

AZ ATOMBONTÁS PROBLÉMÁJÁRÓL

A FIZIKA ama nagy felfedezései és átfogó gondolatai között, melyek az anyagi világra vonatkozó felfogásunkat az utóbbi évtizedekben oly mélyrehatóan átalakították, az atomok felbontására vonatkozó kísérletek méltán keltették fel szélesebb körök érdeklődését. A művelt laikus közönség szempontjából e kérdésnek még az a nagy előnye is megvan, hogy behatóbb szakismeret nélkül tájékozódhat e kérdés főbb vonatkozásairól, ellentétben olyan újabb fizikai elméletekkel, mint a relativitás elméletével és a kvantummechanikával, melyek az elvont gondolkodásban nagyfokú jártasságot igényelnek és melyekre vonatkozó népszerűsítő irodalom ezért nagyrészt igazi belátáshoz nem vezetett, sőt legtöbbször félrevezető volt. Mert a népszerűsítő irodalom csak akkor bír művelő hatással, ha igazi ismeretet közvetít, ha legalább egynémely alapvető gondolat igazi megértéséhez, az állítások tapasztalati alapjainak felmutatásához vezet.

A napjainkban terjeszkedő népszerűsítő irodalom egy része rendkívül sok kárt okozott. Nagy elméletekből kiragadott egyes állításokat, melyek jelszószerű beállításra alkalmasak voltak és ezeket a köztudatba dobta. Így hallottuk, hogy a relativitás elmélete „összezúzta“ a Newton-féle fizikát, hogy a kvantummechanika „megdöntötte“ a kauzalitás elvét, hogy az elektrónról kiderült, hogy az nem anyag, hanem „hullámtorlódás“, vagy leírják azt, hogy a Bohr-féle atómelmélet szerint az elektrónok hogy mozognak az atomban, anélkül, hogy kifejtenék, hogy ez az elgondolás mire való. Ez az ismeretetés éppolyan, mint ha egy mélyértelmű, de nehezen hozzáférhető műről, mint például a Divina Commediáról úgy akarna fogalmat adni valaki, hogy elmondaná, mi Dante szerint a pokol topográfiája. Ez a fajta irodalom nagy mértékben hozzájárult áhhoz, hogy az emberek tényeken és szigorú elgondolásokon alapuló tudományos eredmények és egész más jellegű divatos irányzatok közt különbséget tenni nem tudnak, hogy ma okkultizmus, jövendőmondás, asztrológia és hasonlók sokak szemében a természettudományok diszciplínáival egyenlő jellegű és értékű jelenségek. Természetesen egy konkrét tényekre és valóságos elgondolásokra támaszkodó népszerűsítés mindig több fáradságot tételez fel az olvasótól, mint az, mely meg nem indokolt kész eredmények és általános elvek jelszószerű beállítására szorítkozik.

1. KÉMIAI ALAPFOGALMAK. Hogy az atómbontás kérdésébe behatolhassunk, szükséges lesz a kémia néhány alapfogalmának emlékeztetőbe idézése és azoknak újabb szempontok figyelembevételével való kiegészítése.

A tudományos kémia alapját képezi ama felismerés, hogy a rendkívül nagy számú anyagot aránylag kis számú anyagra bonthatjuk fel, melyeket a legutóbbi időig semmiféle kémiai és fizikai eljárással nem sikerült tovább felbontani. Ezeket az anyagokat nevezzük kémiai elemeknek, számuk körülbelül 90.

A többi anyag közül a vegyületek olyan jól definiált anyagok, melyekben az elemek mindig meghatározott tömegarányokban fordulnak elő és melyek élesen megkülönböztetendők az elemek egyszerű keverékeitől.

A testek számos fizikai és kémiai sajátosságáról számot tudunk adni, ha feltesszük, hogy az elemek egyenlő, meghatározott tömegű részekből, atomokból vannak felépítve, mely részek bizonyos önállósággal bírnak, például gázokban egyedül vagy molekulákká csoportosulva szabadon mozoghatnak. A legkönnyebb atom a hidrogénatom, ebből egy gramm hidrogénre $6 \cdot 10^{23}$ atom esik, ez egy oly szám, melyet a hatos után 23 nullával kell írni. Az atomok jellemzésére közönségesen nem azok abszolút tömegét, hanem az úgynevezett atómsúlyt adjuk meg. Az atómsúly az atomok viszonylagos tömege az oxigénatom tömegéhez képest, melyet 16-nak választunk. Ekkor a hidrogén atómsúlya valamivel több mint az egység, a héliumé szintén kissé több mint négy, a legnehezebb atom, az uránatom atómsúlya 238.

A vegyületeket úgy gondoljuk el, hogy az elemek atomjai egy szorosabb csoportosulást, molekulát képeznek. Ebből következik, hogy a vevőietekben az elemek mindig atómsúlyaik egész számú sokszorosai arányában fordulnak elő. Így pl. két atom hidrogén egy atom oxigénnel vizet képez, melynek kémiai képlete H_2O vagy egy atom hidrogén egy atom chlorral sósavat képez, melynek kémiai képlete HCl Magánál a hidrogéngáznál is meg kell különböztetni a molekulát az atomtól, mert a molekula két atomból áll.

