

## AZ ATOMMAG ERŐI

AZ ÚJ FIZIKA KÉT nagy felfedezése egy-egy mennyiség kitüntetéséhez, általános érvényének fölismeréséhez fűződik. A relativitáselmélet a fény tovaterjedési sebességének adott univerzális jelentőséget. A fény tovaterjedési sebessége azelőtt is ismeretes volt, de szerepe a jelenségeknek egy kisebb csoportjára korlátozódott. A relativitáselmélet felismerése egyfelől abban állott, hogy ez a kitüntetett sebesség minden jelenségben szerepel (olyanokban is, melyeknek semmi közössége nincs a fényjelenségekkel), tehát hogy a legegyszerűbb jelenséget sem tudjuk nélküle pontosan leírni, másfelől pedig, hogy ez a mennyiség független a vonatkoztatási koordináta-rendszerétől. Ez utóbbi követelmény teljesítése logikai ellenmondásokra vezetne a régi fizika abszolút mértékrendszerében; innen származik a tér és idő relativizálása, a tömeg változósága s az energia tömege.

A fizika másik nagy felfedezése a kvantumelmélet, mely a Planck-féle állandónak, a hatáskvantumnak ad kitüntetett szerepet. A Heisenberg-féle határozatlansági relációk fejezik ki ezen állandó univerzális érvényét. Ezek szerint egy tetszés szerinti állapot pontos meghatározásához szükséges koordináták nem határozhatók meg pontosan, hanem csupán akkora bizonytalansággal, hogy két összetartozó koordináta határozatlanságainak szorzata legalább a Planck-féle állandó.

A határozatlansági relációk logikus keresztülvitele még mélyrehatóbb változást okoz a természetről vallott felfogásunkban, mint a relativitáselmélet: az eddigi kauzális leírást (mely a relativitáselméletben is fennáll) kell feladnunk s a természettörvények valószínűségi törvényekké lesznek. A fizika történetében Galilei és Newton óta kétségkívül ez a legnagyobb lépés.

Nem szabad csodálkoznunk, hogy e két nagy fölfedezés — különösen utóbbi — megfosztotta a fizikát egyszerű szemléleti alapjaitól.<sup>1</sup> Valamit szemléletesen magyarázni mindig annyit jelent, mint egyszerű — nagyon jól ismert és tudott — jelenségekre visszavezetni. Jó, ha ez sikerül, de ha nem, semmiképpen nem jelentheti a tudomány válságát, mert a természettudomány célja, hogy ellenmondástól ment és ökonomikus leírást adjon a természet jelenségeiről. Mindkét követelmény fennáll még a szemléletesség szempontjából inkább kárhóztatott kvantumelméletben is. Az atomokat, energiakvantumokat stb. nem lehet ugyan pl. billiárdgolyóknak tekinteni, de ismerjük egyszerű alaptörvényeiket s történeiseiket le tudjuk írni.

A kvantummechanika legnagyobb eredménye, hogy az atomhøj szerkezetének fölismert törvényein keresztül fel tudta deríteni az elemek különbözőségét, valamint a kémiai kötés mibenlétét. A kémiát ezzel a fizikába olvasztotta be: a kémiai elemek kvalitás-különbségei ezzel a fizika kvantitatív különbségei lettek.

Magától adódik az elért eredmények után a kérdés: elegendő a kvantummechanika arra, hogy az atomhøj megismerése után felderítse az atommag szerkezetét is? Nincsen esetleg szükség a fénysebesség és a hatáskvantum mellett egy újabb természeti állandó fölismerésére, melynek szerepe az atomhøjban még elhanyagolható volt, vagy nem volt felismerhető?

Az atommagra vonatkozó ismereteink ma még nem elegendők, hogy e kérdésre válaszolhassunk. Ez azonban nem jelenti azt, hogy az atommagról keveset tudnánk; ellenkezőleg, a tapasztalati kutatás igen sok eredményt gyűjtött össze az atommagról, csupán még nem elegendő ahhoz, hogy a mag szerkezetét és tulajdonságait ellenmondásmentesen és ökonomikusán egyszerű alaptörvényekből kikövetkeztethetők.

