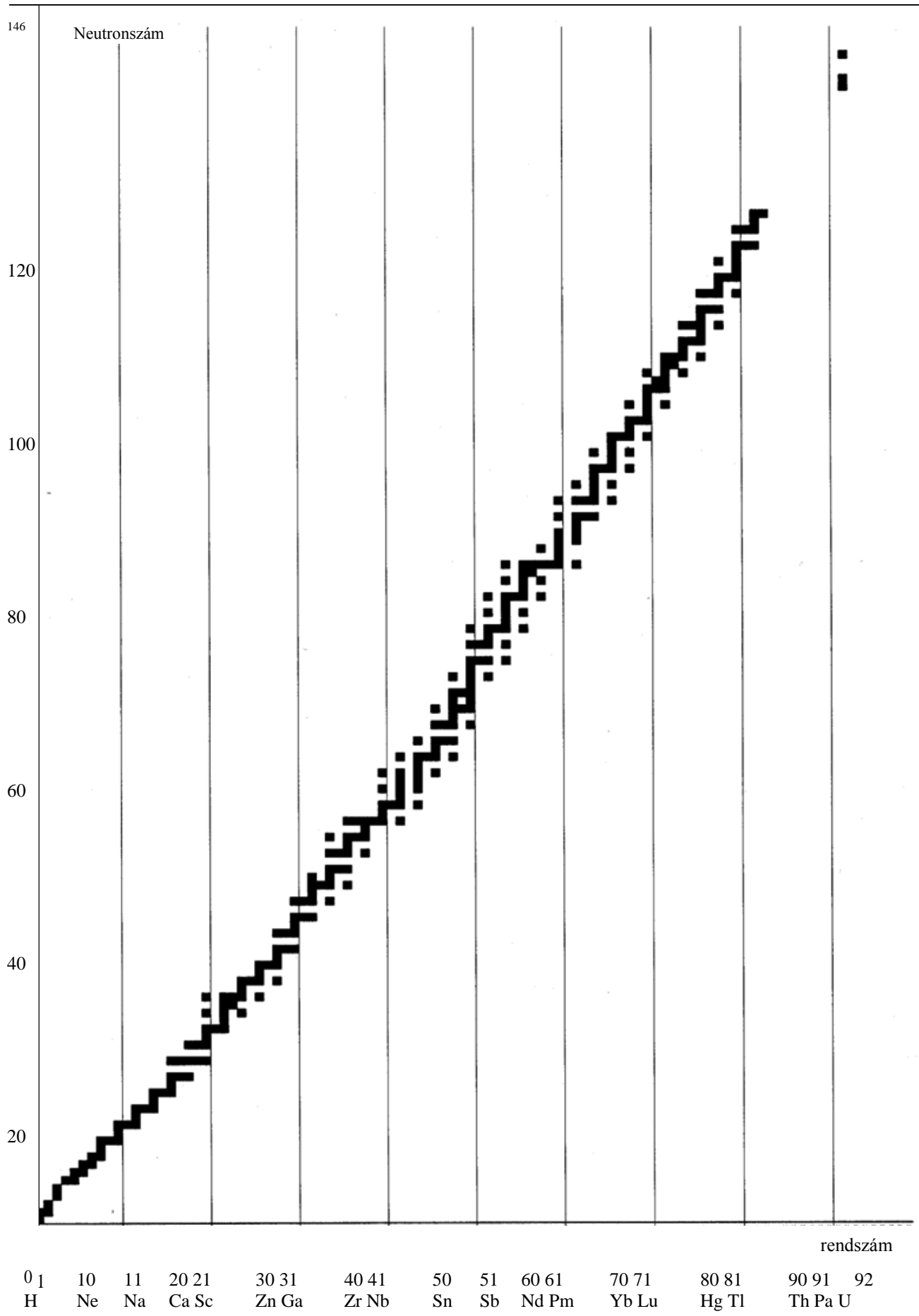
$$Z = \frac{A}{1,98 + 0,015 \times A^{2/3}}$$

képletébe néhány izotóp Z (rendszám) és A (tömegszám) értékeit próbaképpen behelyettesítjük, akkor könnyen megtalálhatjuk használhatóságának korlátait.

Végigtekintve a természetben található elemek izotóptáblázatán (1. sz. melléklet) az látható, hogy a hidrogéntől a bizmutig terjedő stabil tartományban a neutronok száma 0 és 126 között változik, mégpedig folytonos, de nem egyenletes, és közel sem szabályos növekedéssel. Az is kiolvasható a táblázatból, hogy a neutronok száma kis tömegszámoknál a protonszámmal azonos, vagy annál kevéssel több, a nehezebb elemeknél viszont eltolódik az arány a neutronok javára. Látható, hogy míg a 2-es rendszámú hélium 2 protonjára csak 2 neutron jut, vagyis a neutronfelesleg 0, addig a 83-as rendszámú bizmut 83 protonját 126 neutron kíséri, a neutronfelesleg tehát a bizmut esetében 43. A két véglet közötti táblázati rész azonban nem folyamatos emelkedést mutat, hanem rendszertelen változásokat.

Rejtélyes, hogy miért olyan hézagos, miért olyan szakadozott a táblázatban a stabil izotópok oszlopa, vagyis miért helyezkednek el közöttük és mellettük látszólagos rendszertelenséggel instabil izotópok. Az ismert, hogy a neutronok száma befolyásolja egyedül a stabilitást, de arra semmiféle magyarázat nincs, hogy miért éppen azok a neutronszámok biztosítják ezt, amit a mérések kimutattak. Miért stabilak például a réz 63-as és 65-ös tömegszámú izotópjai, és ugyanakkor miért nem stabil a közöttük lévő 62-es, valamint a 63 alatti vagy a 65 feletti tömegszámok valamelyike?

