

358.334

150  
A T O M  
A T O M B O M B A  
A T O M E N E R G I A

Dr. VERMES MIKLÓS

FÖVÁROSI-KÖNYVKIADÓ



Országgyűlési Könyvtár

0113994

X

E 358334

~~4887~~

ATOM  
ATOMBOMBA  
ATOMENERGIA

Dr. VERMES MIKLÓS

FŐVÁROSI KÖNYVKIADÓ

*Copyright by Fővárosi Könyvkiadó Kft.*



Felelős kiadó: Róvó Aladár.

Fővárosi Nyomda Rt. — Felelős vezető: Duchon János.

## ELŐSZÓ.

*Az energia új forrása: az ATOM. Valószínűleg egész gazdasági életünk és magánéletünk varázsszava lesz rövid időn belül ez a rövid kis szavacska, amint ma ilyen varázsszó: az olaj.*

*Ebben a könyvben ismertetjük az atomelméletet, az atombombát és az új energiaforrás várható fejlődését. — Dr. Vermes Miklós úr érdemes munkáját, amelyben az adatok beszerzésénél segítségére volt Milkó Gyula úr, az olvasó fokozott figyelmébe ajánljuk.*

*Ez a könyv bevezetése egy könyvsorozatnak, amely a tudományos és szellemi élet aktuális problémáit öleli fel.*

A KIADÓ.



1945 augusztus 7-én az Északamerikai Egyesült Államok és Anglia vezető államférfiai rádiónyilatkozattal léptek a világ elé, az egész világ sajtója pedig továbbadta a nagy szenzációt:

## **AZ ATOMBOMBA megváltoztatja a világ képét**

*Washington, augusztus 6. (Reuter.) Truman elnök hétfőn közölte a nyilvánossággal, hogy 16 órával nyilatkozata előtt amerikai repülők a háború történelmében eddig soha nem alkalmazott erejű bombát szórtak a japán hadsereg hirosimai támaszpontjára. Az úgynevezett atombomba hatóereje*

Ritkán keltett még államférfiúi megnyilatkozás ilyen nagy tudományos visszhangot, ritkán fordult eddig a nagyközönség érdeklődése ennyire egy tudományos probléma felé és alig lepte még eddig jobban meg a haladás gyors ütemében legjobban bízó tudósokat is egy eredmény tényleges elérése, mint most. És méltán, mert olyan kérdés megoldása sikerült, mert olyan átalakulás küszöbéhez értünk, amilyenre nem sok példa volt a történelemben. A kovakővel szikrát csíholó ősember jelenik meg szemünk előtt, amint a frissen kipattanó szikrával új energiaforrásokat nyit meg, részben az emberi kényelem érdekében, de a felfedezett tűz veszedelmét

is felidézve. Az új fegyverrel elpusztítható az egész élő világ? Az új lehetőségek hihetetlen mértékben megkönnyítik majd az ember életét? Vagy az emberi természetben rejlő kettősség alapján mindkettőben részünk lesz? Ki tudná ezt most megmondani, vagy akár csak meg is jósolni? De mindezekon kívül természetes, hogy minden emberben feltör a kíváncsiság, a megismerés utáni vágy: Mi az atom? Mi az atomrombolás? Hogyan jelentkezik az atomenergia és miképen lehet befolyása emberi életünk kialakulására? Ezekre a kérdésekre akar feleletet adni ez a könyv.

## MI AZ ATOM?

Vegyünk kézbe egy aluminium egypengőst. Csillogó, ezüstös fényű szilárd fémdarabot tartunk kezünkben. Vajjon milyen ez az aluminium „belülről”? Vágjuk ketté, törjük szét, reszeljük porrá, mindig ugyanazt az ezüstös fémet látjuk és azt hihetjük, hogy az aluminiumnak nincs is „belseje”, anyaga a teret teljesen tömören, lézagtalanul tölti ki. A modern természettudomány érdekes felfedezése, hogy ez csak látszat, érzékeink csalódása. Ameddig szemünkkel, nagyítóinkkal behatolhatunk az anyagba, tényleg tömörnek, folytonosnak látszik, még a legerősebben nagyító mikroszkóppal nézve is. Azonban a vegyészek és fizikusok hitelt érdemlően megállapították, hogy az anyag, az aluminium igen apró, egymás között egyenlő, különálló részecskékből áll. Ezeknek az igen kicsiny részecskének atom a neve. Az aluminium valóságos szerkezetét úgy kell elképzelnünk, mintha igen sok igen apró golyó nagy tömegéből állana. Egyetlen aluminiumatom valóságos átmérője 0·000 000 28 milliméter. Ez rendkívül kicsiny méretet jelent, hiszen azt mondja, hogy 1 milliméter hosszú távolságon három és fél millió aluminiumatomot lehetne egymás mellett felsorakoztatni. Egyetlen aluminiumatom tényleges tömege 45 kvadrilliomod gramm, vagyis

0·000 000 000 000 000 000 000 045 gramm.



Igy aztán az egész, másfél grammos egypengősből harmincezertrillió (30 000 000 000 000 000 000) darab atom van. Ha az egypengőst atomjaiból akarnánk összerakni, és másodpercenként egy-egy atomot tennénk helyére, munkánk ezerbillió évig tartana. Ez igen nagy idő, tekintettel arra, hogy Földünk csillagászati kialakulása óta alighanem „csak“ kétezermillió év telt el. Így munkánkkal nem is lennénk készen, de az egész Föld kétezermilliónyi lakosságát rendelve ki közmunkára, az egypengős atomonkénti összerakása így is ötszázezer évig tartana. Ha az egypengős minden méretét százmilliószor megnagyítva képzeljük el, akkor 100 kilométer vastag, 2800 kilométer átmérőjű, Budapesttől tovább mint Lissabonig érő óriási korongot látnánk magunk előtt. Ez a korong azonban nem állana tömör anyagból, hanem körülbelül pingponglabda nagyságú golyókból, amelyek szabályosan, rétegenként egymás fölött fekszenek és alkotják a szilárd alumíniumfém kristályrácsát.

Amit az alumíniumról mondtunk, ugyanazt kell mondanunk a többi anyag atomjairól is. Minden kémiaiilag egyszerű anyag, tehát minden elem igen sok, igen apró részecskékből áll. A különböző elemek atomjai méretben és tömegben különböznek egymástól, de valamennyinek átmérője az egymilliomod milliméternél kisebb és egyiknek tömege sem éri el a 200 kvadrilliomod grammot. Az atomok nagyon kicsinyek a mi emberi, megszokott méreteinkhez képest.

## AZ ATOM SZERKEZETE.

A kutató emberi elme nem állt meg az atomnál, mint az anyag legkisebb építőkövének, hanem az atom belső szerkezetét is vizsgálat tárgyává tette. Két rész különböztethető meg minden atomban: a belsejében, középen levő *atommag* és az ezt körülvevő *elektronhéj*. Az atommagban található meg az atom majdnem teljes tömege, viszont az atommag mérete magához az egész

atomhoz viszonyítva is igen kicsiny. Az atommag átmérője néhány billiomod milliméter, tehát százezerszer kisebb, mint az egész atom. Az alumíniumatom 45 kvadrilliomod grammnyi tömegéből 44·987 kvadrilliomod gramm van az atommagban és csak 0·013 kvadrilliomod grammnyi az elektronhéjban. A tér az elektronhéjé, de a tömeg az atommagé. Ezért az egész atom



laza, üres gömbhöz hasonlít, ennek közepén ül az igen apró, rendkívül tömör, az anyag javarészt magában foglaló atommag. Ha az egész alumíniumatomot 100 méter sugarú, 45 kilogramm tömegű gömbnek képzeljük el, akkor ennek közepében 1 milliméteres sugarú, 44·987 kilogramm tömegű

golyócska jelentené az atommagot és az ezen kívül levő 100 méter sugarú, de csak 13 grammot nyomó óriási gömb az elektronhéjat. Tehát az atomok belsejének javarésze üresség. Ezért hasonlítják sokszor az atomot a Naprendszerhez, mert a világűr is nagyjában üres tér, amelyben a központi égitest jelenti a tömeg összehalmazódását. Ami a bolygók és az elektronhéj mozgását illeti, a hasonlat már nem érvényes, mert a bolygók egyszerű, jól meghatározható kör- és ellipszispályákon keringenek a Nap körül, míg az elektronhéjban végbemenő mozgások igen komplikáltak és nehezen foglalhatók törvénybe.

Mi alkotja az atommagot, mi alkotja az elektronhéjat? Mai felfogásunk szerint az anyagi világ legkisebb építőkövei a neutron, a proton, az elektron és ezekből épül fel az atom. Nehéz ezekről a részecskékről elképzelhető, fogható képet adni, hiszen már az atom is olyan kicsiny, hogy kívülesik emberi érzékelésünkön. Az elemi részecskék jellemzésére csak azt adhatjuk meg, hogy milyen adatokkal rendelkeznek, vagyis, hogy mijük van, de nem beszélhetünk arról, hogy milyen alakúak, milyen színűek, szépek-e vagy

csunyak. A fizikusnak úgy sincs másra szüksége, mint nyers, szigorú adatokra. Két dolgot kérdezhetünk ezektől az elemi alkatrészekről: mennyi a tömegük és mennyi az elektromos töltésük. A tömeget a jól ismert grammban, a töltést ennek fizikai egységében, a coulombban adjuk meg. (1 coulomb az az elektromos töltés, amely 100 wattos, 100 voltos izzólámpán 1 másodperc alatt folyik keresztül.) Tehát vegyük sorra az atomokat és ezeken keresztül az egész anyagi mindenséget felépítő három elemi részecskénket.

A neutronnak nincs elektromos töltése, a neutron egy darab semleges anyag, tömege 1.664 kvadrilliomod gramm, azaz 0.000 000 000 000 000000 000 001 664 gramm  
Jele későbbi rajzainkban:



A protonnak ugyanakkora tömege van, mint a neutronnak, vagyis 1.664 kvadrilliomod gramm, de 0.159 trilliomod coulombnyi, azaz

0.000 000 000 000 000 000 000 159 coulombnyi

pozitív töltése van. A proton pozitív töltéssel ellátott anyagi részecske, jele rajzainkban:



Az elektronnak 0.159 trilliomod coulombnyi negatív töltése van, de tömege a neutron, illetve proton tömegének csak 1840-ed része, vagyis 900 kvintilliomod gramm, azaz

0:000 000 000 000 000 000 000 000 900 gramm.

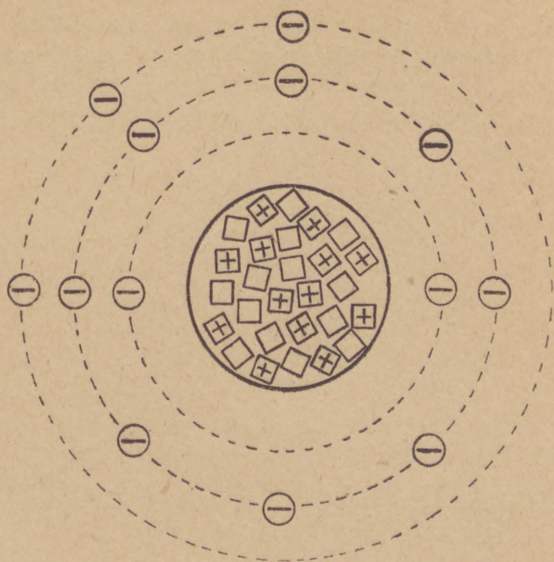
Elektronok szabadon is előfordulnak, például a rádiólámpa légüres terében és közvetítik az áram vezetését a légüres térbe benyúló egyik elektródról a másikra. Az elektronoknál a tömeg szerepe háttérbe szorul rend-

kívüli kicsinysege miatt, csak a negatív elektromos töltésük érdekel bennünket. Az elektron jele rajzainkban:

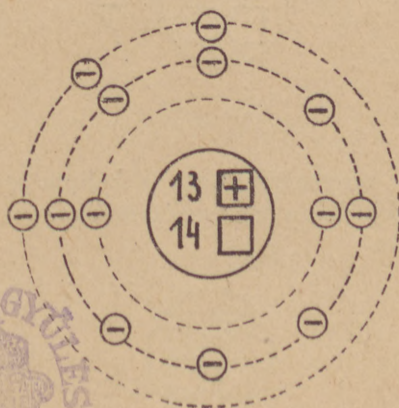


Íme az anyagi világ három építőköve. Különös szabályosság szerint váltakozik kétféle tömegadat és ugyanazon elektromos töltés kétféle előjellel. A fantáziát igazgató, de talán mégis messzemenő analógia, ha a méhek világára, a herékre, királynőre és dolgozókra gondolunk a neutron, proton, elektron nyomán és a kétneműség kezdeti csiráit már itt, az elemi alkatrészeknél keressük.

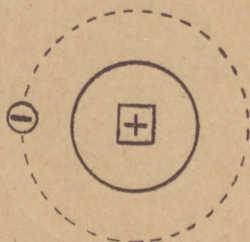
Térjünk vissza az egypengőshöz és az alumíniumatomhoz. Annyit már tudunk róla, hogy apró tömör atommagból és az ezt körülvevő elektronhéjból áll. A tudósok vizsgálatai szerint az alumínium atommagja 13 protonból és 14 neutronból áll. Ebből kiszámítható az atommag tömege és megtudható, hogy 13-szor 0.159 trilliomod coulombnyi pozitív elektromos töltése van. Az elektronhéjat 13 elektron alkotja, tehát az egész atom kifelé elektromosan semleges. Az elektronhéjat a pozitív töltésű atommag és a negatív töltésű elektronok közötti elektromos vonzóerő tartja hozzákapcsolva. Az elektronok az elektronhéjban lépcsőzetesen helyezkednek el, a legbelső gyűrűn 2 van, a következőn 8, az erre következőn 3. Rajzunk csak durván, vázlatosan idézi emlékezetünkbe az alumíniumatom felépítését, hiszen például a mag és a héj közötti százezerszeres arányt rajzban nem tüntethetjük fel.



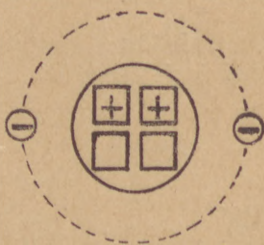
Egyszerűbb ábra kedvéért a protonok és neutronok számát számjegyekkel is jelölhetjük.



Eddig csak az alumíniumatomról beszéltünk, de meg kell ismernünk néhány más elem atomjának felépítését is. A legegyszerűbb a hidrogén atomja, atommagját egyetlen proton alkotja, elektronhéjában egyetlen elektron van:



A hélium atommagját 2 proton és 2 neutron alkotja, az elektronhéjban 2 elektron van:



Meg kell jegyeznünk, hogy a hélium atommagját, amely a továbbiakban még sokszor szerepel, *alfa-résznek* is nevezik:

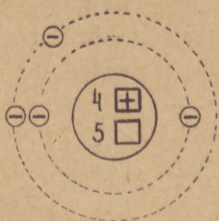


Az alfa-rész tömege 6·607 kvadrilliomod gramm.