<sup>1</sup> V. ö. Ortway Rudolf: A szemléletesség hatásai a fizikában. Magyar Szemle 1941., XLI. 249.

Kétségkívül megállapíthatjuk az eddigi tapasztalatok alapján, hogy a különböző elemek atommagjai azonos alapelemekből vannak felépítve, tehát pl. az oxigén és arany atommagjai csupán abban különböznek egymástól, hogy az azonos alkatrészek száma egyikben más, mint a másikban. Áll ez az atomhéjra is; ott az alapépítőkövek az elektronok, melyekből — a példánál maradván — az oxigén atomhéja 8-at, az aranyé 79-et tartalmaz. Az atommagnál a helyzet valamivel bonyolultabb, mert nem egyetlen építőelem van jelen, hanem kettő. Erre abból kell következtetnünk, hogy a mag két egyszerű tulajdonságot mutat, melyet egyetlen alkatelem nem magyarázhatna meg: a mag pozitív töltéseinek száma, ami az elem periódusos rendszerbeli rendszámával egyenlő, és a mag tömege, amit az atomsúly fejez ki. Az atomsúly nagy megközelítéssel egész szám s általában több mint kétszerese a rendszámnak. Az atomsúly egész számúságának legegyszerűbb indokolása az volna, hogy az 1 atomsúlyú elem, a hidrogén magja, melynek neve proton, annyi példányban van jelen, mint amennyi az atomsúly, viszont akkor a pozitív töltések száma is ugyanannyi s nem kb. félfannyi volna, mert a protonnak 1 pozitív töltése van. Ezt az ellenmondást a magfizika eleinte úgy próbálta eltüntetni, hogy a magban annyi negatív elektront képzelt, mint az atomsúly többlete a rendszámhoz képest. Ezek az ún. magelektronok kompenzálják a protonok egy részének töltését. A magelektronokat azonban a kvantummechanika kizárja: a határozatlansági relációk nem engedik meg, hogy elektronok legyenek jelen a magban, mert az elektronokat a mag kicsiny terébe bezárva azoknak ott szükségképpen oly nagy volna az energiája, amilyennel a mérések szerint nem rendelkezhetnek.

Ebből és még egyéb ellenmondásokból a magfizikát a neutron fölfedezése segítette ki. A neutron elektromosan semleges test, tömege kb. azonos a protonéval. Az új — ma már általánosan elfogadott — felfogás szerint a mag annyi protont tartalmaz, mint a rendszám és annyi neutron, mint az atomsúly többlete a rendszám fölött.

A magfizika további kérdései: milyen erők tartják össze a protonokat és neutronokat a magban és milyen az alkatrészeknek a magban való elhelyezése? Az első kérdés fontosabb, mert az erre adott teljes válasz a második kérdést is megoldhatóvá, matematikai feladattá teszi.

Ugyanezek a kérdések fölmerültek a héjfizika kifejlődésénél is. Ott szerencsésebb volt a helyzet, mert az elektronoknak a maggal szemben — és az elektronoknak egymás között való kölcsönhatására — a makroszkopikus fizikában ismert Coulomb-törvényt lehetett alkalmazni. A kérdés itt inkább az alkalmazás módja volt s ezt a kvantummechanika megoldotta. A magerőknél nincs ilyen egyszerű támaszpontunk, mert azok az eddigi kísérletek szerint bonyolultabb természetűek.

A magerők kísérleti vizsgálata nehéz feladat, mivel semmiképpen nem áll módunkban két magalkatrészt egymástól különböző távolságokban elhelyezve (sztatikusan) a közöttük ható erőt közvetlenül, a makroszkopikus fizika egyszerű erőmérési eljárásai szerint megmérni. Az itt szereplő távolságok a centiméter billiomod része alatt volnának! Van azonban két közvetett út a magerők megismerésére.