A tudomány részéről eddig is történtek már erőfeszítések a stabilitást biztosító proton/neutron-aránynak a tisztázása érdekében. A megoldás megtalálását azonban erősen hátráltatja a stabil izotópok neutronszámának rendszertelensége, valamint a stabilak közé beekelődtött instabil izotópok szabálytalan elhelyezkedése.



0.1. ábra Izotóptérkép a stabil izotópokkal

Az izotóptérkép (más néven: Segré-térkép) stabil izotópokat mutató ábráján (0.1. ábra) az egymást követő izotópok nukleon-arányaiban olyan mértékű a rendszertelenség, hogy a protonszám és a neutronszám közötti összefüggés zárt matematikai formában való megadása szinte reménytelen, vagyis a közismert matematikai eszközökkel való kifejezés aligha vezethet célhoz. Ennek ellenére biztosra vehető azonban, hogy mégis van valamilyen formában egzakt kapcsolat a stabil izotópok proton- és neutronszámai között, mert egyrészt különben nem mutatnának pontosan ugyanolyan izotóp-összetételt a Föld bármelyik részéből származó ércekből, ásványokból kinyert kémiai elemek, másrészt nem lenne olyan határozottan döntő jelentőségű a magban egyetlen neutronnak a hozzáadása vagy a távozása sem.

Az urán-238 izotópnál például egy utólag becsapódott többletneutron az izotóp felezési idejét a több százmillió évről lecsökkenti 23 percre. Egy-egy neutronnak a többlete vagy a hiánya a táblázat legtöbb pontján ugyanilyen végzetes módosulást okoz. Az is biztos, hogy ezek a lényegi összefüggések nem az elektronok „szintjén” keresendők, mert azok szerepe ebből a szempontból csak másodlagos.

Fontosnak tűnik tehát a stabilitást biztosító proton/neutron-arányok kialakulásának feltárása, valamint annak tisztázása, hogy a nukleonok közötti spontán átalakulások miért és hogyan játszódnak le. Ezen kérdések megválaszolhatóságának érdekében nagyon lényeges kísérleti eredmény volt a tudomány részéről annak megfigyelése is, hogy a magból kiszabadult neutron 10,6 perc felezési idővel protonná alakul át. Ez a felezési idő – s egy pillanatra most használjuk a modern fizika eredményeit – a kvantumfizikai időskálán „örökkévalóságnyi”. Az átalakulás lehetősége, és annak spontán lezajlása azt jelzi, hogy a neutron nem más, mint a proton kissé magasabb energiaállapotú variánsa, vagyis, hogy a proton energia-befektetéssel neutronná alakítható.

Hatalmas matematikai apparátust megmozgatva a magfizika arra magyarázattal szolgál ugyan, hogy mely atommagok stabilak, illetve milyen proton- illetve neutronszámok esetén nem következhet ez be, de a Segré-térkép mögötti végső, egyszerű rendező elvet mintha még mindig nem ismerte volna föl. Egyszerűbb fogalmazással: tudjuk (mérések alapján), hogy mely magok stabilak, de nem tudjuk, hogy miért éppen azok.

Az alábbiakban egy újfajta, „geometriai” magmodellt ismertetünk, melynek alapfeltevései nem egyeznek meg a magfizika által ma elfogadottakkal. Tesszük ezt mégis, mert ez a modell megadni látszik azt az alapvető rendező elvet, amelyik az atommagok közül kiválasztja a stabilakat. A modellünk rendkívül egyszerű geometriai apparátust használ, és mellőz minden magasabb matematikát. A modellek a stabilitás kritériumainak megadásán túl az atommagok számos más tulajdonságára is kézenfekvő magyarázattal szolgálnak.

Kérjük félretenni a kifejtés végéig annak a megítélését, hogy a modell plauzibilis alapfeltevésekből indul-e ki.

1. A neutronmodell

A stabil atommagok proton- és neutronkészletei között fennálló összefüggések tisztázása céljából térbeli modellek készültek: egy pont köré koncentrált, szoros illeszkedésű, azonos méretű gömbökből.

Ezek a modellek (gömbökből álló halmazok) megfelelő elrendezések esetén zárt felszínű alakzatokat képeznek, vagyis a külső gömbréteg (héj) jól eltakarja a belső részeket.

Ilyen kivételre mutat mintapéldát az 1.1. ábra, amely egy 55 gömbből álló modellt és annak rétegeit ábrázolja.

Az ábrázolt rétegekben a belső rész sötétebb gömbjeit egy világos gömbökből álló, szoros külső réteg veszi körül.

A modellkészítés eredeti célja annak megállapítása volt, hogy a stabil magok valós nukleonszámai esetén a mag neutronkészlete a hozzátartozó protonokat el tudja-e szigetelni, vagy szét tudja-e választani egymástól. Azonban amint az már a modellkísérletek első szakaszában kiderült, a stabil magok neutronkészlete ehhez túl kevés.

Ebből az következik, hogy a stabil magok nukleonarányait nem erre alapozva alakította ki a természet.

Az 1.1. ábrán látható kivitelezési módszerrel további modellek százaai készültek a gömbök számának az egyenkénti növelésével, egészen a 200-as halmazméretig. Ezeknek a vizsgálatok egy, az eredeti célkitűzéstől merőben eltérő összefüggés került a felszínre, amely szerint a zárt felületű modellek esetében a külső héj, és a közrezárt belső rész gömbjeinek darabszámai rendre ugyanazokat a számpárokat mutatják, mint a stabil izotópok protonszámának és neutronfeleslegének összetartozó értékei.