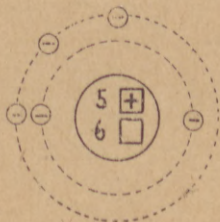
A litium atommagjában a protonok száma 3, a neutronoké 4. Az elektronhéj 3 elektronja közül csak 2 fér el a legbelső gyűrűn, a harmadik már kívülebb, a következő gyűrűre kerül:



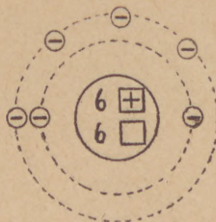
A berillium atommagjában 4 proton és 5 elektron van. Az elektronhéj 4 elektronja közül már 2 kerül a második gyűrűre:



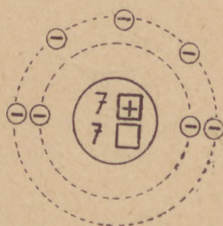
A bór atommagjában 5 proton és 6 neutron van:



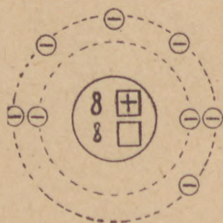
A szén atomjának képe 6 protonból és 6 neutronból álló maggal:



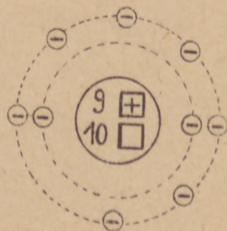
A nitrogénnél 7 proton és 7 neutron van az atommagban:



Az oxigénnél 8 próton és 8 neutron található:

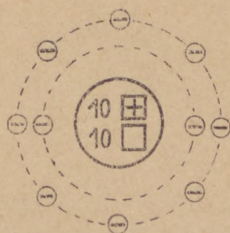


A fluor atommagjában 9 proton és 10 neutron van:

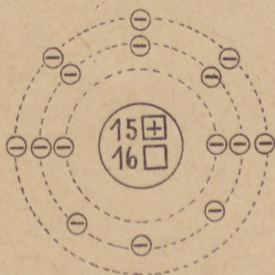




A neon atommagját 10 proton és 10 neutron alkotja, az elektronhéjban már a második gyűrű is megtelelik 8 elektronnal:

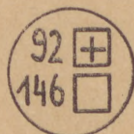


Nem részletezzük, az atomok sora ugyanígy megy tovább. 11 protonnal és 12 neutronnal nátriumot kapunk, a 11-edik elektron a héj harmadik gyűrűjét kezdi meg. 12 proton és 12 neutron van a magnézium atommagjában. A következő az alumínium, erről már szó volt, benne 13 proton és 14 neutron található. Ezután következik a szilícium 14 protonnal és 14 neutronnal. A foszfor atommagjában 15 proton és 16 neutron szerepel, elektronhéjában 15 elektron van ilyen elrendezésben:

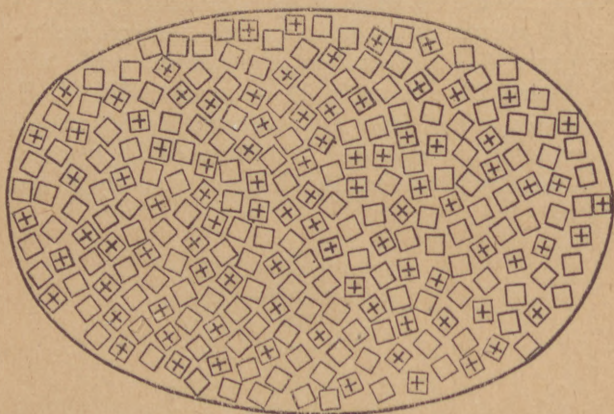


A nagyobb atomok közül megemlítjük például a stronciumot, melynek atommagját 38 proton és 50 neutron alkotja. A xenon atommagjában például 54 proton és 132 neutron szerepel. Az elektronhéj mindig több és több gyűrű rendszerére tagolódik.

A természetben előforduló elemek közül az urán atomja a legbonyolultabb összetételű, atommagját 92 elektron és 146 neutron alkotja:



A bonyolult elrendezésű elektronshéjat a rajzban elhagytuk. Inkább tekintsük meg még egyszer az urán atommagjának vázlatát, a protonokat és neutronokat egyenként felrajzolva:



Bizony, elég népes társaság van együtt az urán atommagjában.

Az atomok során végigtekintve feltűnik, hogy igen jellemző minden atomra a magban előforduló protonok száma már csak azért is, mert megadja az elektronshéj elektronjainak számát. A magban szereplő protonok számát *rendszám*nak nevezik. A hidrogén rendszáma 1.

az uráné 92, a többi elemé e két határ között fekszik.

Minthogy az elektron tömege csak 1840-ed része a proton vagy neutron tömegének, az egész atom tömegéről igen jól tájékoztat az atommag tömege. A hidrogénatom tömege a legkisebb. Egy másik atom annyiszorta nehezebb a hidrogén atomjánál, ahány proton és neutron fordul elő együttvéve atommagjában; például a héliumatom 4-szer nehezebb a hidrogénatomnál. Ezt a számot a fizikusok és kémikusok *atomsúly*nak nevezik. (Ilyen módon azonban csak az atomsúly közelítő értékét kapjuk meg.) Ezek alapján a szén atomsúlya 12-nek, az oxigéné 16-nak, az alumíniumé 27-nek, stb., az uráné 238-nak adódik.

Beszélnünk kell arról is, hogy milyenfajta erők tartják össze az atomot. A fizikában előforduló erők például a súly, a rugalmas erő, a surlódási erő, az elektromos erő, stb. A tárgyak súlya a tömegek kölcsönös vonzásából ered, ezen tömegvonzási erő törvényét Newton fedezte fel és ez az erő szabályozza az égitestek mozgását. Bár Newton törvénye szerint minden tömeg vonz minden tömeget és az erő a távolságuk felezésekor négyszeresre, harmadoláskor kilencszeresre, tehát igen rohamosan növekszik, a számítások könnyen megmutatják, hogy az atomok világában a tömegvonzási erőnek nincs szerepe. A rugalmas erő és a surlódási erő, amint az anyag szerkezetének áttekintésekor látni fogjuk, elektromos erőkre vezethető vissza. Milyen erő marad tehát az atom számára? Az atommag és elektronhéj összetartását az elektromos vonzóerők biztosítják, hiszen az atommag pozitív, az elektronhéj pedig negatív elektromos töltésű. Tekintettel a kis távolságra, elég nagy vonzóerőket kapunk. Egyetlen alumíniumatom elektronhéjának a magról való lehúzásához kb. ezermilliomod kilogrammsúlynyi erő kellene. Ez nem látszik nagynak, de sok kicsiny sokra megy, az alumínium-pengős összes atomjának „kimagozásához” hatvan trillió kilogrammnyi erő kellene.

Az atommag összetartó ereje ma még sokkal kevésbé ismert. Tömegvonzási és elektromos vonzóerők nem okozhatják azt, hogy a mag protonjai és neutronja olyan erősen összetömörülnek. Az elektromos vonzás semmiképp sem okolhatja meg az egyformán pozitív protonok együttmaradását, hiszen ezeknek taszítaniok kell egymást. Itt egészen biztosan valamilyen egyéb, a nagyobb méretű tárgyak világában ismeretlen erőnek kell hatnia. Az atommag részecskéit összetartó erő a nagyobb méretű tárgyak világában azért ismeretlen, mert a távolsággal rendkívül rohamosan csökken és még az elektrónhéj belsejében elenyészően kicsiny lesz. Az atommagot összetartó és eddig még csak ezen szerepe által ismert új természeti erőt kicserélődési erőnek nevezik, mert a számítások azon az alapon mentek végbe, hogy a proton és neutron valamilyen töltött részecskét dobálnak egymás között ide-oda és ezzel jár együtt a vonzóerő. Az atommag belsejében a kicserélődési erő néven ismert vonzóerő leküzdí a protonok kölcsönös taszítóerejét. Az atommag környezetében a nagyobb távolság folytán a kicserélődési erő már kisebb, mint a közönséges elektromos taszítóerő, ezért, ha ide jut egy proton, hatalmas erővel eltaszítódik. Az atommagot összetartó erő sokkal nagyobb a héjat a maggal összetartó erőnél, rendszerint billiószorosa nagyobb.

Az atommag rendkívül kis mérete alapján következik, hogy benne az anyag átlagos sűrűsége eléri a billió gramm/köbcentimétert. Ez a szám is mutatja, hogy milyen kemény, tömör képződmény az atommag. Földünkön előforduló véges méretű tárgyak sűrűsége alig lép 20 gramm/köbcentiméter fölé. Ez azért van, mert a sokkal nagyobb méretű elektrónhéjak nem hagyják magukat összenyomni a rendelkezésünkre álló erőkkel és megőrzik az atommag és elektrónhéj külső széle közötti térben a nagy ürességet.

Összefoglaljuk az eddigiek lényegét. Az atom szer-

kezetének alapvető vonása, hogy elektronhéjból és atommagból áll.

Az elektronhéjak elrendezésére jellemző, hogy az elektronok külön gyűrűkben helyezkednek el; a legbelső gyűrűn 2, az erre következőkön 8—8 elektron helyezkedhet el. Az elektronhéjak fizikája a modern tudomány igen fontos fejezete, energiaértékeinek kiszámításával olyan kiváló fizikusok foglalkoztak, mint Bohr, de Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Dirac. Az elektronhéjak megváltoztatása aránylag könnyen megy, elektron elvesztés vagy felvétel általában könnyen lehetséges, amikor is elektromosan töltött atom, úgynevezett ion keletkezik. A kémia tudománya csupa elektronhéj-folyamatot vizsgál, hiszen vegyüléskor, égéskor, lecsapódáskor, stb. mindig az elektronhéjat érdeklő változások mennek végbe. Az elemek kémiai tulajdonsága az elektronhéjtól függ. Mi ebben a könyvben elektronhéjakban végbemenő jelenségekkel *nem* foglalkozunk, mert az atomenergia kérdéséhez semmi közük sincs.

Az atommagokra jellemző, hogy igen állandó képződmények. Rendkívül nagy erők tömörítik össze bennük az elemi részecskéket, ezért átalakításuk, megváltoztatásuk, szétbontásuk rendkívül ritkán és nehezen hajtható végre. Az elem mibenlétére az atommag jellemző, mégpedig az atommag rendszáma. Ameddig egy atommagban 13 proton van, az illető atommag az alumínium atommagja és ez az anyag csak úgy volna átváltoztatható valamilyen más elemre, például magnéziumra, ha az atommagot sikerülne átalakítani. Ez azonban nehéz feladat. Könyvünkben, amely az atomenergia megértéséhez akar elvezetni, *csak* atommagot érdeklő jelenségekkel foglalkozunk. Előbb azonban egy rövidebb, közbevetett fejezet vár bennünket.

## AZ ANYAG SZERKEZETE.

Megismertük a neutron, protont, elektront, tudományunk mai állása szerint az anyagi világ fontos építőköveit. Körülnézve a világban, látjuk a szilárd anyagokat, kristályokat, fémeket, folyadékokat, gázokat, mint az anyag érzékszerveink előtt való megjelenési formáit. Hidaljuk át a legkisebb és legnagyobb között tátongó ürt, vizsgáljuk meg az anyag szerkezetét az elemi alkatrészekről a kézzelfogható méretekig.

Protonból, neutronból lesz atommag, atommagból és elektranhéjból az egész atom, mégpedig az alkatrészek száma szerint más és más elem atomja. Bizonyos esetekben az atomok egymással molekulákká egyesülnek. Két hidrogénatom hidrogénmolekulát, két hidrogén és egy oxigénatom víz-molekulát alkot, stb. Gázokban a molekulák, esetleg szabad atomok nagy sebességgel rohannak ide-oda, rugalmasan ütköznek egymásba és a falba, miközben a gáznak a falra gyakorolt nyomását okozzák. Minél magasabb a hőmérséklet, annál gyorsabban repülnek a gázmolekulák, illetőleg, ha a molekulákat megütögetjük, hogy gyorsabban repüljenek, ez a gáztömeg hőmérsékletének emelkedésében nyilvánul meg. Folyadékokban a molekulák, esetleg atomok, ionok egymáson nyüzsögnek, gurulnak, mint egy hangyaboly lakói. Az igazi szilárd anyagokban, a kristályokban szabályos térbeli vázat, úgynevezett kristályrácsot alkotnak az elektromos töltésű atomok, az ionok. Konyhasó kristályában például pozitív nátrium és negatív klór-ionok alkotják a kristályrácsot, az egész összetartásáról pedig az elektromos vonzóerők gondoskodnak. Az alumíniumban alumínium atomok (pontosabban ionok) alkotják a kristályrácsot. Az atomok, mint gömbök elég szorosan fekszenek egymás mellett és kitöltenék a tér nagy százalékát. Az egyes gömbökön, atomokon belül azonban túlnyomóan üresség van, minden gömb közepén ott ül a tömör, súlyos atommag. Az

aluminium a mi számunkra, szerszámaink és érzékszerveink által merev, szilárd anyagnak tűnik fel, mert elhajlítással, átszúrással szemben a kristályrácsot biztosító elektromos erők az atomokat eredeti helyükön akarják megtartani. Igen kis tárgyak, például az elemi alkatrészek elég könnyen keresztülrepülhetnek az aluminiumon, hiszen az elektronhéjak nagy ürességeiben szinte szabadon repülhetnek. Protonok pozitív töltésüknél fogva a pozitív töltésű atommagokhoz közeledve, eltaszítódnak. Ugyanígy kísérletezett Rutherford már 1910 táján alfa-részeknek (vagyis hélium atommagoknak) aluminiumon való keresztülvésével. A neutronok óriási áthatoló képességűek, mert nincs elektromos töltésük és töltött részek mellett való elrepülésükkor semmiféle zavaró erő sem hat rájuk. A neutronok csak akkor akadhatnak meg, ha véletlenül pontosan beletalálnak egy atommagba. Ilyenkor be kell látnunk, hogy milyen sok az üresség egy szilárd anyagban, ha vastag fémlemezekben zavartalanul átmenő neutronokat figyelhetünk meg.

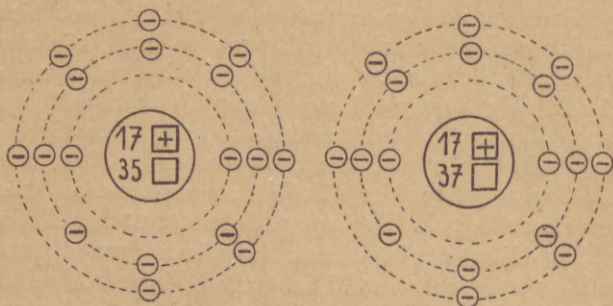
Surlódási erők, rugalmasság, kohézió, stb. mind az elektronhéjak és atommagok elektromos vonzóerőinek kis térrészletekben ki nem egyensúlyozott apró maradékaiból áll.

A kristálykák, molekulák rostokat, sejtfalakat, szöveteket, élő szervezeteket alkotnak és ezzel elérkeztünk az észlelhető méretek birodalmába.