A következő alapvető fontosságú lépés az elektron felfedezése volt. Kiderült, hogy a legkülönbözőbb anyagokból oly sugarak válthatók ki, melyek azonos minőségű, meghatározott negatív töltéssel és meghatározott tömeggel bíró részekből állanak. Az elektron tömege (m) és töltése (e) alapvető természeti állandók, melyek értéke pontosan meg van határozva, így az elektron tömege a legkönnyebb atom, a hidrogénatom tömegének csak $\frac{1}{1845}$ -öd része. Mivel minden anyagból választhatunk le elektronokat, kell hogy minden atomhoz tartozzanak elektronok. A további kutatások, melyeknek csupán eredményét közlöm, az atom következő képéhez vezettek:

Az atom áll egy igen kis méretű magból, melyben az atom túlnyomó tömege egyesítve van és amely pozitív töltéssel bír. Ezen mag körül keringenek az elektronok. Neutrális atomban annyi elektron van, ahány pozitív töltés egységgel bír a mag, e töltések száma az atom rendszáma, az atom egyik fő jellemző adata, mely első sorban mérvadó az atom fizikai és kémiai viselkedésére. A rendszám

hydrogénnél egy, héliumnál kettő, lithiumnál három, szénnél hat, uránnál 92. Az atómsúly független a rendszámától és alig bír befolyással az elem viselkedésére. Így vannak különböző atómsúlyú, de megegyező rendszámú atomok, úgynevezett izotóp elemek, melyek sajátosságai olyannyira megegyeznek, hogy felismerésük és egyes esetekben való szétválasztásuk csak legújabb időben sikerült. Így van egy és kettő atómsúlyú hidrogén H^1 és H^2 , hat és hét atómsúlyú lithium Li^6 és Li^7 , hol az index nem az atomok számát, hanem az atómsúlyt jelenti.

Ha az atom egy vagy több elektront veszít, úgy egy vagy többszörösen töltött atommá, pozitív ionná válik, ha elektront vesz fel, negatív ionná lesz. Az atom általában könnyen veszít és könnyen pótolhatja az elvesztett elektront. Azonkívül az atom elektronrendszere különböző, ú. n. gerjesztett állapotokba is juthat.

Ezeken alapul az atom fénykibocsátása és a spektrumok egész elmélete, mely a mai fizikának egyik legjobban kidolgozott fejezete, de ezekkel nem foglalkozhatunk. Az atom ezen módosulásait, az ionizációt és gerjesztést, nem vonjuk be az „atómátalakulás“ fogalmába, mert ezek múltó változások, melyek az atommagot és annak fő jellemző adatait, a rendszámot és atómsúlyt nem érintik.

Nevezetes tapasztalat, hogy a „tisztá“ elemek atómsúlyai igen nagy megközelítéssel a hidrogén atómsúlyának egész számú sokszorosai. (Tiszta elemnek nevezzük az izotópok elkülönítésével nyert elemeket.) Egy kis eltérés, az ú. n. „tömeghiány“ megmarad ugyan, ennek értelmezéséről később lesz szó. Ez a tény támogatja azt a már régen Prouttól felállított feltevést, hogy az összes atomok hidrogénatomokból vannak felépítve, vagy amint újabb ismereteink alapján mondhatjuk, minden atom magja hidrogénmagból, a pozitív töltésű protonokból és elektronokból áll. Ha ezen feltevés helyes, úgy nincs kizárva, hogy sikerülni fog az atomot elemi részekre felbontani. De ez a szokásos kémiai és fizikai módszerekkel, mint kémiai reagensekkel, hevítéssel, elektromos árammal stb. nem sikerült, ami azt mutatja, hogy az atommag részei sokkal szorosabb kapcsolatban állanak egymással, mint az egyes atomok a molekulában, úgyhogy az atom felbontását csak oly eljárásoktól várhatjuk, melyek egész más nagyságrendű energiát koncentrálnak egy atomra, mint az előbb említett behatások.

2. A RADIOAKTIVITÁS. Még mielőtt ilyen kísérleteket sikerrel végezhetek volna, egy felfedezés a természetben emberi beavatkozás nélkül végbemenő atómtalakulásokra mutatott rá, amely jelenség beható tanulmányozása nemcsak mély betekintést engedett az atom természetébe, hanem a mesterséges atómbontáshoz is elvezetett. Ez a jelenség a radioaktivitás jelensége. A jelenség lényege az, hogy bizonyos elemek, mint urán, thorium, rádium és mások különféle sugárzások kibocsátásával más kémiai elemmé alakulnak át. Így az urán több közbenső fok után rádiummá, a rádium rádiumemanációvá és végre ólommal alakul. Az átalakulás minden radioaktív elemre jellemző sebességgel történik, amelynek mértékétől szolgálhat az az

idő, mialatt az illető elem meghatározott tömegének fele átalakul, az ú. n. félidő. A félidő uránnál körülbelül 5 milliárd év, rádiumnál 1590 év, rádiumemanációnál 4 nap, rádium C-nél 1 milliomod másodperc. A folyamatot semmiféle fizikai vagy kémiai behatással gyorsítani vagy lassítani nem sikerült és ellentétben a kémiai bomlásokkal, melyek sebességére a hőmérséklet mindig hatással van. Még másvalami mutatja, hogy itt nem közönséges kémiai átalakulás megy végbe: ez az átalakulásnál fejlődő hő, mely mintegy milliószor nagyobb, mint pl. oxidációnál fellépő égési hő.