Mivel a protonszám és a neutronfelesleg összege a mag neutronszámát adja, ezért a teljes modell mérete (azaz a modellt alkotó gömbök száma) az adott mag neutronszámával egyezik.

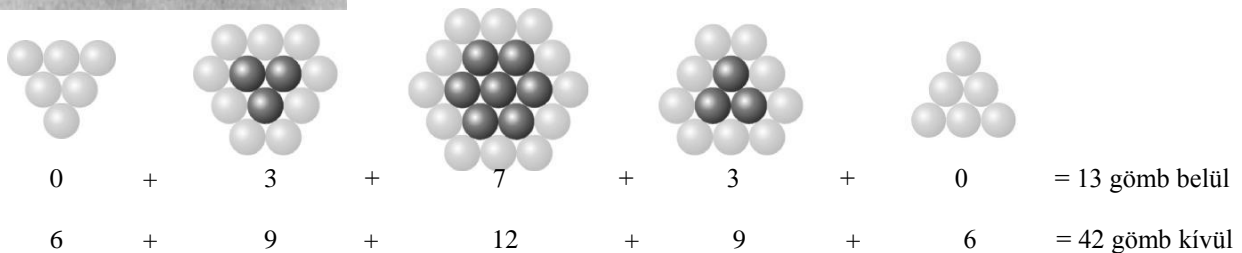
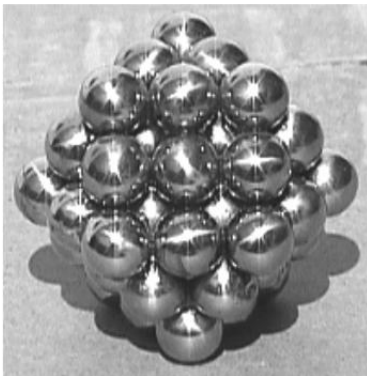
(Megjegyzendő, hogy a tömegszám-mérések alapján a neutronfelesleg a 20 alatti rendszámoknál akár 0 is lehet. Az ilyen magokat értelemszerűen az egyrétegű halmazok modellezik.)

A geometriai és a magfizikai adatpárok egyezése akkor áll fenn, vagyis a modell héjmérete akkor mutatja a protonszámot, a közrezárt rész pedig a neutronfelesleget, ha

- a halmaz azonos méretű gömbjei egy pont köré koncentráltak,
- szorosan, egymáshoz támaszkodva foglalnak helyet,
- szimmetrikus térbeli elrendezésűek,
- a halmazok felülete mindenütt konvex (azaz horpadástól mentes).

A halmaz párossága nem egyértelmű követelmény ugyan, de a térbeli szimmetria alacsonyabb fokán ennek hiánya is a stabilitás kizáró oka lehet. (Ennek részleteit később külön fejezet tárgyalja.)

Bebizonyosodott tehát, hogy a neutronszám és a protonszám különbsége (más néven: neutronfelesleg) nagyon lényeges szerepet játszik az adott atommag stabilitásában, és éppen ez a fogalom az, ami megadta a kulcsot a stabil izotópok neutron-proton viszonyszámának megfejtéséhez. Megoldódni látszik tehát a kezelhetőség problémája, de nem statisztikai függvényekkel, és nem magasabb rendű matematikai eszközökkel, hanem a térgeometria segítségével. Az 1.1. ábrán látható mintapéldában az 55 gömbből álló halmaz 42-es külső héja a 42-es rendszámra utal, a belsejében közrezárt 13 gömb pedig a neutronfelesleget modellezi. Ezekkel a tömegszám: $42+42+13=97$ -es. Az ábrázolt 55-ös halmaz tehát a 42-es rendszámú Mo-97 izotóp neutronkészletének a modellje.



1.1. ábra Az 55 gömbből álló halmaz rétegei

A modellezés során tapasztalható volt, hogy a gömbhalmazok többsége a szabályosság megmaradásával, bizonyos határokon belül átrendezhető. Eközben a halmazt alkotó gömbök száma nem változik meg, csak külső és belső részeinek aránya módosul. A példaként vett 55-ös halmaz, az említett 42 külső + 13 belső gömbbel építve éppolyan szabályos alakzat, mint a 44 külső + 11 belső gömbbel kialakított változat.

Ez utóbbi (44-es héjjal rendelkező gömbhalmaz) a Ru-99 stabil izotópnak a neutronhalmazát modellezi.

A molibdén esetében 42 proton, a ruténium esetében pedig 44 proton támaszkodik a mag neutronhalmazára.

A Mo-97 és a Ru-99 azonos neutronszámú magok, amelyeket a magfizikában izotón atommagoknak neveznek.

Egyes neutronszámok (például a 20, 28, 50 és 82) feltűnően sok változatban illeszthetők össze a modellépítés feltételeinek megfelelő alakzatokba. Ezek közül például a 82 gömböt tartalmazó modellek összeállíthatók akár:

(28+54), (26+56), (25+57), (24+58), (23+59), (22+60) vagy (20+62) alakzatokba is. Ezek sorrendben a Xe-136, Ba-138, La-139, Ce-140, Pr-141, Nd-142 és Sm-144 stabil magok neutronkészletének a modelljei.

Nevezett neutronszámok az úgynevezett mágikus magokhoz tartoznak.