## IZOTOP ELEMEEK.

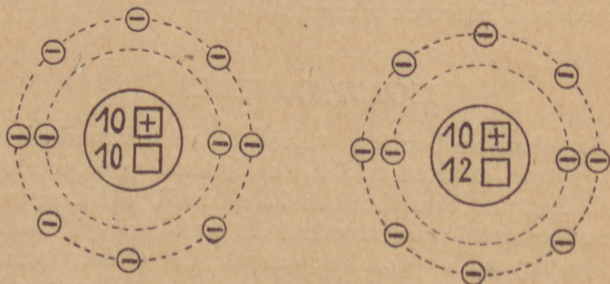
Az elem mibenléte, tulajdonsága a rendszámtól függ, vagyis az atommagban előforduló protonok számától. Eszerint beszélhetünk 92 elemről, a hidrogéntől egészen az uránig. De megtörténik az is, hogy két atommagban egyező a protonok száma, de eltérés van a neutronok számában. Például ismeretes 17 protonból és 35 neutronból, valamint 17 protonból és 37 neutron-

ból álló atommag. Mindegyikhez 17 elektrontól álló héj tartozik.



Mindkét anyag ismeretes, mert a közönséges klórgáz ezek keveréke. Az egyenlő rendszámú, de különböző nehéz atommagokat izotopoknak nevezzük. A közönséges klórgázban egynegyedrészes van a könnyebb gázból és háromnegyedrészes a nehezebb gázból. Így jön létre a klór 35,45 értékű törtszámú atomsúlya. A két klórizotop egyforma tulajdonságú, csak sűrűségben van közöttük eltérés.

Az izotopokat figyelembe véve, nem 92, hanem kb. 300 elem ismeretes, de az izotopokat a kémiában egyforma tulajdonságaik miatt egyszerre tárgyalják. Igen sok közönséges elem izotopok keveréke. A neonnak is vannak izotopjai 10 és 12 neutronnal:

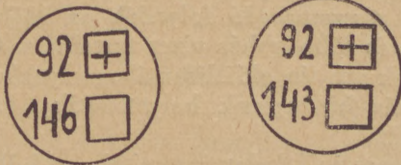


Azután például a 29-es rendszámmal bíró közönséges



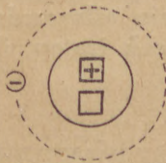
vörösrézben keverve van kétharmad rész 34 neutronnal bíró, 63 atomsúlyú és egyharmad rész 36 neutronnal bíró 64-es atomsúlyú vörösréz.

Az urán két izotopja:



Az elterjedtebb uránizotop atomsúlya 238, a ritkábbé 235. A 235-ös ritka uránizotop mennyisége a természetben 0.7%. Ez azt jelenti, hogy minden előforduló uránércben, uránvegyületben, minden előállított urán-elemben 99.3% a közönséges, 238-as atomsúlyú urán és csak 0.7% a ritkább, 235-ös atomsúlyú izotop.

Nagyon érdekes a hidrogén esete. A rendes, egyetlen protonból álló hidrogénen kívül van olyan is (a közönséges hidrogénben egy ötezred résznyi mennyiségben), amelynek atommagja 1 protonból és 1 neutronból áll.



Ennek az ú. n. nehéz hidrogénnek molekulasúlya és sűrűsége a közönségesnek kétszerese. Deutonnak nevezik az egy protonból és egy neutronból álló atommagot. Amint a közönséges hidrogén oxidja a víz néven ismert folyadék, úgy a nehéz hidrogénnek is ismeretes oxigénvegyülete, melyet nehéz víznek neveznek. A teljesen tiszta nehéz víz folyadék, hasonlít a közönséges vízhez, fagyáspontja  $+3.8^{\circ}$ , forráspontja  $101.42^{\circ}$ , sűrűsége  $1.1056 \text{ g/cm}^3$  ( $25^{\circ}$ -on), legnagyobb sűrűségét nem  $4^{\circ}$ -nál,

hanem  $11 \cdot 6^0$ -nál éri el. A közönséges vízben  $0 \cdot 02\%$  nehéz víz van. A nehéz vizet a közönséges víztől sokáig tartó elektrolizissal, vízbontással választhatjuk el. Ugyanis az elektromos vízbontás alkalmával a közönséges víz valamivel könnyebben bomlik el, mint a nehéz víz, ezért a visszamaradó folyadék az idők folyamán mindig több és több nehéz vizet tartalmaz. Olyan szerves vegyületek szintén előállíthatók, melyekben a hidrogéneket nehéz hidrogének helyettesítik; van például nehéz paraffin.

Igen nevezetes feladat izotop elemekből álló keverék szétválasztása. Gázoknál ez némely esetben sikerült az izotopok eltérő fajsúlya alapján. Sokat használt szétválasztási eljárás a Clusius-féle termodiffúzió. Ennél nagyterületű, egymáshoz közel levő függőleges falak közé bocsátják be a gázalmazállapotú vagy folyékony elemet, esetleg vegyületét. Az egyik falat melegítik. A kisebb sűrűségű izotop valamivel gyorsabban mozog, **belőle** a meleg fal mellett valamivel több lesz, mint a nehezebb izotopból. Így a keverék fajsúlya a meleg fal mellett valamivel kisebb, az anyag a meleg fal mellett felfelé, a hideg fal mellett lefelé áramlik. Kellő idő múlva a cső alsó végén túlnyomóan a nehezebb, a cső felső végén a könnyebb izotop, illetőleg vegyülete található.

## A RADIOAKTIVITÁS.

Az atommagok igen állandó, tömör képződmények, az anyaggal végzett közönséges, mindennapi kísérletek alkalmával nem változnak meg és nem alakíthatók át. Minden szokásos kísérlet, folyamat csak az elektronhéjak birodalmában megy végbe. De csak a közönséges, szokásos kísérletek, folyamatok, mert van a természetben arra példa, bár elég ritkán, hogy valamely atommag magától megváltozik. A radioaktivitás jelenségei ezek, amelyek 1900 táján épp úgy izgalomba

hozták a tudós és laikus közvéleményt, mint ma az atombomba és atomenergia kérdései. Ez természetes, hiszen az atomfizika a radioaktivitás tanulmányozásából indult ki.

1896-ban csodálkozva vette észre Becquerel Párisban, hogy igen jól becsomagolt fényképlemezei urán-ércek közelében megfeketednek, tönkremennek. A jelenség vizsgálata azt mutatta, hogy urántartalmú anyagokból valami olyan hatás indul ki, mely egyébként átlátszatlan testeken képes áthatolni. Kiderült, hogy az urán atommagjai önként, minden külső befolyás nélkül apró, atommag-méretű részeket dobnak ki magukból és ezt az önkéntes atommag-átalakulást igen rövid hullámhosszúságú fény kibocsátása kíséri. Először is vizsgáljuk meg pontosan, hogyan és miképpen megy végbe az urán atommagjának ez a magától történő átalakulása.

Amint már tudjuk, az urán atommagja 92 protonból és 146 neutronból áll. Ebből az atommagból kirepülhet egy alfa-rész, vagyis 2 protonból és 2 neutronból álló képződmény, ekkor az atommagban már csak 90 proton és 144 neutron marad:



Új atommag, más szóval új kémiai elem keletkezett. Az új elemet urán X I-nek nevezik, az eredeti uránt pedig pontosan urán I-nek. Egész biztos, hogy az urán atommagjának bomlékonyságát, csökkent állandóságát az okozza, hogy igen nagy és sok elemi részből áll. Hasonlóan az urán I-hez körülbelül harminc olyan bonyolult összetételű atommagot ismerünk, amely önként szétesik, más szóval radioaktív. Közülök legismertebb a rádium.

A rádium atommagja 88 protonból és 138 neutron-

ból áll. Alfa-rész kidobása közben új elem atommagja, az ú. n. rádiumemanáció marad vissza:

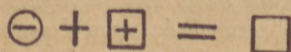


Ez a szétesés, mint valami lappangó betegség, váratlanul, látszólag véletlenszerűen lepi meg a rádiumatomokat. Terítsünk szét az asztal lapján vékony, egyenletes rétegben 1 ezredgramm rádiumot, ekkor az asztal lapján 2·7 trillió rádiumatom fekszik. Az első másodpercben 37 millió rádiumatom dob ki alfa-részt magából és alakul rádiumemanációvá, vagyis az egész mennyiség 14 billiomod része. Mi nem tudjuk előre megmondani, mely rádiumatomokat éri a következő másodpercben ez a katasztrófa, de mire az 1 másodperc letelt, bekövetkezett a 37 millió szétrobbanás. Itt is úgy van, mint sok más esetben a fizika körében. Az egyedről, egyetlen rádiumatomról nem tudjuk megmondani, vajjon ebben az első másodpercben szétrepül-e, vagy pedig csak napok, évek múlva éri utól ez a sors. Az azonban biztos, hogy minden másodpercben az asztalon fekvő rádiumatomok 14 billiomod részében bekövetkezik a katasztrófa. A statisztikus sem tudja senkiről névszerint megállapítani, hogy a közeljövőben vagy évek múlva elgázolja-e a villamos, de arra elég pontosan tud felelni, hogy hetenkint a lakosság hány százaléka lesz közlekedési balesetek áldozatává. A modern elméleti fizika sok törvényéről kiderült, hogy ilyen statisztikai, valószínűségi alapuló szabályosságot fejeznek ki.

Ha az asztalunkon szétterített 2·7 trillió rádiumatomból az első másodpercben 37 millió esett szét, akkor ezen első másodperc végére valamivel kevesebb rádiumatom van meg, mint legelején. A következő másodpercben újra ennek 14 billiomod részét éri utól a szétesés, mint valamely járvány és megint kisebbedett a meny-

nyiség. Tehát a rádium mennyisége megállíthatatlanul, fékezhetetlenül elfogy. Semmiféle eszközzel, semmiféle szélsőséges nyomással, hőmérséklettel vagy a fizikus által változtatható bármilyen tényezővel sem sikerül azt megmászítani, hogy minden másodpercben a meglévő mennyiség 14 billiomod részét éri utól a katasztrófa. 1580 év múlva már csak a rádium fele van meg és asztallapon már csak fél milligramm rádium, 1,35 trillió atom fekszik. De egyetlen másodperc alatt most is ennek 14 billiomod része bomlik szét, vagyis 18,5 billió atom. Ujabb 1580 év alatt a mennyiség újra feleződik, az eredeti mennyiségnek már csak negyedrésze lesz meg és így tovább (mérési sor szerint). A rádium bomlására, a rádiumatomok betegességére jellemző, hogy számuk 1580 év alatt feleződik. Ez az érdekes számadat a felezési idő. Mindegyik radioaktív elemnek más és más a felezési ideje. Az uran I. felezési ideje 4400 millió év, tehát atomjai sokkal egészségesebbek, mint a rádiumatomok. A rádiumból keletkező rádium-emanáció maga is radioaktív, alfa-rész kibocsátásával rádium A. nevű elemmé alakul. A rádiumemanáció felezési ideje 3,82 nap. Egyébként a radioaktív elemek felezési ideje a legtágabb határok között mozog, van százmilliomod másodperces felezési idejű elem is.

A rádium atommagjából alfa-rész repül ki, ezért azt mondják, hogy alfa-sugárzó. A legtöbb természetben előforduló radioaktív elem ilyen. Némelykor az atommagból elektron repül ki, ekkor az elemet béta-sugárzónak nevezik. Figyelmes olvasónk remélhetőleg ijedten közbeszól és felháborodva tiltakozik, hiszen az atommagban nincs is elektron. Nincs bizony. Viszont természetben adott tény, hogy az atommagból ezekben az esetekben elektron repül ki. Ezt úgy magyarázzák, hogy az atommag neutronjai át tudnak alakulni, szinte varázslatszerűen protonná és elektronná:



ez az utóbbi azután kirepül az atommagból. A magyarázat szokatlanul hangzik, a béta-sugárzással kapcsolatban vannak is még ki nem vizsgált problémák.

Akár alfa-, akár béta-sugárzással alakul át a radioaktív elem atomja, az átalakulást igen rövid hullámhosszúságú, szemünk számára láthatatlan fénysugárzás kíséri. Ezt a sugárzást gamma-sugárzásnak nevezzük. A gamma-sugár igen hasonlít a Röntgen-sugárhoz, nagymértékben áthatol minden anyagon, a fényképezőlemezen nyomot hagy, megszünteti a levegő elektromos szigetelőképességét, élő szöveteket elroncsol, rákos daganatokat növekedésükben befolyásol. Hullámhosszúságuk néhány tízmilliomod milliméter, tehát legalább ezerszerre rövidebb, mint a szemmel látható fénysugaraké. A rádiummal való gyógyítás szintén a gamma-sugarakat használja fel.

Az atommagból kirepülő alfa-részek mind pontosan egyforma, jól meghatározható sebességgel repülnek ki az atommagból. A rádium bomlása esetében 15.000 kilométer másodpercenkénti sebességgel indul el az alfa-rész. Légüres térben csakhamar elhagyná a Földet, de a levegő surlódása igen erősen fékezi és 3·4 centiméter hosszú út befutása után megállítja. A levegőben való surlódás, a levegőmolekulákkal való összeütközés igen hirtelen lassítást okoz, az alfa-rész a 3·4 centiméter hosszú pályát erős lassulás közben 4·5 ezermilliomod másodperc alatt futja be. Egyetlen alfa-részt az atommagból kb. 20 kilogrammnyi erő dobja ki. Ez igen nagy erő, ha meggondoljuk, hogy az alfa-rész tömege mindössze 6:607 kvadrilliomod gramm és másodpercenként milyen sok részecskénél megy végbe ez a kilökés. Egyetlen alfa-részecske mozgási energiája induláskor 7·6 százbilliomod méterkilogramm, de az ezredgrammnyi rádiumban levő 2·7 trillió atom bomlása összesen 200.000 méterkilogramm energiájú alfa-részeket szolgáltatna. Valóságban ez a munkavégzés több ezer évre oszlik szét, tehát semmiképp sem hasznosítható. A rádium bomlásának gyorsítása nem áll módunkban, azon-

kívül a rádium ritka elem, mégis sejtjük már, hogy az atommagokban nagy energiák rejtőznek.

A rádiumból kilépő alfa-részek 3·4 centiméteres haladási távolsága közönséges sűrűségű, rendes nyomású levegőben érvényes. Tízszer, százszor ritkább levegőben tízszer, százszor hosszabb utat képesek befutni. Például rádiólámpa vákuumában (billiomod atmoszféra) 34.000 kilométer, a világűrben (száztrilliomod atmoszféra) 3.400 billió kilométer (egyharmad fényév) volna a hatástávolságuk.

A radioaktív elemek egymásból keletkeznek. Az urán I.-ből lesz urán X I. és így tovább, a hatodik radioaktív elem ebben a sorban maga a rádium, belőle lesz a rádiumemanáció. Ez utóbbi gázalakú, de tovább bomlik rádium A.-ra, azután ez is tovább bomlik, végül a sorozat tizenötödik tagjaként nem radioaktív elem, az ólomnak izotopja keletkezik. Hasonló radioaktív sorozat származik az aktinium és tórium nevű elemekből is.