A radioaktív átalakulásoknál bizonyos sugárzások lépnek fel, melyek a fotográfiai lemezre hatást gyakorolnak és alkalmat adtak a radioaktivitás jelensége felfedezésére. Megkülönböztetünk háromféle sugárzást, úgymint α , β és γ sugárzást. Az α sugarak nagy sebességgel mozgó héliummagok, melyek két elemi pozitív töltéssel bírnak. Ezért radioaktív átalakulásnál mindig héliumgáz is fejlődik. A β sugarak nagy sebességű elektronokból állanak, ezek mindegyike egy elemi negatív töltéssel bír. A γ sugarak nem állanak töltött részekből és ezért elektromos és mágneses erővel nem is téríthetők el, hanem elektromágneses hullámok, mint a fény és a röntgensugarak, csak hullámhosszuk rövidebb.

A radioaktív átalakulásoknál egy atom felrobban, úgyhogy az atom magjából egy α vagy egy β részecske kirepül és ezáltal egy más atom jön létre. Ha egy α részt lőtt ki, ezáltal az atómmag töltése két egységgel csökken, éppígy kétfővel csökken a rendszám is, ami nem más, mint a mag elemi töltéseinek száma. Az atómsúly négyvel csökken, mivel egy α rész atómsúlya négy. Egy oly átalakulásnál, melynél egy elektront lövel ki a mag, a mag egy negatív elemi töltést veszít, ami ugyanaz, mintha egy pozitív töltést nyert volna, a rendszám egy egységgel növekszik. Mivel az elektron tömege igen kicsiny, az atómsúly ezáltal érzéketlenül nem változik. Mivel egy atom fizikai és kémiai sajátosságait elsősorban a rendszám határozza meg, ennek meg fog felelni a keletkező elem jellege.

Több esetben a keletkező új elem is radioaktív és újra tovább bomlik, úgyhogy az egymást követő átalakulási termékeket egy „családfába“ foglalhatjuk össze. Minden átalakulásra jellemző, hogy milyen sugárzás kibocsátásával történik és mennyi az az idő, mialatt az illető elem bizonyos mennyiségének fele átalakul, az ú. n. félidő.

Ilyen hosszabb átalakulási sorok azok, amelyek az urán, actinium és a thoriumból indulnak ki. A függelékben feltüntetjük táblázatosán az uráncsaládot, hogy a fennforgó viszonyokról konkrét képét nyújtsunk. Ezekon kívül tudjuk, hogy vannak még egyes radioaktív elemek, mint a kálium és a rubidium (β -átalakulások) és a samárium (α -átalakulás). Az utóbbi radioaktivitását hazánkfia Hevesy György fedezte fel.

A radioaktivitás felfedezése megdöntötte az atom abszolút változhatatlanságának dogmáját, de természetesen semmiképp sem tette feleslegessé az atom fogalmát. Az atom jóval szilárdabb, állandóbb képződmény, mint a molekula és kémiai átalakulásokban változatlan, habár végső felbonthatatlan egységnek nem tekinthető.

A radioaktivitás jelensége ezenkívül oly fontos belátásokra vezetett az atom általános megismerésére vonatkozólag, hogy még kissé foglalkoznunk kell vele.

Maga a radioaktív bomlás alaptörvénye a törvényszerűség oly típusát képviseli, amely itt a legegyszerűbb alakban lép fel és egész újabb fizikai felfogásunkra alapvető. A radioaktív bomlás úgy történik, hogy az időegységben a meglévő atomok egy bizonyos hányada felbomlik egy α vagy β rész kilökésével, míg a többi változatlan marad. A következő időben lassanként ezek is felbomlanak. Az egyes atomok közt különbséget nem tudunk tenni és nem is tudjuk megmondani, hogy közülük melyik fog felrobbanni, csak azt, hogy a sok közül milyen hányad bomlik fel. Éppígy nem tudjuk megmondani, hogy egy meghatározott atom mikor fog felrobbanni, csak azt tudjuk, ha sok atom van, akkor ezek egy bizonyos hányada, például fele, mennyi idő alatt bomlik fel. A radioaktív bomlást oly törvény szabályozza, melyet egy atomra ki sem tudunk mondani, hanem csak azok sokaságára. Ez egy tipikus statisztikai törvény, mely nem redukálható más elemi törvényre. Az újabb fizikai felfogás szerint ilyen más törvényekre nem redukálható statisztikai törvények uralják az elemi fizikai folyamatokat és ezek a tulajdonképpeni alaptörvények. Ennek a legmesszebbmenő következményei vannak egész fizikai világfelfogásunkra vonatkozólag, így a kauzalitás felfogására is, de ennek taglásába nem bocsátkozhatunk.

A radioaktív sugárzások tanulmányozása más fontos belátásokhoz is vezetett. Így lehetővé tette a hélium tömegegységben meglévő atomok számának közvetlen, minden hipotézistől független meghatározását. Ugyanis lehetséges egy radioaktív anyagból kilépő α részek megszámlálása. Mivel ezenkívül ismerjük a belőle fejlődő hélium mennyiségét, az atomok száma közvetlenül adódik. Erre $1,5 \cdot 10^{23}$ -t kapunk. Ez egy oly szám, melyet 23 nullával kell írunk és nagyságáról fogalmat ad az, hogy ha másodpercenként egy atomot számlálnánk, ötezer billió évig tartana a számlálás, ez pedig két és fél milliószor akkora idő, mint ameddig a geológiai korszakok az élet kezdete óta tartottak (ezek tartama körülbelül 2 milliárd év).