A kémiai elemek többsége több izotópból tevődik össze, vagyis ugyanazon protonszámhoz többféle neutronszám, ezáltal többféle neutronfelesleg tartozhat, ami eltérő tömegszámokat eredményez.

Például a 42-es rendszámú molibdén esetében 8, 10, 11, 12, 13, 14 vagy 16 lehet a neutronfelesleg, amelyek sorrendben a Mo-92, Mo-94, Mo-95, Mo-96, Mo-97, Mo-98, és Mo-100 stabil izotópokhoz tartoznak.

A modellezésnél ugyanilyen változatosság jelentkezett az azonos héjméretű modelleknél, aminek a térgeometriai magyarázata igen egyszerű. Egy adott héjméretű modell ugyanis többféle belső maggal rendelkezhet az alakjától függően úgy, hogy közben teljesülnek a szabályosság és a zártság feltételei. Belátható, hogy egy tetraéder formájú modell kisebb belső magot (kisebb térfogatot) képes takarni, mint egy ugyanakkora felszínű olyan modell, amelyet egy, a gömbformát jól megközelítő ikozaéderez kivitelű héj takar. A differenciát tovább növelheti a modellfelszín (héj) struktúrájának, ezáltal a méretének eltérősége is (a 2.7.-2.9. ábrák szerint). A modellépítések során is bebizonyosodott az, hogy a példaként említett 42-es gömbhéj szabályosan ráépíthető a 8, 10, 11, 12, 13, 14 vagy 16-os belső gömbhalmaz bármelyikére. Ezek a modellsorozatok ugyanazon elem eltérő tömegszámú izotópjait modellezzik.

Néhány kémiai elem kitűnik a környezetéből a feltűnően sok stabil izotópjával. A 20-as rendszámú kalciumnak például 6 stabil izotópjá van, az 50-es rendszámú ónnak pedig 10. Ezek is a mágikus magok közé tartoznak.

A modellezésnél is megjelennek ezek a különlegességek, és pedig úgy, hogy ezeknél a rendszámoknál a szokásosnál többféle modell építhető azonos darabszámú gömbből álló héjjal. A kivételesség abból adódhat, hogy az ilyen modellek térbeli alakja magasabb szimmetria-osztályba tartozik. (A mágikus magokat külön fejezet részletezi.)

Egy adott elem stabil izotópjai tartományának határait a modellek formai jegyei jelzik. A példaként említett molibdénnél abban az esetben, ha a 42-es héj 8-nál kisebb belső halmazt fog közre, akkor a héj felgyűrődik, felszínén homorú részek jelennek meg, vagyis konkáv lesz. Így néznek ki a β^+ -instabil izotópok modelljei.

Ha viszont a molibdén 42-es héjába 16 feletti darabszámú gömbhalmazt próbálunk betenni, akkor a héj szétrepedezik, felszíne hézagos, töredezett lesz. A héj szétválása jellemző a β^- -instabil magok modelljeire.

Vagyis mindenütt csak azoktól a magoktól várható el stabilitás, amelyek modelljeinél a neutronfelesleggel egyező gömbhalmazt (belső neutronmagot) szabályosan közre tudja zárni a protonszámmal egyező gömbréteg.

A molibdén esetében említett 8 alatti neutronfelesleggel rendelkező magok a β^+ -instabil, a 16 feletti neutronfelesleggel pedig a β^- -instabil tartományba esnek. Tapasztalati tény, hogy a béta-instabil magok a bomlásuk során a tömegszám megváltozása nélkül alakulnak át másik maggá. A béta-bomlások során csupán a mag proton-neutron arányai módosulnak, és pedig a kétféle nukleon egyes egyedeinek az egymás közötti átalakulásai miatt.

A β^- -mínusz bomlásokat modellező halmazoknál ez az átalakulás úgy jelentkezik, hogy a viszonylag nagyméretű belső neutronmagból 2 neutron a felszínre nyomul. Ezáltal a modell héja, és a belső mag közötti méretbeli aránytalanság kiegyenlítődik. A belső neutronmagból távozó két neutron közül az egyik a külső neutronhéjban marad, a másik pedig kipréselődik a neutronhalmazból a protonhéjba és átalakul protonná.

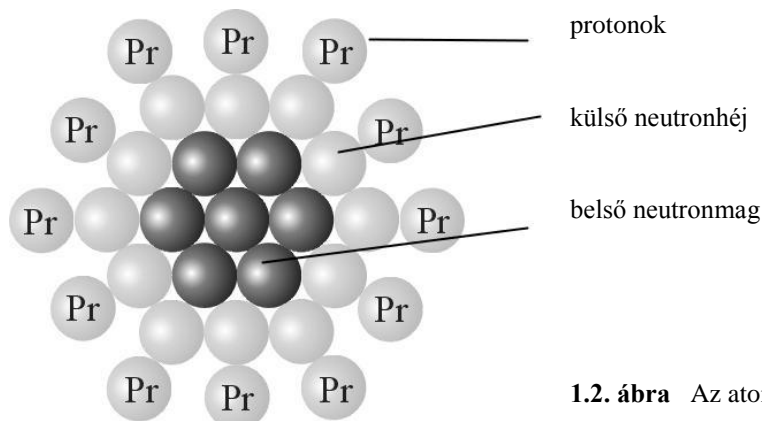
A β^+ -plusz bomlások esetén ennek az átalakulásnak a fordítottja játszódik le.

(A béta-bomlás eseteit az 5. fejezet részletezi.)

A béta-bomlások, valamint a magból kiszabadult neutronok már említett spontán átalakulásai arra engednek következtetni, hogy az atommagban kizárólag a nukleon pozíciója határozza meg azt, hogy az adott nukleon proton lesz, vagy pedig neutron.