A naprendszerben a bolygók, üstökösök pályaelemeiből kiszámítható a Napnak rájuk gyakorolt vonzóereje. Ugyanígy kiszámítható az az erő, melyet a mag egy a közelében nagy sebességgel elfutó alkatrésze, protonra, neutronra, héliummagra ( $\alpha$ -rész) gyakorol. Persze a mérést nem egyetlen elem pályaelemeinek megfigyelésével végezzük, hanem rendkívül sok részecske viselkedéséből állítunk össze statisztikát, miáltal pótolhatjuk azt a hiányt, melyet az egyes pályák nem eléggé pontos ismerete okoz. Ezek a szórás kísérletek, melyek segítségével Rutherford már 1911-ben felfedezte az atommagot s melyeket újabban nagy sikerrel használnak a magerők tanulmányozásánál. A módszer annál eredményesebb, minél nagyobb energiával indulnak a részecskék, mert annál kisebb távolságokra közelítik meg a szórást, eltérítést létrehozó atommagokat.

E kísérletek eddigi legnagyobb eredménye, hogy két proton között vonzó erő hat, ha egymástól való távolságuk kisebb, mint a centiméter billiomod része. E távolságon kívül a két proton taszítja egymást, mint azt a fizika a két egymű töltésre nézve tanítja.

Az elektromos hatás mellett tehát fellép egy másik erő, mely csak igen kis távolságokban érvényesül s ott felülmúlja az elektromos erőt. Ez az az erőhatás, mely a mag alkatrészeit összetartja, annak ellenére, hogy a protonok kölcsönös taszítása a magot szétfeszíteni igyekszik. Érdekes, hogy ez az erő függetlennek látszik az alkatrészek elektromos jellegétől: a proton és neutron, továbbá a neutron és neutron között ugyanaz a nagyságrendű erőhatás lép fel. A kísérletek jelenlegi eredményei még nem elegendők ahhoz, hogy a magerőket pontosan ismerjük. A kísérleteket még lényegesen nagyobb energiák felé kell kiterjeszteni, hogy az erők távolságfüggését pontosan fogalmazhassuk. Annyi bizonyos, hogy az erők a távolsággal sokkal rohamosabban csökkennek, mint a Coulomb-erők, vagy a gravitációs erő, melyek a távolság négyzetével fordított arányban fogynak.

A magerők megismerésére a másik közvetett út a kötési energiák tanulmányozása. Ha egy mag az alkatrészeiből felépül, akkor energia szabadul fel, mert a magerők munkát végeztek. Ez az energia a mag keletkezésekor valamilyen alakban eltávozott, s ez az energia mértéke a mag kötésének, mert ahhoz, hogy a magot alkatrészeire szétszedhessük, nyilván legalább ennyi energiára van szükség. A kutatást elősegítő szerencsés körülmény, hogy a magnál ezek az energiák oly nagyok, hogy tömegük mérhető s hiányuk mint tömeghiány, tömegdefektus jelentkezik. Itt mutatkozik a nagy különbség a kémiával szemben. Ha két hidrogén-atom egy hidrogén-molekulát képez, akkor is energia szabadul fel, de ennek az energiának tömege az egész molekula tömegének csupán néhány ezermilliomod része, úgyhogy azt közvetlen tömegmérés nem tudná kimutatni. Ha azonban két protonból és két neutronból egy héliummag épül, akkor az eredeti össztömegnek csaknem egy százaléka mint a reakció energiájának tömege eltávozik s az előálló tömeghiány jól mérhető. A relativitáselmélet szerint a tömeghiányt a fény sebességének négyzetével megszorozva a fölszabaduló energiát kapjuk s ezáltal a magerők munkáját nyerjük, amiből pedig a magerők nagyságára következtethetünk vissza.

A tömeghiány ma már az összes elemeknél ismeretes s statisztikája igen érdekes törvényszerűségeket ad. A legfontosabb, hogy az egy alkatrésztre számolt tömeghiány az összes elemeknél azonos nagyságrendű. Vannak természetesen különbségek, melyekből értékes további következtetések vonhatók, de szembetűnőbb a nagyságrendi egyezés. Azt jelenti ez, hogy mind a proton, mind a neutron bármely elembe körülbelül azonos kötéssel van beépítve, függetlenül a többi ott levő protonok és neutronok számától. Nem kapcsolódik tehát a mag minden eleme a mag összes többi eleméhez, mert akkor a kapcsolatok száma (a kettős kombinációk száma) az alkatrészek számának négyzetével volna arányos s így az összes tömeghiány is, már pedig utóbbi csupán az alkatrészek számával arányos.