Ugyancsak az a részek szóródásának vizsgálata, melyet azok vékony lemezekben való áthaladáskor szenvednek, vezette Lord Rutherfordot az atommag felfedezésére.

És végre az a sugarak segélyével sikerült ugyancsak Lord Rutherfordnak 1919-ben az első mesterséges atómbontás. Az a sugarak igen nagy sebességgel mozgó részek, így a rádium C α sugarai sebessége eléri a 20.000 kilométer sebességet másodpercenként, ami érthetővé teszi nagy hatásukat.

3. MESTERSÉGES ATÓMBONTÁS. Rutherford vékony alumíniumlemezt tett ki α sugarak hatásának és azt találta, hogy ebből új sugarak indulnak ki, melyek a levegőben sokkal nagyobb távolságra jutnak el, mint az a részek. Tüzetes vizsgálat kiderítette, hogy ezek a részek hidrogén-magok azaz protonok. Más anyagokra is kiterjesztette vizsgálatait és sikerült a könnyű atomokból, mint bór, nitrogén,

fluor, nátrium és foszforból protonokat kiváltania. Ezt úgy kell értelmezni, hogy a héliummag (az a rész) behatol az atom magjába, egyesül vele és kidob egy protont. Így ha nitrogént bombázunk a résszel, a 17 atómsúlyú oxigénizotop keletkezik.¹

Később (1932) J. Curie és Joliot azt találták, hogy berylliumból a sugarak hatására egy igen nagy áthatoló képességű sugárzás indul ki, melyet elektromos térrel nem lehet eltéríteni. Chadwick tisztázta e sugarak természetét és kimutatta, hogy ez elektromos töltéssel nem bíró, hidrogénatom tömegű részekből áll, melyeket neutronoknak nevezett el. Hogy ez egy újfajta elemi rész-e vagy a hidrogénatom olyan módosulata, melyben a proton és elektron igen szoros kapcsolatban van, nem tudjuk eddig. A neutron kiváltásánál berylliumból szén keletkezik, úgy hogy a beryllium-maggal egyesül az a-rész és kirepül egy neutron.

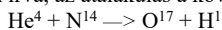
A neutronokat is felhasználhatjuk atómbontásra. Például neutronokkal bombázva nitrogént, bort és héliumot kapunk.

Újabban ritkított gázokban sikerült egyes atommagokat elektromos erők felhasználásával annyira gyorsítani, hogy az így nyert gyorsan mozgó részeket is fel lehetett használni atómbontásokra. Az ily részek előállítására szolgáló, leleményes és néha igen költséges berendezést igénylő eljárásokat nem ismertetem, csak azt említem, hogy a törekvés nagysebességű és így nagyenergiájú és amellet sok részt tartalmazó ily sugarak előállítására irányul és e módszer technikájának fejlődésétől várják az atómbontás lehetőségeinek kiterjesztését.

Az atómbontás finomabb vizsgálatára nagy jelentőséggel bír C. T. R. Wilson módszere, mely lehetővé teszi egyes korpuszkulák, elektronok és ionok pályáinak közvetlen észlelését. Ugyanis vízgőzzel alkalmas módon túltelített levegőben a vízgőz e részek pályája mentén cseppek alakjában kiválik és így a pályát láthatóvá teszi, melyet le is fotografálhatunk. Ez a felfedezés óriási jelentőséggel bírt és valóságos mikroszkópot szolgáltatott atomi jelenségek tanulmányozására. A különböző részek pályái egész jellegzetesek. A könnyű elektronok pályái egyes pontokból vannak összetéve és sokszor görbülnek, mert minden atom, melynek közelébe jönnek, eltéríti őket útjokból. A protonok és az *a* részek pályái egyenesek, mivel ezek tömege sokkal nagyobb: az elektron tömegének 1850-ill. 7400-szorosa. Ezek csak akkor változtatják irányukat, ha egy atommal ütköznek, ekkor a pálya szögben megtörik. Ilyenkor a meglökött atom pályája is látható. Sztereoszkópos felvételeken a szögek ki is mérhetők. Sok esetben azt találjuk, hogy az ütközés megfelel a rugalmas ütközés törvényeinek (1.1,2,3. ábrát).

De vannak esetek, midőn valami egész mást látunk. Látjuk az *a* részt ütközés előtt, a meglökött atom pályáját és egy hosszú vékony pályát a lökés helyéből kiindulva, mint amilyen a protonokra jellemző. Ez egy atómbontás, melynél az *cc* rész az atommaggal egyesül és kidob

¹ Kémiai egyenletben írva, az átalakulás a következő:



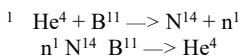
az indexek a kémiai jelek mellett az atómsúlyokat jelzik és az egyenlet azt mondja, hogy egy 4 atómsúlyú héliumatom (*α*-rész) egyesül egy 14 atómsúlyú nitrogénatommal, úgy keletkezik 17 atómsúlyú oxigén és egy atómsúlyú hidrogén.