Az új magmodell (1.2. ábra) is azt mutatja, hogy a mag közepére szorított nukleonok mindegyike neutron lett, a magfelszíni egyedek pedig protonokká váltak az atommag keletkezésekor, vagy egy-egy átalakulást, bomlást követően.

A gömbök szabályos halmaza és az atommag nukleonjainak aránya közötti analógia helyes az 1.1 ábrán bemutatott mintapélda esetén is, de a modellkísérletek szerint ugyanígy igaz a stabil izotópok mindegyikére, vagyis az izotóptáblázat teljes terjedelmére. Ez a teljes skálán való egyezés arra utal, hogy az összefüggés nem lehet véletlen. A megtalált geometriai analógia minden bizonnyal a maga valóságában mutatja meg a protonok és a neutronok tényleges térbeli elhelyezkedését is. Minden jel arra mutat, hogy az atommag nukleonkészletét alkotó neutronok és a protonok az 1.2. ábra szerinti elrendeződéssel építik fel az atommagot.



1.2. ábra Az atommag nukleonhalmaza

(Kívül a protonok, belül a héjakba rendeződött neutronok)

Megjegyzések az 1.2. ábrához:

- A protonok rajzi megjelenítése a továbbiakban a modellábrázolások során azért felesleges, mert a modellek felszíni gömbjeinek száma éppen a protonszámot mutatja, így a protonhéj ábrázolása csak a neutronhéj nukleonszámának megismétlését jelentené.
- A „belső neutronmag” elnevezés az atommag neutronfeleslegével azonos halmazt jelöli, a „külső neutronhéj” elnevezés pedig az atommag teljes neutronkészletének a protonszámmal egyező részét.

Az atommag stabilitásának feltételei a modellek szerint

A modellek felépítése és alakja -- az előzőekben leírtak szerint -- megadni látszik a választ arra, hogy a megformált neutronmodell stabil atommagnak a neutronhalmazát mutatja-e. A modellépítési tapasztalatok azonban azt bizonyítják, hogy erre vonatkozóan létezik egy feltételrendszer, amelynek teljesülése mindenképpen szükséges ahhoz, hogy a modellezett mag valóban stabil magot mutasson. Ezek a feltételek a modellezés során kerültek a felszínre, és bizonyos következtetések vezettek oda, hogy az érvényességük kijelenthető legyen.

A stabilitás 1. feltétele a neutronok egy középponthez tömörült, konvex elhelyezkedésére vonatkozik.

A 2. feltétel a neutronhalmaz elemeinek szimmetrikus elrendeződése.

A 3. feltétel a modellezett neutronok párosságára vonatkozik.

A 4. feltétel a neutronhalmaz alakjának a gömbformától való eltérésének megtúrt mértékére utal.

Az 1. feltételnek a neutronhalmaz zárt felszínére vonatkozó kritériuma a stabil izotópok számát geometriai okok miatt korlátozza. Az így behatárolt sáv (a modellezési tapasztalatok szerint) kémiai elemenként a legjobb esetben is csak 10 lehet, vagyis ennyi különböző méretű belső magot tud közrezárni egy adott héj úgy, hogy a felszíne zárt és konvex maradjon. Ezt a tartományt azonban a többi feltétel még tovább szűkítheti.

(Megjegyzendő, hogy a 20 alatti rendszámú stabil magoknál a felszíni zártság nem minden esetben teljesül, és ott a zártsági követelményt a neutronok párosságára vonatkozó feltétel felülírja.)

A 2. feltétel a szimmetriára vonatkozó kritérium, amelynek feltétlenül teljesülnie kell.

A térbeli szimmetria –feltételezésünk szerint– azért szükségszerű a mag stabilitásához, mert az atommag neutronhalmazára nehezedő erőrendszernek egyensúlyban kell lennie. A magot összetartó erőrendszert az egyes protonok befelé irányuló tolóerőinek összessége képezi. A neutronhalmaz külső egyedeire hatnak ezek az erők. Az egyensúly a statika szabályainak megfelelően akkor tud létrejönni, ha az erők kiegyenlítik egymást, vagyis az erők eredője nulla. Gömbökből álló halmazok esetén az erők kiegyensúlyozottsága akkor áll fenn, ha a halmazok elemeinek elrendeződése:

- tengelyszimmetrikus, vagy
- tükörszimmetrikus, vagy
- a szabályos testek valamelyikét követő formát veszi fel.

A térbeli szimmetria a páros rendszámú elemeknél azért teljesül annyira könnyen, mert a páros elemek többsége besorolható a szabályos testek (tetra-, hexa-, okta-, dodeka- és ikozaéder) térfelosztási kategóriáinak valamelyikébe.

A páratlan rendszámú elemek modelljeinél azonban teljes mértékben hiányoznak a magasabb rendű szimmetriák, mert páratlan felszínű gömbhalmazzal csak tengelyszimmetrikus, vagy tükörszimmetrikus alakzat képezhető. Ennek a két lehetséges formának a kizárólagos létezése csökkenti le a kiviteli variánsokat annyira, hogy a páratlan rendszámú elemeknél 1-2 izotópnnyira szűkül a stabil tartomány.

Az atommag stabilitásának 3. feltétele az atommag belsejében a neutronok párossága.