Érdekesek a részletkérdések is: pl. az általános törvényszerűségtől való eltérések. A protonok között a vonzóerőn kívül az elektromos taszítás is jelen van, ami a vonzást csökkenti; így egy proton és egy neutron mégsem teljesen azonosan viselkedik. Legnagyobb tömeghiánnyal rendelkezik egy mag azonos összes alkatrészsám mellett, ha a protonok és neutronok száma kb. egyenlő, a periódusos rendszer vége felé pedig, hol a protonok Coulomb-taszítása egyre nagyobb, több neutronra van szükség, hogy ezek egymás közötti vonzása ellensúlyozza a protonok taszítását. Ez magyarázza a régi tapasztalatot, hogy az atomsúly a rendszám kétszerese, illetőleg a periódusos rendszer végén nagyobb. A tömeghiányt egy térbeli

koordinátarendszerben ábrázolva, mint a protonszám és neutronszám függvényét, az ú. n. energiafelületet nyerjük, mely a hidrogéntől az uránig lefelé lejt völgyszerűen. A völgyvonalon helyezkednek el a stabil elemek, míg jobbra-balra a felület emelkedik, megfelelően annak, hogy ha túlsók a proton, vagy túlsók a neutron, a kötés lazább. A völgyfelület e két emelkedő hegyoldala adja a mesterséges radioaktivitást: az ott levő elemek, melyeket egy magreakció mesterségesen állított elő, igyekeznek lecsúszni a mélyebb energiájú völgyvonalba. Maga a völgyvonal a periódusos rendszer vége felé lassabban lejt, mint amekkora a lejtés az elején a hidrogén és hélium között. Ez indokolja a természetes radioaktivitást a periódusos rendszer legvégén, az ólom és az urán között.

A természetben leggyakoribbak a legállandóbb (stabil) elemek. Ezek tudtak legjobban ellenállni azoknak a bontó erőknek, melyeknek a természet története folyamán, különösen pedig az anyag felépülése közbeni óriási hőmérsékletek korszakában ki voltak téve. A változékonnyá, instabil elemeket pedig külső beavatkozás nélkül is, tehát hideg állapotban is átvizsgálja az idő a valószínűség szabályai szerint a stabil elemekbe. A környezetünkben még ma is található radioaktív elemek mennyiségéből kiszámíthatjuk, hogy közvetlen világunk, tehát a Föld legalább 1600 millió éves.

A szórás kísérletek megengedik a mag kiterjedésének meghatározását is. E tekintetben a törvényszerűség olyan, mint a kötési energiáknál: a mag térfogata szintén az alkatrészek számával arányos, vagyis a mag sugara az alkatrészek számának köbgyökével. A különböző magok sűrűsége tehát azonos. Mindez közelfekvővé teszi, hogy a magot, mint folyadékcséppet gondoljuk el. A folyadékcséppben az egyes alkatrészek szintén azonos kötési energiát mutatnak (a párolgási hőnek egy atomra, vagy egy molekulára eső része), mely független a csépp nagyságától, ami azt mutatja, hogy minden alkatrésze csupán a környezetében lévő alkatrészek gyakorolnak kölcsönhatást.

A fizika fejlődésének szokásos útja az, hogy midőn egy jelenségcsoportra nézve több-kevesebb kísérleti anyag együtt van, következnek az elméleti próbálkozások. Az elmélet oly alapfeltevéseket tesz meg kiindulópontjává, melyek az eddigi kísérleti tényekkel összhangban vannak. Ez egy olyan alapkövetelmény, mely nélkül az elmélet már kiindulásában hibás. Az alapfeltevések azonban rendszerint olyan következményeket is magukban rejtenek, melyekre a kísérlet eddig nem mutatott rá, nyilván mivel a kísérletező ezekre nem is gondolt. Az elmélet fokozatos kiépítése tehát egyre újabb kísérletileg megvizsgálandó témát vet fel s az elmélet mindaddig jó, míg valamelyik következményét, jóslását a kísérlet meg nem cáfolja. Az elmélet haszna tehát kettős: egyfelől összefoglalja az elágazó jelenségeket lehetőleg kevés számú alapfeltevésben, másfelől utat mutat: megjelöli a további kísérletezés irányát.