abból egy protont (1.4. ábrát). Ez egy aránylag ritka jelenség, mert csak akkor jön létre, ha az a rész éppen beletalál az atommagba. Így Blackett, ki nitrogénben először észlelte ezt, egy millió a pálya fotográfiája közt csak hét atómbontást talált, Cockcroft és Walton 1 milliárd protonnal csak egy lithiumatómat bontottak fel! Tehát az atómbontás eddig igen rossz hatásfokkal dolgozik és ha nem sikerül kiadósabb módszereket találni, alig remélhető, hogy az atómbontás gyakorlati alkalmazást talál. Az ismertetett eljárásokkal számos atómbontást sikerült eszközölni, de csak a kis atómsúlyú elemeknek. Így lithium, beryllium, bór, nitrogén, fluor, neon, nátrium, magnézium, alumínium, foszfor, kén, klór, kálium-nál. Nagy atómsúlyú elemek felbontása csak a legutóbb sikerült neutronok segítségével. Érdekes, hogy van átalakulás, mely ellenkező irányban is végbemegy. Így bór a részekkel bombázva nitrogént és neutronot ad, míg a nitrogén neutronnal bombázva, bort és héliumot ad.¹

Az atómbontások rendkívüli elvi fontosságú belátásokhoz vezettek.

Így azt tapasztalták, hogy atómbontásoknál, például, ha lithiumot protonokkal bombázunk, midőn egy atom lithiumból és egy protonból azaz hidrogénmagból két atom hélium keletkezik, a keletkező két héliumatóm tömege valamivel kisebb, mint a proton és lithiumatóm tömegének összege, melyekből keletkeztek, úgy, hogy ezen atom átalakulásnál tömegvesztés állott elő. Evvel szemben a keletkező héliumatómok nagy sebességgel, azaz nagy energiával bírnak, úgy hogy úgy látszik, mintha az elveszett tömeg energiává alakult volna át. Régebbi felfogás szerint a tömeg és az energia oly távolálló dolgok, hogy tömegnek energiává való átalakulása egészen lehetetlennek látszott. De már Einstein a relativitás elmélete alapján arra a megállapításra jutott, hogy minden energiának meghatározott tömeget kell tulajdonítani, és viszont minden tömegnek meghatározott energia felel meg.² Einstein tétele alapján a tömegvesztésből a keletkező héliumatómok energiája és az evvel összefüggő sebesség nagysága ki is számítható és nagysága a tapasztalt sebességgel megegyezésben is van.

Az Einstein-féle tétel magyarázatát adja annak, hogy az atómsúlyok a hidrogén atómsúlyának egész számú többszörösétől némileg eltérnek, így a héliumatóm tömege valamivel kisebb, mint négy hidrogénatóm tömege, tehát ha a héliumatóm négy hidrogénatómból épül fel, ekkor szintén tömegvesztés áll be. Ezt úgy értelmezhetjük, hogy a hélium keletkezésekor hidrogénből nagy energia szabadult fel és távozott el, melynek megfelelő tömeg a tömegvesztés. Ez az



² Einstein tétele kvantitatív alakban úgy fejezhető ki, hogy ε energiához tartozó m tömeget megkapjuk, ha az energiát elosztjuk a fénysebesség négyzetével, míg viszont a tömeghez tartozó energia a tömegnek a fénysebesség négyzetével való szorzata. Formulában, ha c a fénysebesség:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2}$$

és

$$\varepsilon = mc^2$$

Mivel c^2 igen nagy szám, az ε energiához tartozó tömeg m igen kicsiny, azért

energia igen jelentékeny, egy kiló hélium keletkezésekor hidrogénből annyi energia szabadulna fel, mellyel egy 1000 lóerős gépet három évig járathatnánk. Természetesen, ha a héliumot akamók felbontani hidrogénné, akkor ugyanannyi energiát kellene bevinni a héliumba és mivel ez az energia oly nagy, érthető, hogy a héliumatóm felbontása eddig nem sikerült.

Felmerülhet már most az a kérdés is, hogyha tömeg és energia egymással átalakulhatnak, nem lehetséges-e, hogy egy atom vagy elektron egész tömege átalakulhat valami másfajta energiává, például sugárzássá, vagy pedig nem keletkezhethet-e sugárzásból anyag, például elektron? A csillagászok már rég gondoltak ilyenre, hogy a nap és más csillagok sugárzása folytán előálló energiavesztésnek a geológiai korszakok tartamán át való pótlását magyarázzák.¹ Hogy ilyen talán valóban lehetséges, arra utal az utolsó két év nagy felfedezése: a pozitív elektron vagy pozitron felfedezése.

1932-ben Anderson a világtérből a földre érkező ú. n. kozmikus sugárzást vizsgálta Wilson előbb ismertetett módszerével. Olyan pályákat talált, melyek teljesen megfelelnek nagy sebességgel mozgó elektronok pályáinak avval a különbséggel, hogy mágneses térben ellenkező irányban görbülnek, mint az elektronok pályái, tehát nyilván nem negatív töltéssel, mint az elektronok, hanem pozitív töltéssel bírtak. Ugyanezen évben Blackett és Occhialini és azóta sokan észlelték a pozitronokat és sajátásaik rendszeres tanulmányozása megindult. Az eddigi tapasztalatok szerint tömegük megegyezik az elektronok tömegével, töltésük is, csak ellenkező előjelű. Igen fontos tapasztalat, hogyha γ sugár nehéz atomba ütközik, abból egyszerre egy pontból kiindul egy elektron és egy pozitron, (lásd 5. ábrát) Ugy lát-szik ezek nem az atomból, hanem a sugárzásból keletkeznek, az atom csak mint kiváltó ok szerepel, úgy hogy ez a jelenség első példája volna anyag keletkezésének s u g á r z á s b ó l.