A neutronhalmaz felszíni zártsága, konvex alakja és a szimmetriája csak szükséges, de nem minden esetben elégséges feltételei a gömbhalmaz által modellezett izotóp stabilitásának. Léteznek ugyanis konvex felszínnel rendelkező, szabályos és szimmetrikus alakzatot mutató neutronmodellek, amelyek ennek ellenére nem stabil izotópot modelleznek. Ezeknél a neutronszám páratlansága okozza az instabilitást, és a 3. feltétel erre vonatkozik.

A modellezés szerint a stabilitáshoz az is szükséges, hogy a magban a neutronok:

- a.) párosan helyezkedjenek el, vagy
- b.) zárják körbe geometriailag tökéletesen a mag középpontjában lévő páratlan neutronokat.

A páros elemeknél értelemszerűen csak a páratlan neutronszámú izotópokat, vagyis az u . n. páros-páratlan magokat tizedeli meg a 3. feltétel. Azokat is csak inkább a stabil tartomány szélein. Pontosabban ott, ahol az alakzat geometriai tökéletessége nem eléggé magas fokú, és ezáltal a mag páratlanul maradt neutronját a környezete nem tudja tökéletesen közrezárni.

A páratlan elemeknél a külső neutronburok a térbeli szimmetria legalacsonyabb fokát tudja csak képviselni.

A külső héj térgeometriai tökéletlensége miatt a 3. feltétel b.) pontját (vagyis a páratlan neutron tökéletes közrefogását, takarását) nem tudják teljesíteni a páratlan elemek. Ez alól csak a H-2, a Li-6, a B-10 és a N-14 kivételek, de a kivételesség oka másutt keresendő. (Ezen 4 modell felépítését ezért külön fejezet tárgyalja.)

A neutronszám párosságára vonatkozó feltétel a hatásaiban kifejezésre juttatja a párosság fontosságát a mag stabilitására, az okokra azonban nem ad választ. Nem derül ki belőle, hogy miért szükséges a stabilitáshoz a neutronok párossága, illetve a páratlanok körbezártsága. Ezek szükségességének okát keresve minden logikai következtetés oda vezet, hogy a 2. feltétel háttérben egy olyan geometriai eredetű oknak kell lennie, amely nem a teljes neutronhalmaz formájára vonatkozik, hanem az egyes neutronok tényleges alakjára.

Igen egyszerű és kényelmes a részecskéket gömbformának feltételezni, ezért első megközelítésben mi is ezt tettük, vagyis a modelleknél a neutronok alakját gömbként kezeltük. Hangsúlyozzuk azonban, hogy ez nem azért történt, mert a részecskéket gömbnek képzeljük el, hanem azért, mert az összes itt tárgyalt feltétel ennél a geometriai formánál teljesült. Ez azonban nem jelenti azt, hogy maga a neutron is gömb volna. A „páratlanság” sajnálatos (stabilitást csökkentő) hatásának ismeretében inkább arról lehet szó, hogy a neutron (a tényleges alakjától függetlenül) egy gömb alakú térrészben foglal helyet, és ez által azt az összhatást kelti kifelé, mintha önmaga is tökéletes gömb lenne. A páros és páratlan neutronok eltérő viselkedése önmagában cáfolni látszik a neutron gömbszerű alakját, de marad a gömbszerű térrészben való elhelyezkedés. Ennek a részletkérdésnek a taglalása azonban nem témája jelen műnek.

A 4. feltétel geometriai okok miatt felső határt húz a stabilitáshoz a 126-os neutronszámnál.

Stabilnak találtak ugyanis kizárólag azok a neutronhalmazok, amelyeknél egyetlen neutron sem tud a halmaz felszínén másik olyan helyre kerülni, amely az eredeti pozíciójánál közelebb van a halmaz középpontjához, vagyis ahol az eredeti helyénél alacsonyabb potenciálra kerülhetne. A 126 feletti tartományban viszont már minden esetben előáll ez a helyzet. (A geometriai részleteket külön fejezet taglalja.)

2. A neutronmodellek szerkezeti felépítése

Az elemek tudományos csoportosítása a periódusos rendszer (3. sz. melléklet) oszlopai mentén, egyrészt függőleges irányban szokásos, másrészt a táblázat egyes szakaszain vízszintesen. A függőleges irányú közismert csoportosítás az elemek kémiai tulajdonságainak hasonlóságára épül, és bázisvonalként a nemesgázokat szokás választani. A vízszintesen kiemelt részek a lantanoidák (más néven: lantanidák, tkp. ritkaföldfémek), és az aktinoidák (más néven: aktinidák, tkp. radioaktív fémek). A csoportokon belül a hasonlóság, a tudomány feltevései szerint az elektronhéjak számára és azok betöltöttségére vezethető vissza. A modellezések során geometriai hasonlóságok is a felszínre kerültek a periódusos rendszer egyes csoportjai belül.

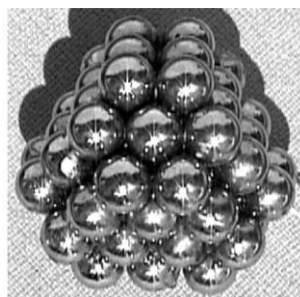
2.1. A neutronmodellek geometriai formája

A neutronmodellek külső formája igen változatos. Vannak egyszerű, tengelyszimmetrikus formák, de nagy számban jelen vannak a szabályos testeket (2. sz. melléklet) idéző geometriai alakzatok is. Minden egyes modellre érvényes a szimmetria valamelyik fokának jelenléte. Meggyőződésünk, hogy a szimmetria a stabilitás alapvető feltételei közé tartozik, hiszen e nélkül nem lehetnének egyensúlyban az atommag közepe felé igyekvő protonok. A protonok befelé hatolási szándékát előlédő erők egyensúlya mindenképpen igényli a térbeli szimmetriát.