A radioaktív bomlás és sugárzás mindig atommagban végbemenő jelenségek, az elektrónhéjak nem számítanak. A keletkező új radioaktív elemek valahonnan kipótolják elektrónhéjaik hiányosságait, ha ez szükséges, vagy elektromos töltésű atomjaik, ionjaik keletkeznek. Nemcsak szabad elemeken, hanem ezek vegyületeiben levő radioaktív elemeken mindent ugyanúgy észlelhetünk. A kísérleteket sohasem elemi rádiummal, hanem vegyületével, például rádiumbromiddal hajtjuk végre. Mivel a radioaktivitás az atommagban végbemenő folyamat, a vegyület milyensége nem számít, mert ez csak az elektrónhéjakkal van kapcsolatban. A sok eltávozó alfa-rész elektrónhéjat szerez magának és mint közönséges héliumgáz jelentkezik.

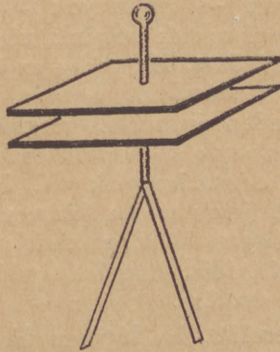
## A RADIOAKTIV KUTATÁSOK KISÉRLETI MÓDSZEREI.

Szép, amit az előző fejezetben a radioaktív elemek bomlásáról megtudtunk, de hogyan lehet mindezt észrevenni, megvizsgálni? A radioaktivitás tudománya olyan eszközöket termelt ki, amelyekkel akár egyetlen atom szétrobbanása is megfigyelhető.

Ha acéllal kemény kőre ütünk, szikrázó fényvillanást látunk. Ehhez hasonlóan, ha egyetlen alfa-rész ütődik cinkszulfid kristályba, gyenge fényerejű, de egyébként kis nagyítóval nézve szemmel éppen még látható zöldes felvillanást észlelünk. Ez a szintilláció jelensége. A szem érzékenységének fokozására teljesen sötétben kell megfigyelnünk és igen megkapó, amint minden egyes alfarészecskének a cinkszulfidos ernyőre való bevágódását külön-külön fényvillanás által észleljük. Radioaktív anyagokat szoktak világító óra és műszer-számlapok cinkszulfidos festékébe keverni, hogy a világítókéesség akkor is meg legyen, ha nem világítjuk meg előre napfényel a számlapot. Ha van ilyen óránk és az atomfizika izgalmas fejezeteit olvasva gondolataink nem bírnak megnyugodni és az álom elkerüli szemünket, akkor úgy éjjel 3 óra tájban, sötétben vegyük elő az ilyen cinkszulfidos számlapú óránkat és nagyítóval nézzük a számokat. A belekevert radioaktív vegyület alfa-részeinek szcintillációit, fényvillanásait fogjuk látni. Azért van szükség az órának hosszú ideig sötétben való pihentetésére, hogy a nappali megvilágítás utóhatása, a foszforeszkálás addigra megszűnjön. Ha pedig sötétben fekete papírba burkolt filmet csomagolunk a számlaphoz és néhány órára mellette hagyjuk, akkor a radioaktív változást kísérő gamma-sugárzás következtében a számok fényképeit kapjuk meg a filmen előhívás után. Igen erős radioaktív készítmény, például nagyon sok rádium közelében a cinkszulfidos ernyő a maga egészében állandóan világít a sok fényvillanás összegeződése miatt.

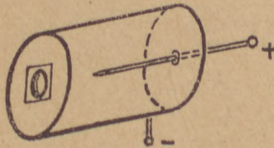


Elektroszkópot megérintünk száraz szövettel megdörzsölt fésűvel. Fonalai szétállanak a fésűről rávitt negatív töltések kölcsönös taszító hatása miatt. De ha az eszköz tetején levő lemezpár közé radioaktív anyagot viszünk, a radioaktív sugárzások vezetővé teszik a külső levegőt (ionizáció), az eszköz elveszti töltését, a fonalak összezáródnak. Az alfa-sugárzás azért teszi ve-



zőtővé a levegőt, mert a semleges gázmolekulákból ütközésekkel töltött gáztomokat, gázionokat termel és ezek mind részt vesznek az elektromosság elvezetésében.

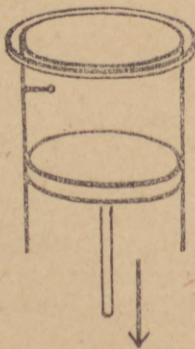
A levegő vezetővé tétele hirtelen kisülést okozhat. A híres csúcsszámlálóban néhány centiméteres fémhen-



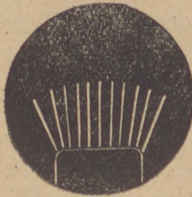
ger belsejében gondosan elkészített fémcsúcs pár milliméterre megközelíti a henger elülső falát. A hengerben alkalmas nyomású argongáz és alkoholgőz keveréke van, a csúcra a csőhöz képest több száz voltnyi elektromos feszültséget kapcsolunk. Ha az elől levő csillám-

ablakon át alfa-rész téved a cső belsejébe, a gázt vezetővé teszi és a csúcscról a csőre elektromos kisülés (szikra) ugrik át. A kisülést a csúcshoz kapcsolt elektromos erősítő hangszóróban hallható kattogássá alakítja. Ha uránércet, tóriumos gázharisnyát vagy más radioaktív készítményt tartunk a csillámablak elé, a hangszóróban kattogások sorozatát halljuk. Tak-tak-tak, itt vagyok — itt vagyok — itt vagyok, — mondják az alfa-részek és nekünk nincs más dolgunk, mint megszámolni őket. Ha pedig ez is fárasztó, a villanyórából ismert számlálót kapcsoljuk a hangszóró helyére; ezt minden áramlökés megmozdítja és utólag csak le kell olvasnunk az áramlökések számát. Ha rádiumot teszünk a csillámablak elé, 1580 év múlva a másodpercenkénti jelek száma felére ritkul meg. Gyorsabban bomló anyagnál ez a kísérlet elvégezhető és megadja a felezési időt. A csúcsszámláló az atomfizika nélkülözhetetlen eszköze.

Egy évvel ezelőtt, ha légitámadás után feljöttünk a pincéből, az égen finom felhővonalakat, kondenzcsíkokat láttunk. Mindegyik egy-egy magasan szálló repülőgép útját jelezte, még akkor is, amikor a repülőgép már elrepült. Ehhez részben hasonlóan ködcsíkok jelzik a Wilson-kamrában az alfa-részek, vagy más, elektromos töltésű elemi alkatrészek útját.



A Wilson-kamra arasznyi szélességű üveghenger, melyben dugattyú van. A dugattyú feletti térben telített vízgőz van, amiről az üvegfedélen levő nedves zselatinbevonat gondoskodik. Ha a dugattyút hirtelen lerántjuk, a levegő az igen gyors kitérülés miatt lehül, a hengerben a vízgőz túltelített lesz. Mégsem bír lecsapódni, mert nincs jelen semmiféle porszem vagy egyéb gőc, amelyen az első parányi vízcseppecskék lerakódhatnának. De ha a henger oldalán levő csúcsról alfa-részek vagy egyéb töltött atomi részecskék repülnek le, ezek a levegőben ezernyi számban ionokat termelnek, ezekre azután a túltelített vízgőzök lecsapódnak és finom ködfonalak jelzik a részecskék által megtett utat. A Wilson-kamrában látható kép a dugattyú-



mozgás pillanatában rögzíti meg egészen rövid időre, egy fényképfelvételre a sugarak útját. Ha rádium van a csúcson, a sok 3-4 centiméter messzire repülő alfa-rész keféhez hasonló, egyforma hosszú sugarakból álló pamacsát látjuk. Mágneses térben a pályák elgörbülnek, ebből megállapítható a részecskék töltésének előjele, repülésük sebessége. Megfigyelhető, hogyan viselkednek a részecskék, ha útjukba tett ólomlemezeket kell áthaladniuk. Meg bírják-e ezt tenni? Mennyit veszítenek sebességükből? Szerencsés esetben több részecske, atom, alfa-rész stb. összeütközését figyelhetjük meg, a Wilson-kamra billiárdasztallá lesz, az alfa-részek, deutónok, atommagok karamboljátzmáiból a természet, az atomi világ legnagyobb titkai derülnek ki. Az ütközési ködabra alapján a fizikusok úgy nyomoznak, mint a

detektívek autóösszeütközések után az aszfalt vizes kéreknymaiból; melyik honnan jött, milyen gyorsan haladt, milyen nehéz volt, hogyan találták el egymást és merre repültek a roncsok? A Wilson-kamra legalább annyit jelent a tudomány számára, mint a távcső vagy a mikroszkóp.

Talán feltűnő, hogy mindig csak töltött részekről beszélünk a csúcsszámlálóval, Wilson-kamrával kapcsolatban. Ez azért történt így, mert töltetlen anyagi rész, neutron kimutatására egyik sem alkalmas. A neutronok töltés nélkülsége azt vonta maga után, hogy igen könnyen áthaladnak nagyon vastag anyagi rétegeken is, csak akkor akadnak meg, ha egy atommag belsején keresztülrepülve az illető atommag erői elfogják őket, mintegy a neutront saját atommagjukhoz tartozónak tekintik. Természetesen ez annál inkább történik meg, az atomok minél számosabb rétege áll előttünk, úgy, hogy a neutronoknak mértanilag keresztül kell repülniök az atommagokon. Ahogyan elég nagy erdőn nem lehet puskával keresztülllóni, mert a golyó valahol fátörzsbe szalad. Az elektromos töltés nélküli neutron a csúcsszámlálóban nem bír kisülést megindítani és a Wilson-kamrában ionizációjával ködcsíkot kelteni. Honnan tudjuk mégis, hogy itt járt a neutron? Másodlagos hatásaiból. Ha más atommagokból töltött részecskét dob ki, akkor ezeket jelzik készülékeink és ezek mutatnak rá a neutron befutási irányára. De ez majd a következő fejezetben szerepel.

Hogyan képzeljük el a rádiummal végbemenő kísérletezést? Rádiumvegyületeket uránércekben találnak. Belga-Kongóban, Katangában, Joachimstalban Csehországban uránszurokércet (uránoxidot) találnak. Koloradoban, Amerikában carnotit nevű vanadiumtartalmú uránvegyület lelhető, de előfordul még urán Kanadában, Turkesztánban is. Az uránérc uránatomjai legnagyobbbrészt a 238-as atomsúlyú urán I.-ből állanak, 0.7%-ban mellette a 235-ös atomsúlyú izotóp. Azonkívül kisebb-nagyobb mennyiségben jelen vannak

az urán I.-ből képződő radioaktív elemek, urán X I, rádium, rádiumemanáció, stb. Körülbelül 7.000 kilogramm uránércből vegyi úton kiválasztanak 1 gramm rádiumot valamilyen sója alakjában. Csak sóit használják, az ezekben benn levő rádium-atommagokat semmiben sem befolyásolja az, hogy elektronhéjaik által kapcsolva, más atomokkal kerültek közös háztartásba. A rádiumvegyületeket üveg vagy platinacsövecskékbe forrasztják be. A Belga-Köngóban fekvő lelőhelyeken a háború előtt évente 30 gramm rádiumot termeltek 2.000.000 dollár értékben. Atomfizikai és orvosi célra tudományos intézetek vásárolnak rádiumot, vagy esetleg csak bérelnék ilyet a termelő részvénytársaságtól. Ez azért lehetséges, mert csak a bomlástermékeket és a képződő rádiumemanációt, újabb radioaktív elemeket használják fel kísérletezésre, a raktározott anyagmenyiséget egyébként nem bántják. (Zsirt, cukrot nem lehetne így bérbe venni a kereskedőtől, hogy csak az édes ízét nyaljuk, üvegen át, de nem nyúlunk hozzá.)

1 gramm rádiumból másodpercenként körülbelül egymilliomod köbmilliméter rádiumemanáció képződik. Ez az érdekes radioaktív gáz szintén igen jól használható fel tudományos kutatásra. Sok nagy atomfizikai intézetben a rádiumkészlet legnagyobb része vízben van oldva egy páncélszekrény belsejében. A rádiumból képződő rádiumemanáció részben oldódik vízben, ezért naponta leszivattyúzzák a tartóedényből a képződött gázokat, a rádiumemanációt és a radioaktív sugárzások hatására a vízből képződött hidrogén-oxigén (durranógáz) keveréket. Ezt elégetik vízzel, a megmaradó rádiumemanációt megtisztítják. Belőle újabb radioaktív átalakulással szilárd elemek, rádium A., majd ebből rádium B., rádium C. csapódnak le. Ha a gázba negatív feszültségű fémlémezt lógatunk be, ezek az elemek hamarosan rárakodnak és kísérletekre felhasználhatók.

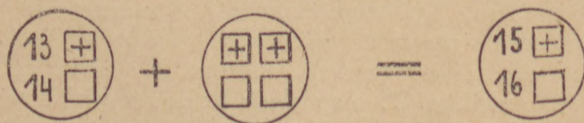
Az urán I.-ből eredő elemsorozaton kívül ilyenek származnak az urán-aktinium és tórium nevű elemekből is.

## A MESTERSÉGES ATOMÁTALAKÍTÁS.

A természetben előfordulnak maguktól átalakuló atommagok, maguktól átváltozó kémiai elemek. Ezeknek a radioaktív elemeknek az atommagjai igen nagyok a többiekhez képest, sok protont és neutron tartalmaznak. Ugy látszik, ha ilyen nagy az atommag, akkor nem elég nagy az elemi alkatrészek közötti erő, a részecskék közötti távolságok is nagyobbak, az atommag összetartásában az idők folyamán beállhatnak gyenge pillanatok és kitör a lappangó betegség, az alfa-rész kirepül.

Az utóbbi évtizedekben mesterségesen is sikerült atommagokat, vagyis kémiai elemeket átalakítani. Ennek az a módja, hogy valamilyen elemi részecskét dobunk nagy sebességgel az atommagra. Megtörténhetik, hogy az elemi részecske behatol az atommagba és benn marad, esetleg kilök belőle valamilyen másfajta elemi alkatrészt. Ilyenkor minden esetre megváltozik az atommag, új elemet kapunk. Már előre látjuk, a kísérlet nagy nehézségei: egyáltalán eltalálni az apró atommagot a nagy ürességben, azután olyan sebességgel dobni, hogy visszapattanás helyett behatoljon a tömör, kemény atommagba. A nehézségek megtárgyalása előtt lássunk néhány példát, a mesterséges atomátalakítás néhány tipikus esetét.

Megfelelő kísérleti berendezést felhasználva, aluminium atommagjába dobunk belé alfa-részt:



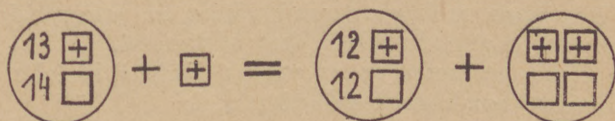
15 protonból és 16 neutronból álló atommagot, foszfort kaptunk. (A valóságban ez ebben a kísérletben rögtön szétesik.)

Berillium atommagjába juttassunk be protont:



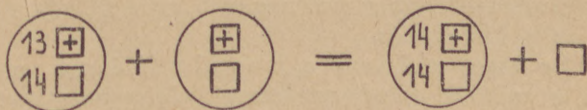
Az ütközés eredményeként alfa-rész repül tovább és 3 protonból, 3 neutronból álló atommag, vagyis egy izotop litium keletkezik.