A jelenség pontosabb vizsgálata támogatja ezt a feltevést. Ugyanis mai felfogásunk szerint az energia hullámszerű sugárzásnál, mint fénynél és γ sugárzásnál is, egyes kis részekben, f o t o η o k-ban van koncentrálna. Ha ismeretes a hullámhossz, úgy a foton energiája is megadható, egy γ sugárzásnál is. Másrészt a keletkező elektron és pozitron energiája lemérhető a pálya hosszából. Azt találták, hogy az elektron és pozitron energiáinak összege éppen avval az energiával kisebb a foton energiájánál, mint amekkora energiára van szükség Einstein tétele szerint a két m tömegű rész, az elektron és pozitron létesítésére.²

Az ellenkező folyamatra, sugárzás keletkezésére anyag megsemmisítésével nincs közvetlen tapasztalat, de főképp csillagászati tapasztalatok alapján nem látszik kizártnak. Ezek a vizsgálatok újak és természetesen nem vezethettek a kérdések teljes tisztázására, amire sok kísérleti és elméleti vizsgálatra lesz még szükség.

¹ Lásd Jeans-nek a Természettudományi Társulat kiadásában nemrég magyarul is megjelent igen tanulságos könyvét.

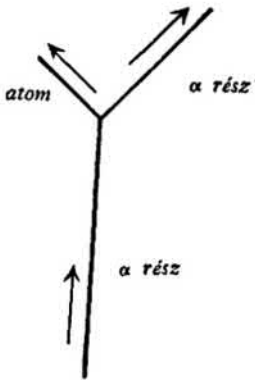
² Ez az energia, mint előbb láttuk, $2mc^2$, hol m az elektron, illetőleg a pozitron tömege, c a fény sebessége.



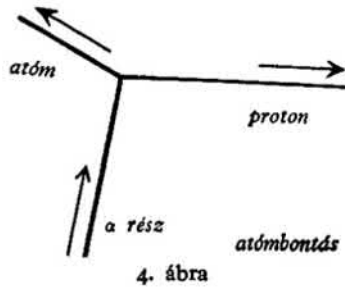
β sugarak
1. ábra



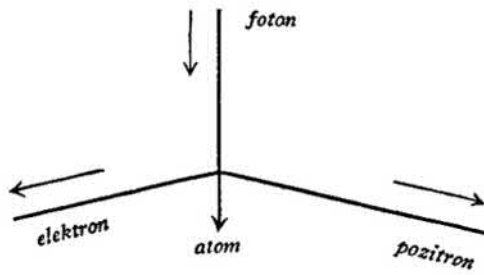
α sugarak
2. ábra



rugalmas ütközés
3. ábra



4. ábra



5. ábra

Jelentőségük már ma nyilvánvaló. Nemcsak minden kozmogoniai elméletnek, mely az anyagi világ keletkezésének és elmúlásának ill. átalakulásának kérdésével foglalkozik, kell velük számolnia, hanem minden az anyagra vonatkozó elméletnek is. Így, ha azt vizsgáljuk, hogy mik az anyag végső elemei, úgy ezidőszerű tudásunk szerint az elektron és protonon kívül a neutron és pozitron jön tekintetbe. Lehetséges, hogy ezek nem végső elemek, így lehetséges, hogy a neutron elektron és protonból van felépítve, de az sincs kizárva, hogy a neutron elemi rész és a proton egy neutron és pozitron egyesülése. Dirac igen mélyreható értelmezését adta a pozitronnak, melynek létezését már évekkel ezelőtt előre megjósolta. De függetlenül attól, hogy lehet-e részeket elemibb részekre visszavezetni, fundamentális jelentőségükből alig fognak veszíteni, úgy amint az atom fogalma sem veszített az elektron felfedezésével.

4. MESTERSÉGES RADIOAKTIVITÁS. Ezen év elején Curie és Joliot ismét nagy felfedezéssel gazdagították ismereteinket. Ők a részekkel bombáztak különböző elemeket, így bort és alumíniumot, midőn azokból neutronok és pozitronok léptek ki. Ezenkívül azonban azt a meglepő jelenséget is észlelték, hogyha az a sugárzást beszüntették, a pozitron sugárzás nem szűnt meg, hanem csökkenő intenzitással tovább folytatódott és alumíniumnál kb. 3 perc, bornál 14 perc alatt felére csökkent. Azóta kísérletüket mások is ismételték kisebb módosításokkal, amennyiben különböző anyagokat nemcsak a, hanem proton, illetőleg neutron sugárzásnak tettek ki. Így az elemek egész soránál találtak utólagos sugárzást, mely pozitronokból, egyes esetekben talán elektronokból állott és megállapították az illető elemre jellemző félidőt, mely alatt a sugárzás felére csökkent. Eddig vagy 25 elemnél találtak ily effektust. A félidő nátriumnál 7 másodperc, ezüstnél 2 perc, foszfornál 3 óra, vasnál 2 óra, arzénél 2 nap körül van.