A szabályosság fokát illetően a legalacsonyabb osztályba a tengelyszimmetrikus gömbhalmazok sorolhatók, és ettől felfelé haladva vezet az út a tetraédes formán, valamint a hexa- és oktaédes változaton át a dodeka- és ikozaédes formákig (2.1.-2.6. ábrák).



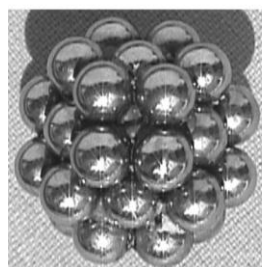
2.1. ábra: tengelyszimmetrikus



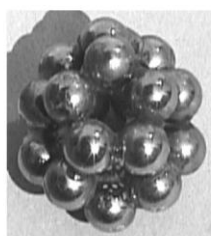
2.2. ábra: tetraédes



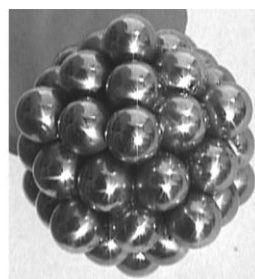
2.3. ábra: hexaédes



2.4. ábra: oktaédes



2.5. ábra: dodekaédes



2.6. ábra: ikozaédes

Gömbhalmazok térbeli szimmetriája.

A tengelyszimmetriát nevezhetnénk egytengelyű szimmetriának, a tetraéderest kéttengelyűnek, a hexaéderest háromtengelyűnek stb., de jelen esetben a féltengelyekre való felosztás célszerűbb. A fenti elnevezések nem jelentik szó szerint azt, hogy pontosan a nevezett szabályos test kinézetét mutatja a gömbhalmaz, illetve a modell formája. Csupán arra vonatkozik a jelző, hogy a modell ismétlődő felszíni egységeinek orientációja azonos a nevezett szabályos test tengelyeinek irányával. A hexaédes forma például nem azt jelenti, hogy a modell tökéletes kocka alakú, hanem azt, hogy a modellt határoló gömbök 3 egymásra merőleges tengely, azaz 6 féltengely felől nézve pontosan azonos képet mutatnak. Sűrűn előfordulnak a kocka és a többi szabályos test csonkolt sarkú és csonkolt élű változatai is.

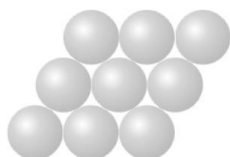
Mivel a tengelyszimmetrikus modell csak a 2 féltengelye felől nézve mutat ugyanolyan felszíni alakzatokat, az ikozaédes modell pedig mutathat 20, sőt 30 féltengely felől is, ezért belátható, hogy az utóbbi alakzat úgynevezett térbeli szabályossága lényegesen magasabb fokú. Az összes páratlan rendszámú elem modellje csak tengelyszimmetrikus lehet, a párosaké pedig periodikus változással a teljes skálát átfogja.

2.2. A neutronmodellek felszíne

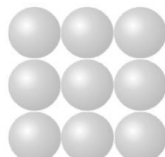
A modellek felszínét határoló gömbök oldalirányú csatlakozása (érintkezése) háromféle lehet:

- soroként eltolódott, szoros illeszkedésű (2.7. ábra)
- négyzetes, kvadratikus elrendezésű (2.8. ábra)
- ötszöges illeszkedésű (2.9. ábra)

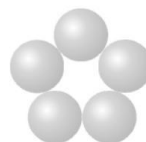
Ezek a felszíni alakzatok egymással általában váltakozva fordulnak elő. A felszín jellegét befolyásolja a fentiekén kívül még a felszín görbületének mértéke, továbbá a modell belső struktúrája is.



2.7. ábra



2.8. ábra



2.9. ábra

A gömbök illeszkedése a modellek felszínén

2.3. A neutronmodellek héjmérete

A „héjméret” megnevezés alatt a héjat alkotó gömbök darabszámát értjük, és semmiképpen sem a héj méretének valamilyen területegységben kifejezett értékét. Az ugyanis semmilyen formában nem tárgya ezen cikknek. Tapasztalatból tudjuk ugyan, hogy sok esetben lehet kevesebb gömbbel is olyan zárt „héjat” összeállítani, amely egy nála több gömbből, de más struktúrával összeállított héjnál több belső gömböt képes közrezárni. Erre utalnak a már említett izotóp magok modelljei is. Az 1.1 ábrához kapcsolódóan példaként felhozott 55-ös halmaz esetében is létezik (42+13)-as változat éppúgy, mint (44+11)-es. A 44-es héjméretű modell egy karcsúbb alakzat, a 42-es héjméretű modell pedig gömbölyűbb, hiszen kisebb héja ellenére nagyobb belső magot takar. Az utóbbi felszínén több a 2.8 ábrán látható laza felszíni részlet, a 44-es héjméretű modellnél pedig inkább a 2.7. ábra szerinti felszíni struktúra a domináló.

A térgeometria által kínált lehetőségek biztosítják tehát a modellek ugyanolyan változatosságát, mint amilyent a természet mutatott fel az izotópok kialakításakor.

2.4. A neutronmodellek belső magja

A neutronhalmaznak a külső héj által közrefogott része – azaz a modell belső magja – igyekszik összerendeződni a legkisebb térfogatú és a lehető legrszabályosabb alakzatra.