Alumíniumot bombázzunk protonnal:



itt is alfa-rész lép ki és 12 protonból, 12 neutronból álló magnéziumot kapunk.

Ha a nehéz hidrogén atommagjával, a deutonnal bombázzuk ugyancsak az alumíniumot:



szilíciumot kapunk (14 proton és 14 neutron) és egy neutron repül tovább.

Tehát a keletkezett új atommag protonjainak száma, rendszáma elárulja, hogy melyik kémiai elem keletkezett. A protonok és neutronok számának összege a körülbelüli atomsúlyt adja meg. Lehetséges, hogy olyan izotóp elem keletkezik, amely a természet-

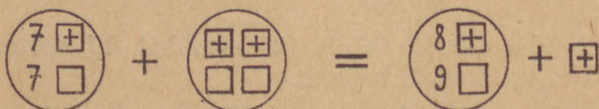
ben egyébként elő sem fordul, vagy nagyon ritkán. Például nitrogént alfa-résszel bombázva:



proton távozása mellett 8-as rendszámú elemet, oxigénizotopot kapunk. Ez volt az első mesterséges atomátalakítás, E. Rutherford végezte el már 1919-ben.

Ábráink megadják az atomátalakítás lefolyását. Az egyenlőségjel mindkét oldalán meg kell egyezni a töltések összegének és a tömegek összegének. Hasonlóan a kémiában szokásos egyenletekhez az atommagfolyamatokat is egyenletekkel lehet feltüntetni.

Igen nevezetes ez az atomátalakítási kísérlet. Berilliumot bombázunk alfa-részekkel:



Szén keletkezik, neutron repül tovább. Ez a kísérlet azért nevezetes, mert könnyen szolgáltat neutronokat. Ha neutronokra van szükségünk, sokszor fordulunk ehhez a kísérlethez.

Se vége, se hossza a hasonló példáknek, amelyeket a tudósok mind gondosan végigtanulmányoztak. De hogyan kell ilyen atomátalakítási kísérletet végrehajtani és honnan vesszük észre, hogy történt valami? Az egyik fő akadály az atommag kicsinysége, a másik pedig rendkívüli szilárdsága. Az első akadály azt hozza magával, hogy bombázásra használt alfa-részeink, protonjaink, deutonjaink közül a legtöbb melléje megy, nem találja el az atommagot. A második akadály azt jelenti, hogy ha el is találjuk az atommagot, nagy és sokszor szerencsés sebesség kell ahhoz, hogy a neki-



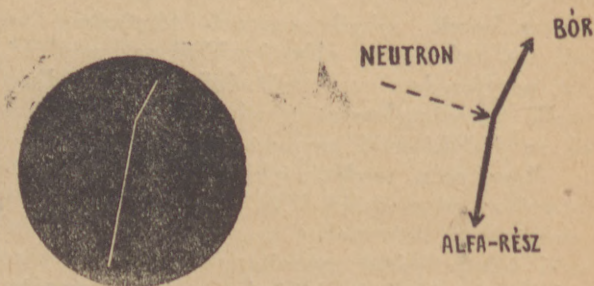
dobott részecske be tudjon hatolni és csináljon valamit. E kettő együttvéve azt jelenti, hogy a hatások, a sikerült átalakítások és felhasznált lövedékek számának aránya igen kicsiny. Általában minden milliomodik lövedék talál szerencsésen, sokszor még annyi sem. Ha egy ezredgram rádiumból 1 másodperc alatt kiinduló 37 millió alfa-részt mind felhasználjuk berillium bombázására, 1 másodperc alatt 37 darab berillium-atomból lesz szénatom. Mivel a szén 1 grammjában 65.000 trillió atom van, egy egész éves kísérlet tartama alatt is csak kb. ezermillió atom alakulna át, vagyis a berillium alig billiomod százaléka. Pedig az ezredgramnyi rádium elég erős adagnak számít. Szó sem lehet arról, hogy az anyag egész, kézzel fogható mennyiségét lennének képesek átalakítani. Nem számíthatunk arra, hogy ilyen bombázással vaskanálból ezüstkanalat, alumínium-pénzdarabból Napoleon-aranyat csinálhassunk. Kísérleteinkben mindig csak az anyagban levő atomok elenyészően kis törtrészét sikerül átalakítani és külön munkát jelent annak a bizonyítása, hogy tényleg történt átalakulás.

Honnan vesszük a nagysebességű elemi alkatrészeket, alfa-részeket, protonokat, deutonokat? Erre van természetes és mesterséges út. Igen gyors alfa-részeket kapunk természetes radioaktív elemek felhasználásával. Rádiumvegyület, emanációból lecsapódott radioaktív elemeket tartalmazó fémlemez közelébe helyezük el a kérdéses anyagot, persze úgy, hogy minél közelebb legyen hozzá, minél nagyobb térrészben vegye körül azt, nehogy az alfa-részekből sok melléje menjen. Ha neutronokra van szükségünk, a rádiumvegyület mellé berilliumlemezt teszünk és e mellett helyezük el az átalakítandó anyagot.

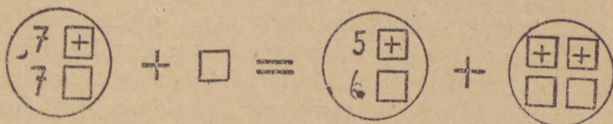
Igen szép eredményeket értek el mesterségesen gyorsított részecskékkel is. Elektromos kisülési csőben protonokat, deutonokat nagy feszültségkülönbségeken való átfuttatásával gyorsítanak meg. A sokszor milliós voltnyi feszültséget különleges transzformátorral, fe-

szültséget növelő elektromos gépekkel fejlesztik. Ezt a célt szolgálják azok az óriási gömbben végződő elektromos berendezések, amelyek fényképét közlik a képlapok olyan alkalmakkor, amikor atomátalakításról, atomrombolásról írnak. Érdekes, igen jól bevált eszköz a ciklotron, az elektromos parittyá. Ebben a részecskét többször körülfuttatják ugyanazon elektromos feszültségkülönbségen, gondoskodva arról, hogy minden körülfutáskor egyértelműen gyorsítsa a feszültségkülönbség. A ciklotron a modern fizika egyik legimpozánsabb eszköze. Az Északamerikai Egyesült Államokban, Angliában, Dániában épült ciklotronok rendkívüli teljesítményre képesek, például olyan sok nagysebességű deutont szolgáltatnak, hogy szabad levegőben méteres kék fénycsóva látható és a részecsek elnyelődésekor keletkező gamma-sugárzás több kilogrammnyi rádium gammasugárzásával egyenlő erős. Ez eleget mond. A ciklotronok megépítése és üzemben tartása a nagy áramfogyasztás miatt rendkívül drága.

A mesterséges atomátalakítás termékeinek megvizsgálása ugyanazon eszközökkel történik, mint amelyeket az előző fejezetben a radioaktivitásnál megismertünk. A csúc számláló és a Wilson-kamra a legfontosabbak. A csúc számlálóval a folyamat eredményeként kirepülő részecskét keresik, a Wilson-kamrában sokszor az egész ütközési folyamatot végigtanulmányozhatjuk. Ilyen kísérlet eredményét mutatja a baloldali ábra.



A Wilson-kamrában nitrogéngáz volt, balról neutront engedtek be (N. Feather képe.) A neutron behatolt a nitrogén atommagjába, belőle bór-atomot csinált és alfa-rész távozott:



A neutron baloldalt felülről jött, de mint töltés nélküli részecske nem hagyott nyomot. A töréspontban összeütközött egy nitrogénatommal, a keletkezett bór-atom visszapattanásának útját a jobbra felfelé menő rövid vonal, az alfa-rész útját a lefelé menő hosszú vonal mutatja. Rajzunk jobboldalán levő ábra a részecskék sebességét tünteti fel, belőle megállapíthatjuk a kamrába beropülő neutron irányát és sebességét.

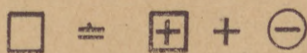
A sebességprobléma külön érdekességeket hozott felszínre. Könnyen beláthatjuk, hogy atomátalakulásra csak nagy sebességű részecskénél lehet reményünk. Az atommagról tudjuk, hogy tömör, nagy szilárdságú képződmény és mindenféle átalakuláskor a belőle távozó részecskét nagy sebességgel dobja ki. Valószínű, hogy befogadni is csak nagy sebességű részecskét lesz hajlandó. Annál is inkább, mert az alfa-részek, deutonok, protonok pozitív elektromos töltésűek, mint maga az atommag, tehát a rárepülő részek nagyobb távolságból jövet a pozitív töltésű atommag taszító erejét kell, hogy elszenvedjék és csak elég nagy sebesség mellett jöhetnek annyira közel az atommaghoz, hogy az abban működő atommagbéli erők (kicserélődési erők) úgy vonzzák a bombázó részecskét, mint az atommag saját alkatelemeit. A kisebb atommagok mesterséges átalakítása általában könnyebben sikerül, mert az atommag taszító ereje kisebb a kisebb rendszám miatt. A bombázó részecskékkel nem tudunk olyan nagy sebességeket elérni, amilyenekkel például a radioaktív elemek részecs-

kéi repülnek ki az atommagból, érdekes módon azonban igen sokszor már kisebb sebességeknél, néha egészen határozott sebességeknél sikerül a magba való behatolás. Ezzel a jelenséggel a kísérleti és elméleti atomfizika sokat foglalkozik. Valahogy úgy kell elképzelnünk a dolgot, mintha az atommagon olyan ajtók volnának, melyek csak egy bizonyos sebességgel való megütéskor pattannak fel (rezonanciajelenség). Azt is elképzelhetjük, hogy az atommag nem élettelen képződmény, benne mozgások, állandó tolongás van és az a nagy szilárdság a felszínen csak időbeli átlagérték. Közben vannak a felszínen különböző helyeken és különböző pillanatokban az átlagosnál kisebb szilárdságú helyek. Ha jó pillanatban és jó helyen jön a bombázó részecske, ekkor itt behatolhat. (Gamow-féle potenciálagút.)

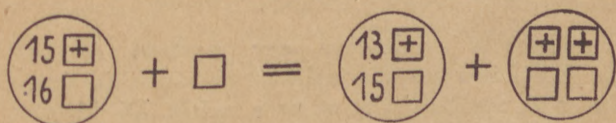
A bombázó neutronok alkalmas sebességét is sokszor vizsgálták. Neutronokkal való bombázás esetében a lassú neutronok hatásosabbak, mint a gyorsak. Ennek az érdekes jelenségnek következő a magyarázata. A neutronok mindenén áthatolnak, egyesek a bombázott anyag atommagjain is. Az ilyen neutron annál tovább, hosszabb ideig repül az atommag belsejében, minél lassabb és annál több esélye van, hogy az atommag erői megfogják és ott marasztalják, mintha sajátjuk volna. Kísérleteknél sokszor szükséges a gyors neutronok lefékezése. Erre olyan anyagot kell használni, amelyben lehetőleg sok atommag van, mert csak az ezekben való tartózkodástól remélhetjük a neutronok lassabbodását. Ilyenek a kis fajsúlyú, hidrogénben gazdag anyagok, például a víz vagy a paraffin. Például 1 gramm ólomban 3000 trillió, 1 gramm paraffinban 130.000 trillió atommag van, tehát 1 gramm paraffinból készült rétegen áthatolva 43-szor olyan sok atommaggal jut érintkezésbe a neutron, mint az ólomnál. A lassítás kísérleti kivitele abból áll, hogy a neutronforrást alkalmas vastagságú paraffinréteggel vesszük körül.

A mesterséges atomátalakítás néhány példájáról volt szó. Látható, hogy ez az elnevezés helyesebb, mint az atomrombolás szó, mert a megtámadott atom szétrombolása nem fordult elő, csak átalakítása. Mindig egyik elem atommagjából másik elem atommagja keletkezett. De legtöbbször olyan atommagokat, olyan izotopokat kapunk, amelyek a természetben nem fordulnak elő és eddig ismeretlenek voltak. Ezen mesterségesen készített atommagok legtöbbje nem állandó, hanem elbomlik a radioaktív elemekhez hasonlóan. Ezért mesterséges radioaktivitásnak nevezik ezt a jelenséget. Lássunk néhány példát.

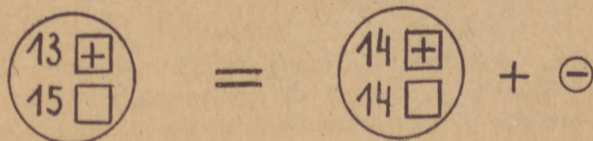
A példák egyik részében a mesterségesen radioaktív elem atommagja elektront bocsát ki. Ezt azzal magyarázzuk, hogy az atommag belsejében egy neutron átalakul proton és elektron összegévé:



Az elektron azután kirepül az atommagból. Ilyet kellett már feltételeznünk a természetesen radioaktív elemek béta-sugárzásánál is. Bombázzunk foszfort neutronnal:



Alfa-rész távozása közben 13-as rendszámú elem, tehát alumínium-izotop képződött. De ez nem állandó, hanem az említett belső átalakulás szerint elektront bocsát ki magából:

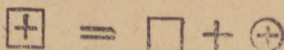


és közönséges szilíciummá lesz. Az atommagban azért lett eggyel kevesebb a neutronok száma, mert egy neutron átalakult, viszont azért növekedett eggyel a protonok száma, mert a keletkezett proton hozzájárult a meglévő 13-hoz. Érthető, hogy az alumíniumizotop növelni igyekszik protonjainak számát, mert neutronjainak számához képest kevés protont tartalmaz. Ezért következik be a folyamat.

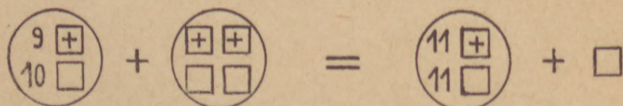
A mesterséges radioaktivitás másik esete éppen elentétes. Ekkor olyan új elemi részecske jelenik meg, amely az atomok felépítésében nem szerepelt. Az új elemi alkatrész a pozitron, más néven pozitív elektron. A pozitron pontosan az elektron ellenlábasa. Tömege szintén 900 kvintilliomod gramm, töltése 0.159 trilliomod coulomb, de pozitív előjellel. Innen ered a neve: pozitív elektron. Jele:



Az atommagban keletkezik, ugyancsak különös, vázslatos átalakulással egy protonból:

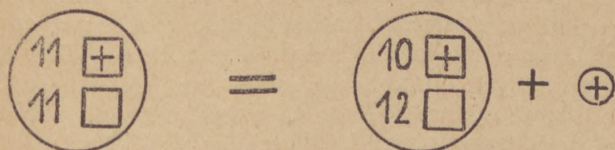


Az átalakulás eredménye egy neutron és egy proton. A töltések megmaradási törvényének ép úgy eleget tesz ez az átváltozás, mint az a másik. De lássunk már egy példát keletkezésére. Fluort bombázunk alfa-rész-szel:



Neutron kilépésével egybekötve 11-es rendszámú elemet, nátriumot kapunk, de egy nem állandó izotopot. az atommag egyik protonjából neutron és pozitron lesz, Ebben a rendes nátriumhoz képest kevés a neutron, így

a neutron csatlakozik a meglévő 11-hez 12-ediknek, egy neon-izotopot alkotva, a pozitron pedig kilövelődik:



Tehát a mesterségesen radioaktív nátrium pozitron kibocsátása közben bomlik és neon-izotop marad hátra.