A magerők elméletének közelfekvő próbálkozása az, hogy a magerők ú. n. kicserélési erők. Ezeket a kvantummechanika vezette be a hasonló részekből álló rendszerek (az ú. n. többtest-probléma) tárgyalása közben s ezen erők segítségével sikerült a kémiai kötés fizikai értelmezése. Ezek az erők megfelelnek annak a követelménynek, hogy a távolsággal rohamosan fogynak, azonkívül telítési jellegűek, ami annyit jelent, hogy minden részecske csak meghatározott számú más részecskével szemben fejthet ki kölcsönhatást. A kémiában ezzel volt indokolható a vegyérték meghatározott száma, így pl. ha egy hidrogén-atom egy másik hidrogén-atommal kötésbe kerül, akkor a kötési erők telítésbe jutnak, egy harmadik hidrogén-atomra a rendszer már csak taszító erőt fejt ki. Az alaphipotézis tehát eddig összhangban van a magerőkre vonatkozó kísérletekkel, kérdés, hogy a további, számszerű egyezések is kiadódnak-e?

A kicserélési erők a kvantummechanika következetes keresztülviteléből származnak. Ha két azonos elemi rész, pl. két elektron hat egymásra,

akkor a kölcsönhatás kiszámításánál logikusan azt is figyelembe kell vennünk, hogy a két elektront nem tudjuk egymástól megkülönböztetni. Ha pl. a rendszernek egy állapotát úgy akarjuk jellemezni, hogy az első elektron A állapotban, a második B állapotban van, akkor a rendszerre nézve olyan állítást tettünk, melyet nem áll módunkban kísérletileg ellenőrizni. Olyan állítások pedig, melyek kísérletileg eleve ellenőrizhetetlenek, nem fordulhatnak elő a fizikában. Állításunk tehát csak olyan lehet, mely a két elektron elhelyezésére nézve szimmetrikus, azaz a két elektron térbeli elhelyezését leíró függvénynek nem szabad megváltozni, ha a két elektron koordinátáit felcseréljük. Ezek szem előtt tartásával kiszámítva a rendszer energiáját, az egy oly tagot tartalmaz, mely éppen eme kicserélhetőségi követelményből származik, ezért neve: kicserélési energia.

A kicserélési erőket a klasszikus fizika nem ismeri, mivel alapfelfogása, hogy két részecskét meg lehet egymástól különböztetni koordinátáik és impulzusaik pontos ismeretével. A kvantumelméletben azonban a határozatlansági tartományok általában fedik egymást. A kicserélési erők tehát a kvantumelméletre specifikusan jellemzők.

A magerőket szintén tekinthetjük kicserélési erőknek, s a  $\beta$ -emisszió jelenségeivel hozhatjuk kapcsolatba. Említettük, hogy az újabb felfogás szerint magelektronok nincsenek, tehát azt a tényt, hogy a magból mégis kiléphetnek elektronok ( $\beta$ -emisszió) úgy magyarázzuk, hogy egy neutron protonná alakul át. Az elektron, mely a magból kilép, előzőleg nem volt jelen a magban, hanem az emisszió közben keletkezik. Az elektromos töltések algebrai összege eközben nem változik, azaz ugyanakkora pozitív töltésnek is kell keletkeznie, miáltal a neutron protonná alakul. Ugyanígy magyarázzuk a pozitron (pozitív elektron) emissziót, mely a mesterséges radioaktivitásban gyakori: itt a pozitív elektron távozik el, miáltal egy proton alakul át neutronná.

Megjegyezzük, hogy ezek az első pillanatra mesterkéltnek látszó elgondolások kísérleti támaszt nyernek a párképzés és a dematerializáció laboratóriumában többszörösen megismételt és jól reprodukálható jelenségeiben. Kellő keménységű  $\gamma$ -sugárzás energiakvantumaiból egy pozitív-negatív elektronpár keletkezik, egy pozitív és egy negatív elektron összetalálkozásakor pedig mindkettő energiája sugárzási energiává lesz, azaz, mint elektronok megsemmisülnek. Elvi jelentőségű kísérletek ezek, mert általuk a fizika kilépett az anyag megmaradásának elvéből. Az anyag ezek után az energia megjelenésének egy formája.