A belső neutronmag szerkezete, vagyis alkotó elemeinek tipikus elrendeződése lehet:

- szoros gömbi illeszkedésű (2.10. ábra)
- köbös illeszkedésű (2.11. ábra)
- dodekaédes illeszkedésű (2.12. ábra)



2.10. ábra



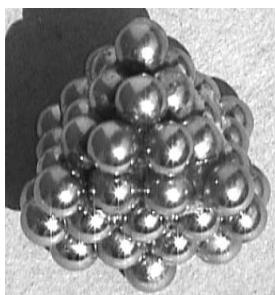
2.11. ábra



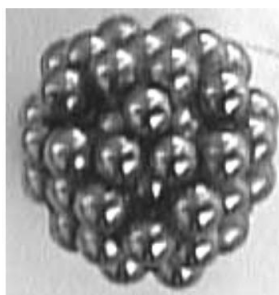
2.12. ábra

A belső neutronmag szerkezete

A halmaz formája elsősorban a halmazt alkotó gömbök számától függ. A belső mag alakja természetesen befolyásolja az egész modell formáját, amely adott külső héj esetén – a belső mag méretétől függően – lehet összehúzódtabb, vagy éppen a gömbformához közelebb álló.



2.13. ábra
A Pd-102 modellje



2.14. ábra
A Pd-108 modellje

Válasszuk példaként a 46-os rendszámú palládiumot. Ennek 46 protonja egy olyan neutronhalmazt fog közre, melynek héja ugyancsak 46, a belső neutronmagja pedig a tömegszámtól függően 10, 12, 13, 14, 16 vagy 18 neutron valamelyikét tartalmazza. Míg a 10-es neutronfeleslegű Pd-102 izotóp modellje (2.13. ábra) egy igencsak karcsú tetraéder, addig a nagyobb tömegszámú izotópok modelljei egészen kikerekedett formájú halmazok. A 16-os belső magú Pd-108 izotóp modellje például egy, a gömbformát egészen megközelítő halmaz (2.14. ábra), az előbbinél sokkal lazább szerkezetű felszínnel.

2.5. A neutronmodellek rétegszáma

A gömbhalmazokban rétegek alakulnak ki, és a rétegekben a geometria szabályai szerinti mennyiségű gömb tud elhelyezkedni. Ezek bizonyos tartományon belül átrendezhetők, sőt spontán át is rendeződnek (pl. a béta-bomlásoknál), de a variációs korlátok eléggé szűkek. A gömbök illeszkedésében talált egyszerűbb szabályszerűségek némelyike iránymutatásul szolgált a további összefüggések megtalálásához. Ilyenek többek között az alábbiak:

- legalább 12 gömb szükséges egy középponti gömb hézagmentes eltakarásához,
- 20 gömbből álló szabályos halmaz belsejébe feltétlenül befér legalább egy további gömb.

Ezek a határesetek, ahol határozott váltások vannak a modellek felépítésében éppúgy, mint az elemek bizonyos tulajdonságaiban. A 12 alatti rendszámoknál a valóságban is jellemző a 0 neutrontöbbletű izotópok túlsúlya. (Az ettől való eltérések és azok okai a 3. és 4. fejezetben találhatóak.) A többrétegű neutronhalmazoknál is a 12-es legbelső magoknál van váltás a halmaz következő rétegének megjelenése miatt. A 13. neutron ugyanis a halmaz közepére fog rendeződni. A halmazok rétegszáma az alábbiak szerint alakul:

- 1 rétegűek a 12-es és az ez alatti neutronhalmazok, de ez akár 20-as halmazig is kitolódhat.
- 2 rétegűek a 13 és 54 közötti halmazok, mert 12 gömb már hézagmentesen közre tudja zárni a tizenharmadikat (ld. a 7.25/b és a 7.26/b ábrákat).
- 3 rétegűek az 55 és 146 közötti halmazok. Ezek a technécium és az urán közötti tartományt képviselik. A technécium környékén jelenik meg a 13-as belső mag, amely már önmagában kétrétegű.
- 4 rétegűek a 146 feletti halmazok, melyek külső héja 92 feletti, középső rétege 43 feletti, legbelül pedig egy minimum 12-es héj által közrefogott, legalább 1 neutron van. Ezek a transzuránok (a 92-es rendszám felett).

2.6. A neutronok száma

Vannak a gömbhalmazok elemeinek számát illetően kedvező számok (v. ö. mágikus számok), vannak viszonylag kedvezőtlenek (például a páratlan számok), és léteznek határozottan „tiltott” számok. Ez utóbbiakra, vagy a szimmetria hiánya, vagy a neutronszám páratlanságának már említett kedvezőtlenége miatt, maga a természet talál kedvezőbb megoldást a proton-neutron arány átrendezésével. Ennek eredménye, hogy 19, 21, 35, 39, 45, 61, 71, 89, 115 és 123 neutronnál kialakult a nem létező neutronszámok sorozata azáltal, hogy a béta-bomlások során egyes neutronok protonná alakultak. A proton/neutron-arány megváltozásával így kedvezőbb geometriai struktúra adódott.

A gömbhalmazok és a stabil izotópok neutronszámai közötti összefüggés megtalálását az izotóptáblázatban található rendszertelenség késleltette, de a felismerés után a bizonyosságot éppen az erősítette meg, hogy a geometriai kivételek és a kémiai elemek sorozatában található anomáliák helye pontosan egyezik. Az egyezőségek vitathatatlan megléte felhatalmazást ad arra, hogy a kijelentéseket ne csak geometriai, hanem magfizikai vonatkozásban is megtehessük. Ezért beszélünk sokszor gömbök helyett neutronokról, és gömbhalmazok helyett izotópok neutronhalmazáról, vagy atommagok neutronkészletéről.