A mesterségesen radioaktív elemek száma száznál több, egyik részük elektront, másik részük pozitront bocsát ki atommagjából. Harmadik eset nem szokott lenni. Érdekes, továbbá, hogy a felezési idők nem változnak olyan tág határok között, mint a természetes radioaktív elemeknél; itt legtöbbször percek és órák fordulnak elő. Figyelemre méltó, hogy a természetesen radioaktív elemek közül a béta-sugárzók felezési ideje szintén ilyen mérsékelt határok között mozog. Mintha a proton és neutron belső átalakulásai nagyjában egyforma betegséget jelentenének minden erre hajlamos atommagnál.

A mesterségesen radioaktív elemek vizsgálata szorosán összefügg a mesterséges atomátalakítással, mert ennek eredményét legtöbbször a termék elektron vagy pozitron kibocsátásával lehet ellenőrizni. Egy ilyen elemátalakítási kísérlet kivitele körülbelül így megy végbe. Például foszfort teszünk rövid időre egy neutronforrás közelébe, a neutronok hatására benne kis mennyiségű, elektront kibocsátó alumíniumizotop keletkezett. A foszfor-anyagot elvisszük a neutronforrás közeléből és alkalmas csúcscsámláló ablaka elé tartjuk. A hangszóróban hallható koppanások elárulják, hogy a foszforban radioaktív anyag van, a közönséges foszfor ugyanis semmiféle részecskéket nem bocsát ki atommagjaiból. Elemátalakulásnak kellett végbemennie. A

koppanások számának ritkulásából könnyen megállapíthatjuk a felezési időt, ebben az esetben kb. 3 perc. Esetleg kémiailag is megállapíthatjuk az átmeneti, mesterségesen radioaktív elem jellegét. Tömény nátronlúgban feloldjuk a foszfort, ha alumínium van benne, ez is oldódik. Az oldathoz közönséges alumíniumvegyület néhány grammját adjuk hozzá és leválasztjuk savanyítással az alumíniumhidroxidot; ha a radioaktív termékünk alumínium, vagy kémiailag hozzá hasonló elem, akkor a nagymennyiségű alumíniumhidroxiddal együtt szintén kicsapódik, mint hidroxid és szűrés, mosás után a csapadék csúcshámláló elé téve kattogásokat okoz. Ha ez nem következik be, akkor nem alumíniumizotop a mesterségesen radioaktív elem, ilyenkor a szűret szóvaltatja meg a csúcshámlálót. A mi esetünkben a csapadéknál jelentkezik kattogás, csak sietnünk kell a kísérettel, hogy addig el ne homo!jon az alumínium-izotop.

A mesterségesen radioaktív elemek előállítása igen sok érdekes kombinációt enged meg. A kémiai elemek és izotopok táblázatában különféle eltolási szabályok figyelmeztetnek a sokféle lehetőségre. Valóságos atommag-sakkjáték alakul ki, futó és bástyaszerű mozdulattal, lóugrással mehetünk át a táblázat egyik pontjáról a másikra. A papíron kipróbált lépéseket, játszmákat legtöbbször a laboratóriumban is meg lehet játszani.

Mi a hasznunk a mesterséges radioaktivitásból? Először bővültek az atomokról alkotott ismereteink. Erre igazán nem szabad azt mondani, hogy nem fontos, nem gyakorlati eredmény, mikor épen most hallunk az atomenergia küszöbön álló hasznosításáról. A természettudományban mindig is úgy volt, hogy a legelméletibb, legelvontabb tudományból máról holnapra gyakorlati valóság lehet. Ebben az esetben nem is váratott soká magára. Másodszor azután felmerül annak a reménye, hogy orvosi célra rádiumhoz hasonló sugárzású preparátumok készíthetők cikloton segítségével. Harmadszor igen érdekesek az ú. n. indikátormódszerrel



végzett biológiai és kémiai kísérletek. Érdekes például azt tudni, hogy a táplálékunkkal bevett konyhasó mikor érkezik el ujjunk hegyébe. Mesterségesen radioaktív nátriummal szennyezett konyhasót fogyasztunk, ujjunkat rátesszük a csúcsszámláló ablakára és amikor a hangszóró kattogással jelez, megérkezett a nátriumklorid az ujjunkba. Mikor, csontrendszere mely részén építi be a szervezet a táplálék foszfátjait? Kísérleti állatok sorozatával etessünk mesterségesen radioaktív foszfort tartalmazó foszfátot. A bizonyos időközökben boncolt állatok csontjainak csúcsszámlálóval történő vizsgálata feleletet ad. Kémiai téren mesterségesen radioaktív elemekkel megállapították, hogy cserebomlásoknál, folyamatoknál, melyik atom hova megy és hogyan reagál.

## BEVEZETŐ SZAVAK AZ ENERGIÁRÓL ÉS TÖMEGRŐL.

Elég sokat tudtunk meg az atomról, tegyünk most egy jelentős lépést tulajdonképeni célpontunk, az atomenergia felé. De előbb még beszélünk az energiáról és meg kell ismernünk az energia mindazon sajátosságait, amit róla a modern fizika és a relativitás elmélete tanít.

Az emberi munkavégzés legegyszerűbb formája a teheremelés. Minél nagyobb terhet emelünk minél magasabbra, annál nagyobb a munkavégzés. Mint a fizikában minden mennyiségnél, úgy a munkánál is mértékegységre van szükség. A munkavégzés egységéül azt a munkát választották, amikor 1 kilogrammos tömeget 1 méter magasra emelünk. Neve meterkilogramm. Mikor végzünk 1 méterkilogramm munkát? Például ha 1 kilós kenyeret felrakunk az 1 méterrel magasabban levő polcra. És ha több kenyeret kell magasabban fekvő polcokra rakni? Mivel minden 1 kilós kenyérnek 1 méterrel magasabbra való emelése 1 méterkilogrammos munkavégzést jelent, ezért az egész munkavégzést a kilók és méterek számának szorzata adja meg.

Ha 5 kilót kellett 2 méterrel magasabbra emelni, akkor a munkavégzés  $5 \times 2 = 10$  méterkilogramm.

A munkavégzés ilyen módon való kiszámítását általánosítjuk azokra az esetekre, amikor nem emelésről, hanem másfajta erők leküzdéséről van szó. Ha a fűrész 8 kilogrammnyi erővel húzzuk 1.5 méteres darabon, akkor a munkavégzés  $8 \times 1.5 = 12$  méterkilogramm. Ha a gőzgép 3000 kilogrammos erővel tolja a dugattyuját 2 méteres darabon át, akkor egy ilyen dugattyúlöket munkavégzése  $3.000 \times 2 = 6.000$  méterkilogramm. A munkavégzés fogalma mindenütt felmerül. Tájékozódásul jó tudnunk, hogy egész napi erős testi munka körülbelül 250.000 méterkilogramm nagyságú.

A munkavégzéssel igen közeli kapcsolatban áll az energia fogalma. Energiának nevezik a munkaképességet, a még el nem végzett munkát. Munka és energia között eszerint csak nyelvtani különbség van, mind a kettő ugyanazt jelenti, de az egyik mult időben, a másik a jövőben. A mindennapi nyelvhasználat szerint nagy energiájú embernek mondjuk a nagy munkabírású, sok munkavégzésre képes embert. A fizikában, a fizikai értelemben vett munka kiszámításánál természetesen méterkilogrammokban számított munkavégzésről van szó. Ilyen értelemben a testi munkás energiája hajnalban 250.000 méterkilogramm. Ha a gőzgép kazánjában annyi gőz van, hogy ezerszer képes kitolni a dugattyut, egyenkint 6000 méterkilogrammos munkavégzéssel, akkor energiája  $1000 \times 6000$ , vagyis 6.000.000 méterkilogramm. Ha a gőz már kifogyott a kazánból, akkor nincs több energia, mert a munkavégzés már megtörtént. Valamely tárgynak, berendezésnek a legkülönbözőbb okból lehet energiája. Összeszorított rugónak, felhúzott zsebórának rugalmas energiája van, mert a rugó lejárása közben munkát tud végezni. A puskapornak kémiai energiája van, mert robbanás alkalmával sok méterkilogrammnyi fizikai munkát képes végezni rombolásai által. A dinamit minden grammjának 650 méterkilogrammnyi energiája van,

mert robbanáskor például 650 kilós kődarabot 1 méter magasra képes feldobni. A közönséges, friss zseblámpaelemnek körülbelül 150 méterkilogrammnyi energiája van, mert ha teljes kimerüléséig hajtana egy elektromotort, akkor 1 kilogrammos terhet 150 méter magasra volna képes felcsigázni.

Figyelemre méltó a hőenergia szerepe. A hő is energia, hiszen hőmennyiség árán felforralhatjuk a kázanban a vizet, a forró gőz azután a gőzgép révén valószínű munkát, teheremelést végezhet. 1 kalória azt a melegmennyiséget jelenti, amellyel 1 gramm vizet 1 fokkal melegítünk fel. Méterkilogrammmba átszámítva 0·427 méterkilogrammnyi munkavégzés egyenértékű 1 kalóriával. Surlódás, rugalmatlan ütközés melegfejlődéssel jár, amikor is minden elvégzett 0·427 méterkilogrammnyi munka 1 kalória meleget eredményez. Ezt jelenti az, hogy 0·427 méterkilogramm munka egyenértékű 1 kalóriával. Surlódás, ütközés alkalmával a mechanikai munkával gyorsabb mozgásra, rezgésre bírjuk az anyag atomjait, molekuláit, ez pedig a hőfok emelkedését, ezzel együtt a kalóriák gyarapodását vonja maga után.

Beszélhetünk a kőszén energiájáról is. Jóminőségű kőszén minden grammja 3000 méterkilogramm értékű energiát tartalmaz. Ez azt jelenti, hogy a kőszén eltüzelése alkalmával épen annyi kalória meleget kapunk, mint amikor 3000 méterkilogramm közönséges mechanikai munkát surlódással átalakítunk hővé.

Mindez talán száraz olvasmány, hiszen régóta ismert, elég hétköznapi tényeket tartalmaz, De most, ebben a bekezdésben alig 40 éve ismert, meglepő, de mégis igaz természeti tényt tárok olvasóim elé. Ez pedig így szól. Bebizonyosodott, hogy az energia és a tömeg szigorúan együtt jönnek, együtt mennek. Minden méterkilogrammnyi energiagyarapodás 0·119 billiomod grammnyi, vagyis 0·000 000 000 000 119 grammnyi tömeggyarapodással jár együtt. Persze minden méterkilogramm távozó energiával elmegy ugyanennyi tömeg. Fordítva

pedig, ha azt látom, hogy egy tömeg „magától“ 1 grammal több lett, akkor egész biztosan kapott valahonnan 9·18 billió, vagyis 9 180 000 000 000 méterkilogramm energiát. A tárgyak 1 grammnyi megkönnyebbedése pedig ugyanennyi energia távozását jelenti. Lássunk néhány példát.

Felhúszom zsebórámat: belehelyezek 1 méterkilogrammnyi energiát; ugyanekkor azt tapasztalom, hogy tömege 0·119 billiomod grammal nehezebb, a mérlegen ennyivel többet nyom. Viszont én ugyanennyivel könnyebb lettem. (Miért? Kérek választ!)

Felmelegíték 1 liter (vagyis 1000 gramm) 0 fokos vizet 100 fokra. Ezzel 100.000 kalóriányi, azaz 42.700 méterkilogrammnyi hőenergiát kapott. Azt tapasztaljuk, hogy 5 ezermilliomod grammal gyarapodott a tömege. ( $42.700 \times 0.119$  billiomod). Lehűléskor távozik ez az energia, vele együtt elmegy ez a tömeggyarapodás.

Az energiának ez a tömeggel való együttes jövése, menése létező természeti tény. Számunkra csak azért meglepő, mert a tömegváltozás emberi méreteink szerint mérve olyan kicsiny, hogy életünkben, érzékszerveinkkel nem tapasztalhatjuk. Ennek a jelenségnek, az energia és tömeg egyenértékiségének A. Einstein úgy jött nyomára, hogy az 1906-ban felállított speciális relativitási elméletét végiggondolta a legvégső következményekig. Az elmélet kívánta e törvény felállítását, de a pontos vizsgálatok igazolták utólag kísérletileg is. Ezentúl tételünket mint érvényes, valóságos természeti tényt kell elfogadnunk, tehát sohase feledkezzünk meg arról, *ha valahol hiányzik egyszerre csak 1 grammos tömegünk, hátha azért van ez, mert eltávozott onnan 9·18 billió méterkilogramm energia és ez „magával vitte“.*

(Beavatottabbak részére. Az Einstein-féle elmélet szerint a mozgó tömeg a sebességgel együtt növekszik, de a sebességgel együtt több lesz a mozgási energia is. Tehát a mozgási energia és tömeg együtt gyarapod-

nak. Ha Einstein nem általánosította volna ezt a tényt valamennyi energiafajra, akkor ellentmondásba került volna az energia megmaradásának tételével. A későbbi tapasztalatok igazolták az általánosítást.)

A fénysugár energiája is kapcsolatban áll az energia tömeg egyenértékűségi törvényével. Amikor a fényforrás fényt sugároz ki, a fentiek szerint kiszámítható mértékben tömeget is veszít. Amikor a fény rávilágít az ernyőre, nemcsak energiát ad neki, hanem megfelelő nagyságú tömeget is dob rá. Ha az induló fénysugár tömeget visz magával a fényforrásból és tömeget ad le az ernyőnek, akkor az energiával együtt ennek a tömegnek a fénysugárban is útnak kell lenni a térben, a fényforrás és ernyő között.

(Beavatottabbak részére. Az anyagi világban a tömeg nem folytonos eloszlású, hanem különféle elemi részeket alkot. Furcsa lenne, ha a tömeg a fénysugárban mégis folytonos eloszlásban töltené be a teret. Bebizonyosodott, hogy a fénysugárban is elemi részecskékben van együtt a tömeg, amely az energiával együtt jár. Ennek a tömegnek a nagysága grammban  $m =$

$\frac{2180 \text{ sextilliomod}}{\lambda}$  itt a fény hullámhosszát jelenti

mikronban, ezred milliméterben. Az ezekkel a külön fénytömeg-atomokkal együtt repülő energia az új n. fénykvantum, az energia-tömeg egyenértékűségi tétellel kiszámítva nagysága méterkilogrammban

$\frac{20.000 \text{ kvadrilliomod}}{y}$ )

## AZ ATOMENERGIA.

Elérkeztünk a legszebbhez, a legérdekesebbhez, az atomenergiához. A rádium alfa-sugárzásánál láttuk, hogy a rádiumból kilépő minden egyes alfa-rész 7,6 százbilliomod méterkilogramm energiával távozik. Ez bizony kicsiny érték, de vegyük figyelembe, hogy egy

ezredgramm rádiumból annak teljes szétesése folyamán összesen 2·7 trillió alfa-rész távozik és ezek együttes energiája 200.000 méterkilogramm volna. Ez már szép szám, csak az a baj, hogy több ezer évre húzódik el, amíg megkapjuk és így semmire sém megyünk vele. A rádium bomlásának sebessége semmiféle kísérleti körülménnyel sem gyorsítható meg, ezért az ezredgramm rádium bomlásakor kínálkozó szép energiamentiség gyakorlatilag nem hasznosítható. Elméletileg volna ugyan egy kibúvó. Valamely vállalatnak 1 tonna rádiumot kellene megvenni az ezredgrammnyi helyett, ekkor már 1 napra jutna 200.000 méterkilogrammnyi munkavégzés és az egyszeri nagy befektetés gyümölcseképpen pár ezer évig jelentkezne napi 200.000 méterkilogramm energia. (Ennyi munkát végez körülbelül 1 nap-számos 1 nap alatt.) Világos, hogy ez az út gyakorlatilag nem követhető a rádium magas ára, ritka előfordulása következtében. Ebből egyelőre csak azt látjuk, hogy atommagátalakulásnál nagy energiamentiségek ígérkeznek, de gyakorlatilag nehézségek vannak.