Tekintettel arra, hogy a proton és neutron egymásba kölcsönösen átalakulhatnak, közelfekvő, hogy ezeket egy és ugyanazon elemi részecske különböző állapotainak tekintsük. Akkor pedig a kvantummechanika szerint két ilyen részecske között kicserélési erő lép fel, mert egy észlelésnél a két részecskét illetően nem tudjuk megállapítani, hogy melyik van proton, melyik neutron állapotban. A két részecske kvantummechanikáját tehát úgy kell megfogalmaznunk, hogy kicserélhetőségüket figyelembe vesszük. Ebből következik a proton és neutron helyének (Heisenberg), vagy helyének és impulzusnyomatékának (Majorana) periodikus kicserélődése. Az ebből származó vonzóerőt a  $\beta$ -emisszió mechanizmusának speciális tulajdonságaiból kell kiszámítanunk, tehát közelfekvően abból, hogy a kicserélődést egy elektron átmenete közvetíti. E folyamat finomabb részleteihez hozzátartozik, hogy a kicserélési processzusban az elektronon kívül még egy részecske: a neutrino is résztvesz.

A neutrino kibocsátása minden  $\beta$ -emisszióknak kísérő jelensége. A kísérletek ugyanis a  $\beta$ -bomlásnál is igazolják az energia és az impulzus megmaradásának elvét, míg ha csupán a  $\beta$ -elektronok energiáját és impulzusát vennők tekintetbe, a megmaradási tételek nem volnának érvényben.

Az elmélet az eltérést a neutrino jelenlétével magyarázza. A neutrino nyugalmi tömege zérus, tehát e tekintetben a fénykvantumokhoz hasonlít, bár egyéb tekintetben eltérő tulajdonságai vannak.

Az elmélet részletes keresztülvitele azt mutatta, hogy a proton—neutron közötti kicserélési erő lényegesen kisebbnek adódik, mint a kölcsönhatás kísérletileg ismert értéke. Az elmélet tehát első fogalmazásában nem megfelelő.

A második fogalmazás Jukawa japán fizikustól származik. Szerinte az erő kicserélési jellege megmarad, de a kölcsönhatást nem az elektron és a neutrino közvetítik, hanem egy ismeretlen részecske, melynek tulajdonságai éppen abból számítandók ki, hogy az erő megegyezik a tapasztalattal. Jukawa azt a meglepő eredményt kapta, hogy a feltételezett részecske, melynek töltése az elektron töltése, az elektronnál néhány százszor nagyobb tömegű: a nehéz elektron, vagy, mivel közbülső helyzetet foglal el tömege szempontjából az elektron és proton között, mezon.

Igen érdekes, hogy ezt az elméletben hipotetikusán bevezetett részecskét két évvel később Anderson és Neddermeyer megtalálták a kozmikus sugárzásban. Tömegét a mérések 200 elektron tömegével megegyezőnek mutatták. Van pozitív mezon is, úgy mint pozitron s a nehéz elektronoknál is van párképzés, persze 200-szor nagyobb energia szükséges hozzá, úgyhogy eddig csupán a kozmikus sugárzás óriási energiái képesek fedezni ezt az energiaszükségletet; laboratóriumban mezonpárt eddig előállítani nem sikerült. Talán az új, 5000 tonnás ciklotron, mely jelenleg építés alatt áll Lawrence laboratóriumában Berkeleyben, képes lesz mezonpár mesterséges képzésére.

Mivel a  $\beta$ -emissziónál nem mezon, hanem elektron lép ki a magból, föl kell tennünk, hogy a mezon nem stabilis részecske, hanem keletkezése után rövid idő alatt elektronra és neutrínóra bomlik szét. A kísérletek ezt is igazolták: sikerült Wilson-kamrában a mezon elbomlását közvetlenül kísérletileg is megfigyelni.

A neutron-neutron kölcsönhatást semleges mezon közvetíti.