A jelenség értelmezése az, hogy az illető elem atomja egyesül a beeső sugárban levő a résszel, protonnal vagy neutronnal, azt az atommagba felveszi és így egy új atom képződik. Ez az atom azonban nem stabilis, hanem úgy mint a radioaktív elemek atomjai sugárzás kibocsájtásával felbomlik. Így például az alumíniumatom felvesz egy a részt, egyúttal kilök egy neutront és ezáltal átalakul egy foszforatómmá, mely azonban instabilis és egy pozitron kilökésével szilíciumatómmá alakul. Hasonlóan más esetekben.

Az idetartozó jelenségek részletei még felderítésre várnak, de azt már most láthatjuk, hogy Curie és Joliot felfedezésével a kutatás számára új terület nyílt meg, melynek jelentősége, főképp az atommag szerkezetének felderítése céljából, szinte beláthatatlan.

5. AZ ATOMBONTÁS JELENTŐSÉGE. Megismerkedtünk az atombontásra vonatkozó több tényekkel és láttuk, hogy azok anyagra vonatkozó alapvető ismeretekhez vezettek. Ilyen, hogy az atomok átalakulhatnak. Ilyen az Einstein-féle tétel kísérleti igazolása. Ilyen az elemi részek felderítése.

Felmerül az a kérdés, hogy milyen irányban folynak a kutatások és mai belátásunk szerint mi az, amit várhatunk tőlük, ha megelégedésszerű és előre nem látható mozzanatoktól eltekintünk.

A vizsgálatok főcélja a fizikus szempontjából az atom szerkezetének és törvényeinek felderítése vagy pontosabban szólva, elsősorban az atommag tanulmányozása. Azon jelenségek törvényszerűségei, melyek a magot körülvevő elektronoktól függenek, igen jól ismertek, ellenben annál kevesebbet tudunk az atommagról. Az atommag fizikájának felderítése az a kérdés, mely ma előtérben áll és melyre az atómbontás és föllépő kísérőjelenségekből következtetéseket vonunk. Egyet-mást tudunk az atommagra vonatkozólag. Így valószínű, hogy a részek, héliummagvak praeformálva vannak a magban, mert radioaktív bomlásoknál nem neutronok és protonok, hanem α részek repülnek ki. Az is valószínű, hogy a γ sugárzás kibocsátása az α részek ugrásaival az atommagon belül függ össze. A kvantummechanika alapján értjük, hogy a rövid élettartamú radioaktív elemek lövelik ki a leggyorsabb α részecskéket. Tudjuk, hogy a magnak van mágneses és impulzus nyomatéka (spin), de ennek értelmezése nagy nehézségekhez vezet. Éppígy megoldatlan nehézségekhez vezet annak theoretikus értelmezése, hogy a β -átalakulásoknál a kilövelt elektronok nem bírnak egy meghatározott sebességgel. Azt sem tudjuk, hogy a mag protonokból és elektronokból, vagy protonokból és neutronokból van-e felépítve végeredményben.

Bár egyes dolgokat tudunk a magról, egy átfogó elmélettel, mely a mag jelenségeinek hasonló rendszeres tárgyalását tenné lehetővé, mint a külső elektronok rendszerének, ezidőszerint nem bírunk. Valószínűleg fizikai elméleteink nagy elmélyítésére lesz szükségünk, hogy egy ilyet fel tudjunk állítani.

Eltekintve ezen elvi kérdésektől, röviden megemlítjük, hogy az atómátalakulások a szabad természet számos jelenségére vetettek világot.

Így az a körülmény, hogy a radioaktív átalakulások függetlenek a külső viszonyoktól, tette lehetővé a geológiai korok idejének első megbízható megbecslését. Ugyanis uránércben lassankint ólom halmozódik fel, az urán és ólomtömeg aránya megadja az időt, mióta az érc lelőhelyén fekszik. Így az egyes korokra a következő időket kapták:

Jura-Trias	142	millió	év
Karbon	280	„	„
Kambrium	490	„	„
alsó Praekambrium	1180	„	„

Régebben nehézséget okozott, hogy míg a geológusok és paleontológusok a rétegek képződésére többszázmillió évet vettek fel, addig az a feltevés, hogy a föld egy egykor izzó, kihülés stádiumában levő gömb, sokkal rövidebb időhöz vezetett. A radioaktivitás felfedezése a kérdést a geológusok javára döntötte el.

Radioaktív anyagok a földkéregben kis mennyiségben mindenütt előfordulnak. De ha csak azokat a mennyiségeket vesszük is tekintetbe, melyeket észlelünk, ezek hatása a földkéreg vastag rétegében egyáltalában nem elhanyagolható. Jolly a vulkánosságot úgy értelmezi, hogy a radioaktív anyagok által fejlesztett hő a föld mélyében a kőzeteket megolvasztja.

Éppígy nagy nehézséghez vezetett a nap és állócsillagok sugárzás általi energiavesztése pótlásának kérdése. Ha csak a régebben ismert energiafajokat, mint a csillag hőenergiáját és gravitációs energiáját vesszük tekintetbe, szintén túl rövid időkre jutunk. A nappal 20 millió évre, az óriáscsillagoknál néha félmillió évre, tehát oly kis időre, amely kicsiny a geológiai korszakokhoz képest. Evvel szemben kétségtelen, hogy a nap sugárzása amaz idő alatt, mióta élet van a földön, jelentékenyen nem változhatott. Pontosabb meggondolás azt mutatja, hogy az energiasugárzás pótlására a radioaktív átalakulások által nyert hő sem elég, ezért a csillagászok más atombontások, ill. az anyagnak sugárzássá való átalakulásának feltevéséhez folyamodtak.