A mesterséges atomalakítás több reménnyel kecsegtet, hiszen a mesterségesen radioaktív elemek bomlása gyorsabban megy végbe és amint a kísérletet végrehajtjuk, rögtön meg is kapjuk az eredményt. Ugy kellene a kísérletet elvégezni, hogy mesterségesen radioaktív elemet készítenénk nagysebességű részekkel való bombázással, a képződött bomlékony atommagból kirepülő részek energiáját hasznosítanánk például úgy, hogy surlódással lefékezve meleget fejlesztesznénk velük. De a bombázó részecske előállítására fordított energiát le kell vonni az eredményből.

Először számítsuk ki egy példában, hogy mekkora energiát várhatnánk. A felszabaduló energia nagysága onnan ered, hogy az atommagokban óriási erők hatnak, hiszen az atommagok rendkívül nagy sebességgel dobják ki a részecskéket magukból. Az energia kiszámítására pontosan ismerni kellene az atommagban, annak belsejében minden pontban ható erőt és ezeknek vi-

selkedését az atommag átalakulása folyamán. Ez a számítás mai ismereteink szerint kivihetetlenül nehéznek és még eléggé meg nem alapozottnak látszik. De van egy kerülő út, amelyen járva igen gyorsan elvégezhető a számítás. Csak azt kell megvizsgáljunk, nem hiányzik-e a folyamat végén tömeg, mert ha hiányzik, akkor az energia-tömeg egyenértékűségi törvénye alapján minden hiányzó gramm tömeg 9·18 billió méterkilogramm energia távozását jelenti. A számítást, kellő körütekintéssel a Rutherford által tanulmányozott atomátalakuláson végezzük el. Amint láttuk, a rádiumból kilépő alfa-részecskékkal nitrogént bombázva izotop oxigént és protont kapunk:



Pontos vizsgálatok alapján ismeretes, hogy egyetlen nitrogénatomnak 23·115, az alfarésznek pedig 6·607 kvadrilliomod gramm a tömege. Ez összesen 29·722 kvadrilliomod gram. De hozzászámítandó, hogy az alfa-rész nagy sebességgel, 7·6 százbilliomod méterkilogrammnyi energiával érkezik. Mivel minden bekebelezett méterkilogramm energia 0·119 billiomod gramm tömegnövekedést hoz magával, még hozzá kell adnunk 0·009 kvadrilliomod grammot. (7·6 százbilliomod × 0·119 billiomod) Ezt hozzáadva a baloldalon összesen 29·731 kvadrilliomod gramm áll rendelkezésünkre. A keletkeztetett oxigénatom magjának 28·060, a protonnak pedig 1·664 kvadrilliomod gramm a tömege, ez a kísérlet után jelent összesen 29·724 kvadrilliomod grammot. Hiányzik 29·731 — 29·724, vagyis 0·007 kvadrilliomod gramm. Mivel minden gramm eltűnt tömeg 9·18 billió méterkilogramm energia távozását jelenti, a mi esetünkben, egyetlen nitrogénatom folyamatánál 0·0623 billiomod méterkilogrammot nyertünk. Mindezt egész

röviden, az erőhatások részletezése nélkül tudtuk meg, hasonlóan ahhoz, hogy az áruház főnöke a napi nyereséget rögtön megkapja a bevétel és kiadás eredményeinek különbségéből anélkül, hogy minden egyes napi üzletkötést ismernie kellene. A 0·0623 billiomod méterkilogramm kevésnek tűnik, de ne felejtsük el, hogy 1 gramm (kb. 1 liter) nitrogéngázban 43.000 trillió atom van, ha ezek mindegyikénél sikerül a kísérlet, 276.000.000 méterkilogramm az eredmény. (Napi 100 liter nitrogénnél fedezve volna Budapest villanyellátása.) HA, ha a kísérlet a nitrogén minden egyes atomjánál sikerülne! De ez éppen a baj, az atommagok rendkívüli kicsinysége, tömörsége miatt igen ritka a szerencsés találat, az anyagnak csak igen kis törtrészében megy végbe a kísérlet és ismét nem élvezhetjük az atomenergiát.

Lássunk még egy példát. Állócsillagokban, a Nap belsejében olyan körülmények uralkodnak, hogy hélium képződik hidrogénből, vagyis két proton és két neutron egyesül alfa-résszé. Mennyi energia a nyereség? Itt sem vagyunk képesek a protonok és neutronok kicserélődési erőivel kiszámítani egyesülésük munkavégzését, hanem a kerülő utat választjuk. A protonoknak és neutronoknak külön-külön 1·664 kvadrilliomod gramm a tömegük, ez összesen 6·656 kvadrilliomod gramm. A keletkezett alfa-rész tömege 6·607 kvadrilliomod gramm. Hiányzik  $6·656 - 6·607 = 0·049$  kvadrilliomod gramm. Az energia és tömeg egyenértékűsége alapján, mivel minden gramm 9·18 billió méterkilogramm távozását jelzi, 0·45 billiomod méterkilogrammot kapunk. Ez 1 gramm (5·5 liter) héliumnál 67.000.000.000 méterkilogramm energianyereséget jelent. A Nap energia-sugárzását ebből az atomfolyamatból fedezi; mivel elég proton és neutron van a Napban, előreláthatólag még sokáig fog sugározni, miközben természetesen bizonyos fokban tömeget is veszít. Az energiaképződés igen nagy, a tömeghiány tetemes, az alfa-részben igen nagy erő tartja össze a protonokat és neutronokat. Általában



az elemek atomsúlya nem pontosan egyenlő protonjaik és neutronjaik összegével, hanem annál kevesebb, mert az atommagok energiaképződés árán jöttek létre.

Az ezekhez hasonló számítások elvégzése csak akkor lehetséges, ha pontosan ismerjük az atommagok tömegeit. J. Mattauch tömeg-spektográf nevű készülékével határozzák meg ezeket az adatokat. A tömeg-spektrográfban az atomok ügyesen kialakított elektromos és mágneses téren repülnek keresztül, miközben tömegük szerint különböző mértékben térülnek el. A felfogó fényképező lemezen a nyomok helyéből 0.001 %-nyi pontossággal megállapítható az atom tömege.

Az atomenergia felhasználásának az eddigiek szerint az a legfőbb akadálya, hogy az atommagokkal végzett kísérletek az anyag igen kevés atommagját érintik, ezért a hatásfok nagyon kicsiny. A lényeges mértékű energiatermelés kulcsa olyan atomátalakulás felfedezése, amely az anyag nagyobb, kézzel fogható mennyiségén hajtható végre.

## AZ URÁN BOMLÁSA ÉS AZ ATOMBOMBA.

1939-ben O. Hahn és F. Strassmann az atomátalakulás egészen új fajtáját észlelték. Uránoxidot bombáztak neutronokkal és azt tapasztalták, hogy az urán atommagja a berepülő neutron hatására két nagy darabra esik szét. Ez a kísérlet valóban megérdemli az atomrombolás elnevezését, hiszen itt az atommag két nagy darabra esik szét. Elsősorban bárium és kripton keletkezik az uránból, mindenféle egyéb atommag-törmelék mellett. E mellett azonban több, legalább 2 neutron is található az atommag szilánkok között. Találtak az urán-atommag széthasadási termékei között a felsoroltakon kívül rubidiumot, yttriumot, molebdént, antimont, telburt, jódot, céziumot, lantant. A szétesések közül leggyakoribb a báriumra és kriptonra való szét-esés, azután tapasztalható xenonra és stronciumra való szétbomlás stb. A bárium 56-os és a kripton 36-os

protonszáma együtt kiadja az urán 92 protonját. A termékek tovább bomlanak és más termékek is keletkeznek. Az urán atommagjának ilyen alapos szét-esését az magyarázza meg, hogy az urán atommagja igen nagy, az elemi alkotrészek összetartó erői nem érvényesülhetnek elég nagy mértékben. Az urán atommagja ezért hosszúkás formájú, amint az egyik ábránkon látható volt. Ezeket a folyamatokat még I. Curie, P. Savitch, F. Joliot és O. R. Frisch is tanulmányozták.

Az urán atommagjának két nagy részre, valamint 2-4 neutronra való szétesése az elmélet és kísérlet szerint 3 billiomod méterkilogramm energia felszabadulásával jár. Mint máskor, úgy most is úgy tapasztaljuk az energia felszabadulást, hogy az atomtörmelékek nagy sebességgel repülnek szét és ha egy közeg surlódás által megállítja ezeket, akkor meleg fejlődik. Tehát a neutronokkal bombázott urán más atomokra és újabb neutronokra bomlik. Így megvan a lehetősége annak, hogy ezek a neutronok újabb uránatomok szétbomlását okozzák, amivel ismét újabb neutronképződés jár és így tovább. Láncreakció indulna meg, az egyetlen neutronnal megindított folyamat láncolatosan folytatódna, tovább, mindig rohamosabban, amíg csak a közelben levő összes uránatom el nem fogyna. Ezáltal lehetségessé válna nagy mennyiségű urán átalakítása és sok energia termelése. Az atommag-reakciókkal járó energiatermelés hasznosíthatónak ígérkezik, mert kiterjeszhető az anyag egész mennyiségére. Ez a nagy reménység először 1939-ben csillant meg a tudósok előtt és ekkor közölte S. Flügge a „Die Naturwissenschaften“ című folyóiratban (1939. június 9-i szám, 402. oldal) számításait, melyekkel felhívta a figyelmet a kínálkozó lehetőségekre. Az alábbi adatok ugyanezen cikkből származnak. Azóta keveset lehetett hallani a kutatások folytatásáról, de harcoló felek mindkét részről titokban az uránhatás gyakorlati felhasználásán fáradoztak és az eredmény most került a nyilvánosság elé. De lássunk még néhány adatot.

Az uránbomlás láncolatos folyamata csak akkor lehetséges, ha több körülményre vagyunk figyelemmel. Annál inkább van biztosítva a láncreakció fennakadás nélküli lefolyása, minél több neutron termel egy-egy bomlás, minél többet fognak el ezek közül az uránatomok saját felbomlasztásuk céljából és minél kevesebb neutron vész el akár az anyagból való eltávozás, akár más atomokban való fennakadás következtében. Majdnem méteres méretű uránból vagy uránoxidból álló golyót, kockát kellene használni, mert ebből a nagy méret következtében csak kevés neutron tudna eltávozni anélkül, hogy egy uránatomot ketté ne törne. Mivel a lassú neutronok biztosabban támadják meg az urán atommagjait, ezek fékezéséről kell gondoskodni; erre a célra az uránoxidnak vízzel való elkeverése használható, mert a víz hidrogénjének atommagjai fékezik a neutronok sebességét. Öt-tíz százalék vízzel elkevert uránoxid jöhet számításba. Az egyéb atomok neutronokat lassító szerepét figyelembe kell venni. Minden tényezőt figyelembe véve arra az eredményre jutottak, hogy egyetlen neutronnal sikerülhet 1 köbméter uránoxid atommagjainak bomlását előidézni. A számítások a bomlási folyamat idejét is tisztázták. Az az eredmény adódott, hogy 1 köbméter tiszta uránoxid elbomlása 0.0001 másodperc alatt, a tiszta vízzel elkevert uránoxidé pedig néhány másodperc elteltével menne végbe. Mindegyik esetben igen rövid idő alatt olyan sok hő fejlődne, hogy a folyamat végzetes robbanássá válna. Az egyetlen neutron által felrobbantott 1 köbméter, vagyis 4200 kilogramm uránoxidból szinte pillanatok alatt 27.000 billió méterkilogramm energia válna szabaddá. Ettől városok dőlnének romba. A gyakorlati alkalmazás előfeltétele, hogy az energiafejlődés sebessége szabályozható legyen. Ebből a célból az a terv merült fel, hogy az uránoxidot kadmiummal, illetőleg kadmiumoxiddal kellene keverni. Bizonyos sebességi határ alatt a kadmium minden neutron elnyel, a gyors neutronokat azonban hiánytalanul átengedi. Ennek követ-

keztében egyensúly jön létre, a hőmérséklet állandó marad akkor is, ha kívülről meleget vonunk el. Az egyensúlyi hőmérséklet nagysága a kadmium mennyiségétől függ. Ha 1 köbméter uránoxidot 230 liter vízzel keverünk össze és 28 gramm kadmiumot adunk hozzá, 2300°-os hőmérséklet jön létre. 42 gramm kadmiummal 850°, 56 grammal 350°, 84 grammal 120°-os egyensúlyi hőmérséklet jön létre. Kadmium nélkül, tehát fékezetlen robbanásakor 100.000°-os hőmérséklet volna várható. Flügge számításai szerint.

Az uránatom neutron hatására való részeséséről újabb cikk jelent meg L. A. Turnertől a *Reviews of Modern Physics*, V. 12. Nr. 1. January 1940. számában. Behizonyosodott, hogy ez a folyamat csak a 235-ös atomsúlyú urán-izotopon megy végbe. Ez az urán-izotop 92 protonból és 143 neutronból áll, a természetben található uránban csak 0.7%-nyi mennyiségben van jelen. Ha a közönségesen található uránnal próbálnánk az atombontási kísérletet elvégezni, a sok indifferens, 238-as atomsúlyú közönséges uránatom a neutronokat elfogná, lefékezne. Nem volt olvasható még arról adat, hogy tiszta, 235-ös atomsúlyú urán milyen hatásfokkal bontható szét neutronokkal. Lehet, hogy nem is kell több ezer kiló uránvegyületet egybegyűjteni, esetleg néhány kiló is elegendő. Flügge számadatai épen ezért nem hitelesek.

Atombomba, uránmotor készítése céljából feltétlenül ki kell választani a közönséges uránból a 235-ös atomsúlyú izotopot. Erre a célra a Clusius-féle termodiffúzió látszik alkalmasnak. Az uránhexofluorid kristályai hevítve gőzzé válnak (olvadáspont nyomás alatt 69.2°-on, forráspont már 56°-on), gőzét elhelyezzük a Clusius-féle készülék hideg és meleg fala között. Hosszabb idő múlva a 235-ös, kisebb atomsúlyú urán, illetőleg vegyülete a berendezés felső végén lesz jelen nagyobb töménységben és lassacskán elválasztható. Szerencsére a fluornak nincsenek izotopjai és

így ez a körülmény elősegíti a szétválasztást. Az ilyen módon való izotopelválasztásnak nagyipari keretek között való elvégzése nem ütközik technikailag legyőzhetetlen akadályokba, csak pénz, munkaerő és nyersanyag kérdése.