A mezon bomlási félideje az eddigi kísérletek szerint kb. milliiod másodpercnek adódott. A kozmikus sugárzásban élettartama látszólag hosszabb, ami a relativitáselméletnek következménye: a nagy energiájú, csaknem fénysebességgel haladó mezon „órája lassabban jár“, a mi koordináta-rendszerünkéből nézve.

A magerők elmélete tehát jelenlegi állásában helyes nagyságrendben adja a magerők kísérleti értékeit s képes volt a mezon megjósolására. Nem elegendő azonban ma még a magfelépítés finomabb kérdéseinek, a magszerkezetnek leírására. Meg kell elégednünk tehát többé-kevésbé kvantitatív elgondolásokkal, melyeknek eredményeit a tömeghiány, az elemek gyakorisága és a magreakciók energiamérlegei segítségével ellenőrizhetjük.

A hélium nagy tömegdefektusa közelfekvővé teszi, hogy a mag belsejében  $\alpha$ -részek vannak jelen. Ugyancsak erre mutat az  $\alpha$ -radioaktivitás, melynél kész  $\alpha$ -rész távozik el a magból. Wefelmeyer megmutatta, hogy azok az elemek, melyek alkotórészei egész számú  $\alpha$ -részekbe rendezhetők, nagyobb tömeghiánnyal, azaz nagyobb stabilitással rendelkeznek, mint a periódusos rendszerben mellettük lévő elemek. Ugyancsak nagyobb ez elemek gyakorisága a természetben. Az  $\alpha$ -részeket gömböknek képzelve, annál stabilabb egy elem, minél több érintkezési pont van a gömbök között a legszorosabb elrendezésben. Két gömb csak egy pontban érinti egymást, ezért nem stabilis a berillium nyolc atomsúlyú izotópja; három gömb érintési pontjainak száma három, négyé hat, ezért nagy stabilitásúak a szén-, és oxigénmag stb. Ez a magmodell az alkotórészeknek állandó geometriai

elrendezést ad a magon belül, eszerint tehát a mag inkább a szilárd testek kristálystruktúrájához állana közelebb, mint a cseppmodellhez.

Valószínűbb, hogy a magalkatrészek elhelyezését nem geometriai, hanem energetikai szempontok szabják meg, úgy mint az elektronokét a perifériában. Vannak indokok, melyek kettős héjak elgondolására készítettek. Az alkatrészek helye a magon belül nem állandó.

A magreakciók megértéséhez fontos lépés Bohr elmélete. Szerinte a kívülről nagy energiával érkező, reakciót létesítő részecske energiája igen gyorsan szétoszlik ütközések folytán a magalkatrészek között. A mag tehát mintegy „fölmelegszik“. Az alkatrészek állandó mozgása és ütközése folytán előállhat a valószínűség szabályai szerint egy olyan helyzet, midőn az energia ismét egy alkatrészben halmozódik, minek következtében ez az alkatrész eltávozik a magból. A reakció tehát egy közbenső magon keresztül megy végbe s nem egyszerűen úgy, hogy az érkező „kilő“ egyet a magalkatrészek közül. Fontos kísérleti támpontok vannak ez elgondolásra s hasznosnak bizonyult e felfogás az uránhasadás elméletében. Megjósolta, hogy a lassú neutronok által okozott uránhasadás nem a gyakori 238-as atomsúlyú uránon, hanem annak ritkábban előforduló 235-ös atomsúlyú izotópján megy végbe. A kísérletek később igazolták e jóslást.

Kitűzött kérdésünkre tehát: elegendő-e a kvantumelmélet a magerők és a magfelépítés leírására? nem adhattunk végleges választ. Lehet, hogy csupán az eddigiek kimélyítésére, a részletek behatóbb tárgyalására, leleményes, de talán nem forradalmian új elgondolásokra lesz szükség. Egyet azonban meggyőződéssel állíthatunk: ha helyzetünk a kvantumelmélet előtti időkhöz hasonló, ha az emberi elme az előtt a feladat előtt áll, hogy egy új természeti állandó szerepét kell felismernie, vagy ha a gondolkozásnak merőben új területére kell lépnie, ezt a lépést ugyanúgy meg fogja tudni tenni, mint ahogy meg tudta tenni a kvantumelmélet esetében.

BAY ZOLTÁN