Éppígy lehetséges, hogy a nagy áthatoló képességű kozmikus sugárzás eredete is valamely atómátalakulási folyamattal függ össze.

És végre van-e praktikus jelentősége az atómbontásnak? Ha eltekintünk a radioaktív sugárzások alkalmazásától a gyógyászatban, úgy azt kell mondanunk, hogy egyelőre nincs. Oly kis mennyiségben tudunk atomokat felbontani, hogy ezek kimutatása csak a legfinomabb módszerekkel sikerül és soha egy mérhető mennyiséget, mondjuk egy ezredmilligrammot nem sikerült előállítani. De senki sem tudhatja, hogy ez egykor nem fog-e sikerülni, úgy amint senki sem sejtette akkor, midőn H. Hertz először állított elő elektromos hullámokat, melyek a szoba egyik végétől a másikig terjedtek, hogy ma jeleket adunk, melyek a földet háromszor futják körül. Vagy midőn Faraday az indukció jelenségét felfedezte és észrevette, hogy egy elektromos áram nyitásánál és zárásánál egy más áramkörbe kapcsolt galvanométer tűje kissé kitért, senki sem sejtette a mai elektrotechnikát. Így egyáltalában nincs kizárva, hogy módszereket fognak találni, melyek lehetővé teszik az atómátalakítások nagyüzemi keresztülvitelét. Talán sikerül valami módon ezeket a folyamatokat mintegy katalyzálni.¹

Láttuk, hogy atómátalakulásoknál igen nagy energiamennyiségek szerepelnek. Tehát céltalan volna oly atómátalakulás elvégzése, mely energiafogyasztással állítana elő valamely értékes anyagot, pl. aranyat.

Másrészt az energiatermelő folyamatoknál (pl. hélium képződése hidrogénből) óriási energiákat nyerhetnénk. Előbb láttuk, hogy 1 kg hélium képződésénél felszabaduló energia 1000 lóerős gépet 3 évig járathat, ami persze sokkal többet ér, mintha 1 kg aranyat állítanánk elő. Ha ezeket az átalakulásokat tényleg elő tudnánk állítani és uralkodni tudnánk a megindított folyamatok felett, úgy az kétségtelenül beláthatatlan következményekkel bírna és egész életünket átalakíthatná. Ez oly hatalom volna, mely sok jót és sok rosszat jelenthet aszerint, hogy az emberek mire használnák. Jelenthetne kultúrát pusztító rombolást és jelenthet nem is sejtett lehetőségeket. Jelenthet olyan robbantó szereket, melyekhez képest a mai robbantószerek ártalmatlan játékok, de jelentheti oly álmok megvalósulását is, mint a rakétarepülést és más égitestekre való eljutást.

¹ Katalyzátumok a kémiában oly anyagokat neveznek, melyek jelenléte lassan végbemenő kémiai folyamatokat meggyorsít.

Ezek azonban mind csak távoli és ködös lehetőségek. Egyelőre örüljünk, hogy megértük azt az időt, melyben az atom oly intim folyamataiba sikerült betekintést nyerni, mit még néhány évvel ezelőtt nem is remélhattünk volna.

Függelék

Az urán és átalakulási termékei, az úgynevezett »uráncsalád«.

Elem neve	Kémiai jel	Rendszám	Atómsúly	Félideő	Sugárzás	Az átalakulás menete
Uran I	U I	92	238	4,4 milliárd év	α	
Uran X_1	U X_1	90	234	24,4 nap	β, γ	
Uran X_2	U X_2	91	234	1,14 perc	β, γ	
Uran Z	U Z	91	234	6,7 óra	β	
Uran II	U II	92	234	300.000 év	α	
Jonium	Jo	90	230	83.000 év	α	
Rádium	Ra	88	226	1590 év	α, γ	
Radon (Rádiumemancipáció)	Rn	86	222	3,8 nap	α	
Rádium A	Ra A	84	218	30,5 perc	α	
Rádium B	Ra B	82	214	26,8 perc	β, γ	
Rádium C	Ra C	83	214	19,7 perc	α, β, γ	
Rádium C'	Ra C'	84	214	1 milliionod másodperc	α	
Rádium C''	Ra C''	81	210	1,32 perc	β, γ	
Rádium D	Ra D	82	210	22 év	β, γ	
Rádium E	Ra E	83	210	5 nap	β, γ	
Rádium F (Polonium)	Ra F	84	210	140 nap	α, γ	
Rádium G (Rádiumólom)	Ra G	82	206	stabilis, nem bomlik		

A táblázat a szövegben mondottak után további magyarázatot nem igényel. Csak azt emeljük ki, hogy kétszer elágazás fordul elő. Így az Uran X_1 részben Uran X_2 -vé, részben Uran Z-vé alakul, melyek aztán mindketten Uran II-vé alakulnak. A második elágazás a Rádium C-nél van. Ez részben β sugárzás kibocsátásával Rádium C'-vé, részben « sugárzással Rádium C''-vé alakul. A Rádium C' pedig α sugárzással Rádium D-vé, a Rádium C'' pedig β sugárzással ugyancsak Rádium D-vé alakul. Egészen hasonló az actinum- és a thoriumcsalád törzsfája.

ORTVAY RUDOLF