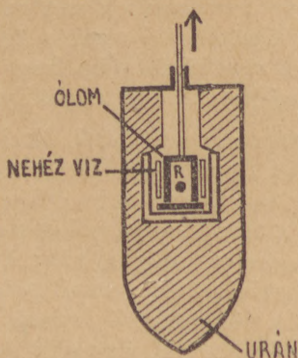
(Az atombontás újabb irodalmára vonatkozó adatokat dr. Szalay Sándor professzor úr szíves közléseinek köszönhetem.)

Felmerül az a gondolat, hogy miért nem robban fel a természetben meglévő urán, illetőleg uránérc, hiszen a folyamatot megindító egyetlen neutron biztosan jelen van a kozmikus sugárzás következtében vagy egyéb okból. A robbanás azért nem következik be, mert nincs elég sok urán elég töményen együtt, azonkívül más neutronokat elnyelő anyagok is vannak jelen és így a láncolat reakció a számítások szerint nem fejlődhetik ki. Elsősorban lehetlenné teszi a természetben levő urán felbomlását az a körülmény, hogy az uránban igen kevés a felhasználható 235-ös atomsúlyú izotop.

Az urán atommag neutronok által való kettétörése az első és eddig egyetlen módszer, amely azzal a reménnyel kecsegtet, hogy véges mennyiségű anyagon hajtható végre atomrombolás, tehát nagy energiát szolgáltat. A tudományos világ a háború kitörése óta ismerte ezt a lehetőséget és a napilapok közlései szerint mindkét harcoló fél pusztító bomba készítésére törekedett. Az Északamerikai Egyesült Államokban, Anglia tudományos munkájának felhasználásával elkészültek az atombombák és ezekből kettőt alkalmaztak Japán ellen. 1945. augusztus 8-án Hiroshima, augusztus 9-én Nagasaki városokra hullott egy-egy bomba és óriási pusztítást okozott. Bár részleteket még nem közöltek az atombomba technikai megvalósításáról, egész biztosan az uránbomlást használták fel és a bomba szerkezete a következő lehet.

Az atombomba valószínűleg néhány kiló 235-ös urániumot tartalmazó vashenger. Nagyobb biztonság

kedvéért a bombát csak közvetlenül felhasználása előtt rakják össze részeiből. Középen van a begyújtásra, vagyis az urán bomlásának megindítására szolgáló szerkezet. Rendkívül lassú neutronokat használnak erre a célra. Nehéz víz hidrogénjét sugározzák be a radiotórium gamma sugaraival, ezek a nehéz víz deutonjaiból igen lassú neutronokat váltanak ki. A radiotóriumból hat közbeeső radioaktív elem közvetítésével képződő tórium C<sup>4</sup> gamma-sugaraival éppen alkalmasak arra, hogy a nehéz hidrogén atommagjaiból igen lassú neutronokat váltsanak ki. A robbanást vagy a radiotórium sugárzását kiárnyékoló ólomhenger, vagy az összes lassú neutronot elnyelő kadmiumhenger elhúzása indítja meg. Egy időzített óramű indítja meg a begyújtást, amikor már



kijutott a repülőgép az ejtőernyőn leszálló bomba veszélyes közelségéből. Esetleg berilliumból alfa-sugárzás által kiváltott neutronok szintén használhatók begyújtásra megfelelő lassítás után.

Az urán atommagjának szétesésekor újabb és újabb neutronok keletkeznek és ezek további uránatomokat törnek szét. Az atommag-törmelékek nagy sebességgel repülnek szét, ebben nyilvánul meg

a felszabaduló nagy energia. A nagy sebességű részecskék a levegő molekuláit meglökik és azoknak is nagy sebességet adnak. De ez azt jelenti, hogy a hőmérséklet rendkívül emelkedik. A forró levegőnek viszont nagy a nyomása. Tehát a bomba robbanása hatalmas forróságot, erős légnyomást okoz. Így folyik le a pusztítás. A jelentések szerint hatalmas fény támadt (a nagy forróság miatt) és légiaknához hasonló rombolás következett be, csak sokkal nagyobb mértékben. Akna-szerű hatásra vall az is, hogy a Föld színe fölött robbantották fel a bombát. 1 kilogramm urán szétesésekor 6·5 billió méterkilogramm energia válik szabaddá. Ez meleggé alakulva 15 billió kalóriát jelent. Ime ez a magyarázata az atombomba robbanásakor tapasztalható pusztító hőségnek és szörnyű légnyomásnak.

## A JÖVŐ.

Mit hozhat a jövő? Csak az uránbomba pusztító hősege és szörnyű légnyomása a tudósok évtizedes fáradozásának egyetlen eredménye? Reméljük, hogy nem.

Az előzőekben ismertetett uránbomlás arra is alkalmas, hogy békés célokra szolgáltatson hatalmas energiamennyiséget. Ehhez csak a bomlás folyamatának célszerű lassítása szükséges. Erre a célra kadmium alkalmas. Flügge adatai szerint 1 köbméter uránérchez 56 gramm kadmiumot adagolva 350<sup>o</sup>-os állandó hőmérséklet jönne létre, ami alkalmas túlhevített vízgőz előállítására. Hogyan kellene elképzelnünk egy uránbomlást hasznosító gépet? Nagy villanytelepet hajtó gőzgép kazánjának belsejében képzeljünk el néhány köbméteres teret, amely körülveszi a túlhevített vízgőz fejlesztésére szolgáló csővezetékét és alkalmas keverőszerkezettel van ellátva. Ide töltenek be 4200 kilogramm uránoxidból, 280 liter vízből és 56 gramm kadmiumból álló keveréket. Az indítás alkalmával vékony csővön

beejtenek az anyag közepébe valamilyen neutronforrást. A hőmérséklet a felszabaduló energia következtében azonnal  $350^{\circ}$ -ra emelkedik és változatlanul annyi marad, a kazán csövében pedig megindul a túlhevített vízgőz fejlődése, megindulnak az áramfejlesztő turbinák. A Flügge-féle számítások szerint az említett mennyiségnél kevesebbrel nem működik az üzem, tehát kis teljesítménynél is ilyen sok uránt kell használni, viszont kisebb teljesítménynél ez az anyag megfelelően hosszabb ideig elegendő. Szigorúan tilos volna indításakor a teljes uránmennyiség keverése kadmiummal, mert ennyi urán egybehalmazásakor az egész készlet felrobbanhatna még a keverés befejezése előtt. Kis részletekben kellene az uránt a kadmiummal összekeverni és csak azután kerülhetne sor az anyag egybehalmazására. Üzem közben naponta egyszer el kellene távolítani a fejlődött melléktermékeket esetleg szükség szerint pótolhatnánk az elfogyott uránt. Ha Budapest áramfogyasztását, évente 250 millió kilowattórát ezzel az urángéppel kívánjuk fedezni, akkor napi 42 gramm uránoxid fogyna el. Az 1 köbméter, vagyis 4200 kilogramm uránoxid Budapest áramfogyasztását 300 évig láthatná el. Ezek az adatok Flügge cikkéből származnak. Újabb nézeteink szerint külön nehézség megfelelő mennyiségű 235-ös uránizopot elválasztása, viszont ebben az esetben nem kell ilyen nagy mennyiséggel indulni.

Ennyi már nem túl távoli jövőben megvalósíthatónak látszik. Minden esetre még sok munka és sok költség szükséges azokhoz a kísérletekhez, amelyek gyakorlatilag használható uránmotorhoz vezetnek. De még távolibb lehetőségek is elgondolhatók. Nem kell feltétlenül az uránhoz ragaszkodnunk. A nagy számban ismert atommagfolyamatok mind hatalmas energiámmennyiségeket szolgáltatnak majd, ha megismerjük felhasználásának titkát. Néhány számadat az összehasonlításra: 1 gramm nitrogénnel a Rutherford-féle atommagfolyamatnál 276 millió méterkilogrammot, a héliumszinté-



zisénel 1 gramm anyagból 67.000 millió méterkilogrammot, az uránbomlásnál 1 grammból 6500 millió méterkilogrammot kapnánk. Tájékozódásul vegyük figyelembe, hogy Budapest 1 napi elektromos energiafogyasztása 250.000 millió méterkilogramm. Ezt a nitrogénből 900 gramm (kb. 900 liter), a héliumnál 4 gramm, az uránból 38 gramm anyag fedezné.

Még egy lehetőség van. Példánkban a tömegvesztés az anyag mennyiségének kis százalékát tette ki. Elméletileg lehetséges valamely anyag teljes tömegének sugárzássá való átalakítása. Pozitron és elektron tömegeinek sugárzással kísért közös eltűnését már megfigyelték. Ha valaha érzékelhető méretekben sikerül az anyagot teljesen sugárzássá (fény sugarban haladó tömeggé) alakítani, még több a kapható energia, és pedig minden anyagnál grammonként 9·18 billió méterkilogramm. Ilyen módon Budapest 1 napi elektromos energiafogyasztását 0·03 gramm anyag pótolná.

A jövő feladata ezek szerint három lépésre tagozódik, először az uránmotor gyakorlati megvalósítása, másodsor egyéb atommagfolyamatok hasznosítása, harmadszor az egész tömeg energiájának felhasználása. De legyünk szerények, elégedjünk meg egyelőre a főnyeremény helyett kisebbel és feltételezve az uránmotor tökéletes működését, tegyük jövőbeli utópisztikus sétát az uránnal hajtott Nagy-Budapest városában.

„Esős őszi reggel csenget a postás, bead egy levelet az ajtórésen és mondja: jó reggelt, megküldték a téli fűtést. A levélben 1 gramm uránoxid van, pótol 40 métermázsa szénét.

Látogatunk a szomszédban és felmegyünk az ötödik emeletre. A lift mellett persely lóg. Bedobunk 0·0025 gramm urániumot és ennek energiájával felmegy a lift az ötödik emeletre.

Az utcán benzinkút, akarom mondani uránáruda van. Kell az autóba üzemanyag, felveszünk 2 tizedred gramm urán 235-öt és újra el vagyunk látva.

(Egy félhivatalos esemény a távoli jövőből: Urános János pesti polgár idézést kapott közmunkára. A jelzett napon megjelenik az előljáróság, sorszámot kap, kitölt egy jelentkezési lapot, sorszámot visszaad, iktatóba megy, nyilvántartási lapot tölt ki, bevallási ívet ír alá az Általános és Egyetemes Uránellenőrzési és Bomlási Központ részére, felmutatja a házmegbízott uránláttamozási bizonylatát, nyugtát, ellennyugtát nyújt át, bevezetik ténykedését munkakönyvébe és annak másolataiba, majd ezek után néhány adminisztratív nyomtatvány kitöltése után lead a köz oltárán egytized milligramm uránércet és ezzel biztosan elvégződik 650.000 méterkilogramm közmunka, ami jól megszámitva elegendő két napra.)

Az utcákon falragaszok: Vigyázzon, hamisítják! Csak 235-ös atomsúlyú uránt vegyen!

Mozdonyainkon nem látunk szeneskocsit, a 20 mázsa szenet pótló, 1 gramm uránércet a mozdonyvezető mellényzsebében őrzi.

Láttunk a kelenföldi villanyfejlesztő telepen egy fiókot, ki volt rá írva: raktár. Az egész évi készlet, 15 kilogramm urán volt benne“.

Visszatérve a reális alapra gondoljuk át az atomenergia felhasználásának gazdasági vonatkozásait. Egy biztos, az eddigi energiát adó nyersanyagok, szén és kőolaj vezető szerepe megszűnik. Minden valószínűség szerint a nagy energiamennyiségek következtében az atomenergiát felhasználó gépek energiatermelése versenyképes marad a szénrel és kőolajjal szemben akkor is, ha a gépezetek befektetési költsége drágább lenne, mint a gőzgépé vagy benzinmotoré. A szén és kőolaj megszerzésére irányuló hódító törekvések megszűnnének, az olaj nem veszélyeztetné többé az országok békéjét. A termelés olcsóbb üzemanyagot kapna, az élet kényelmesebbé válna. A szén mint nyersanyag bizonyos jelentőséget megtartana, tekintettel arra, hogy a kémiai ipar nevezetes kiindulási anyaga, (vízgáz kémiai

felhasználása, kátrány ipara). Ha eleinte csak az uránmotor valósulna meg, akkor az uránérctelepek birtoklásáért még fokozottabb vetélkedés indulhatna meg, mint a kőolajért, hiszen akinél van az urán, az a világ ura. Feltéve, hogy ismeri a szerkezet titkát, de ez az atomfizika mai fejlettsége mellett nem maradhat soká rejtve. Fokozná a nagy uránkeresletet, hogy csak kismértékben előforduló izotopja használható. Lehet, hogy eleinte az izotopelválasztás költségei nagyobbak, mint a nyerhető energia értéke; ez az atombombánál nem szempont, de a gazdasági felhasználást eleinte befolyásolhatná. Ez a szempont egyszerre lényegtelenné válna, ha könnyen hozzáférhető nyersanyag, nitrogén, hidrogén volna szükséges. Ebben az esetben minden vetélkedés, gazdasági különállás lehetetlenné válna. Különösen ez volna a helyzet, ha az anyag teljes átalakítása, szétsugárzása sikerülne. A tenger vize, a sivatag homokja egyformán beláthatatlan energiamennyiségek forrása lenne. Ezek az atomi energiák most is bennük vannak, de nem ismerjük felszabadításuk módját. Ha pedig majd ismerjük, nagyon vigyázni kell, nehogy a Föld teljes anyaga elinduljon a szétsugárzódás útján, mert ez pillanatnyi szörnyű anyagi megsemmisülés volna.

Közlekedés terén igen sokat jelentene az új üzemanyag. Egyrészt már azért is, mert kevesebb szén és benzin szállításáról kellene gondoskodni. Szénszállító vonatok, tankhajók helyett kis csomagokban kapnák meg a gyárak tüzelőszerkészletüket. Ez a világ közlekedését nagyon tehermentesítené és így közvetve szintén fokozná a jólétet. Gyors járművek szerkesztésénél a mérnökök mindig arra törekedtek, hogy minél kisebb súlyban hozzanak ki minél nagyobb löerejű motort. Az uránmotor és társai óriási haladást jelenthetnének, ha csak a gépezet súlya nem lesz az eddiginél nehezebb. Minden esetre szinte korlátlan üzemanyagkészletet vihetnének magukkal és akár tízszer körülrepülhetnék a Földet leszállás nélkül. Az atomenergia hozzásegítheti

az emberiséget a világűrközlekedéshez, mert a világűrben mozgó rakéta üzemanyagánál leginkább szükséges, hogy kis súlyban minél több hajtóenergiát vigyünk magunkkal.

Ezzel a legérdekesebb utópisztikus vággal zárjuk be gondolatmenetünket.

E / atomfűtő (110) // atombomba (601) //  
 B6 / na. (1485) //

LELT. 1995

216 AUG. 30.

1947 JAN. 24. *Teu*



LELT. 1967

2  
Pinta: pinta: linnic  
(atmon)

LELT. 1971

