

30.
SZÁM

SZENT ISTVÁN KÖNYVEK

30.
SZÁM

HITTUDOMÁNY
LELMÉLET

NEVELÉS
IRODALOM

BÖLCSELET
JOC

FÖLDRAJZ
TERMÉSZET
TUDOMÁNY

TÖRTÉNE-
LEM
SOCIOLOGIA

ÉLETRAJZ
UTIRAJZ

DR. WESZELSZKY GYULA

A RÁDIUM ÉS AZ ATOMELMÉLET



BUDAPEST
SZENT ISTVÁN
TÁRSULAT
KIADÁSA



A RÁDIUM ÉS AZ ATOMELMÉLET

ÍRTA

Dr. WESZELSZKY GYULA



SZENT-ISTVÁN-TÁRSULAT
AZ APOSTOLI SZENTSZÉK KÖNYVKIADÓJA
BUDAPEST, 1925.

Kiadja a Szent-István-Társulat,
Stephaneum nyomda és könyvkiadó r. t. Budapest,
Nyomdaigazgató : Kohl Ferenc.

TARTALOM.

Előszó	5
Bevezetés...	7
Rádioaktív sugarak	11
A rádioaktivitás elmélete	26
Rádioaktív elemek	34
A rádioaktivitás mérő módszerei	62
A rádioaktív sugarak hatásairól...	71
A rádioaktivitás és a geológia kapcsolata...	74
A rádioaktív hatások gyakorlati alkalmazása	81
A rádioaktív anyagok hőfejlesztőképessége	87
A rádioaktivitás és az atomelmélet	95

ELŐSZÓ.



ÉMI lelkifurdalást érzek, amikor az előttünk fekvő kis könyvet egyedül magam neve alatt jelentetem meg. Ugyanis elfoglaltságom miatt könyvem egyes részeit csak vázlatosan írtam meg s azok kidolgozására volt tanársegédemet, Millner Tivadar urat kértem fel.

E kis ismertető füzet a természettudományok iránt érdeklődő nagy közönség részére készült. Ezért röviden csak az általánosabb érdekű kérdéseket ismertetem. Igyekeztem, amennyire lehet, népszerűen írni, ami természetesen a szabatosság rovására ment. Kissé részletesebben írtam meg a könyv utolsó fejezetét, mert annak megírásakor, magyar nyelven csak szétszórtan, itt-ott találtunk valamelyes ismertetést. Kéziratom már sajtó alatt volt, amikor Rohrer László dr. e kérdéseket is tárgyaló könyve megjelent s így ezt már nem vehettem tekintetbe. Egyébként is, csak előnyös lehet az olvasóra, ha egy és ugyanazon kérdést, különböző szemszögből megvilágítva, ismerhet meg.

Könyvem főcélja, hogy általánosabb képet adjon. Azoknak, kik behatóbban kívánnak az itt tárgyalt kérdésekkel megismerkedni, az alábbi munkákat ajánlom:

Weszelszky Gyula dr.: A radioaktivitás. Rohrer

László dr.: Atomok, molekulák, kristályok. St. Meyer,
E. v. Schweidler: Radioaktivität. F. W. Aston: Isotope.
Niels Bohr: Über den Bau der Atome. H. Molisch:
Populäre biologische Vorträge. Dr. Fritz Gudzent:
Grundriss zum Studium der Radiumtherapie.

Budapest, 1924. szept. hó.

A szerző.

BÉVEZETÉS.



EWTONNAK egy almafa alatt pihentében alma esett az orrára és ma ennek a különös véletlennek köszönheti a tudomány a gravitáció törvényének ismeretét. Akár valóság ez, akár mese, az tagadhatatlan, hogy a kisebb-nagyobb fölfedezések jórésze véletlenek eredménye, sőt bizonyos, hogy még a tervszerű kísérleti munkáknál is nagy fontossága van a véletlenül szerzett tapasztalatok útmutatásának. Gyakran tapasztalható, hogy gondos kutatások is egészen más eredménnyel végződnek, mint amilyent tőlük megindításukkor vártunk.

Abban az időben, amikor Röntgen a róla elnevezett sugarakat fölfedezte, a fizikusok nagy része a foszforeszkáló fény jelenségével foglalkozott. Ismeretes, hogy Röntgen-sugarak ott keletkeznek, ahol katódsugarak szilárd testbe ütköznek. Röntgen eredeti Crookes-csővel kísérletezett; ezekben a Röntgen-sugár a csőnek a katóddal szemben fekvő falán keletkezik, ott, ahol a cső zöldes fénnel világít. Ennek a fénynek tanulmányozása közben bukkant Röntgen a róla elnevezett sugarakra. Becquerel, amikor 1896-ban a rádióaktivitás jelenségét fölfedezte, tulajdonképpen azt kutatta, hogy a sötétben világító testek nem lövelnek-e ki a Röntgen-sugarakhoz hasonló, láthatatlan sugarakat. Curiené pedig 1898-ban, amikor fölfedezte a rádiumot,

módszert akart kidolgozni az uránium kvantitatív meghatározására. Becquerel definíciója szerint a radioaktivitás még a radioaktív anyagi testekből kiinduló láthatatlan sugarak tanulmányozásával, vagyis energiajelenségekkel foglalkozik, ma pedig e tudományágtól sok véletlenül és sok rendszeresen szerzett tapasztalat alapján az anyagnak, az atom belső szerkezetének megismerését várjuk.

A radioaktivitás fölfedezése azelőtt nem is remélt érzékenységgű mérési módszerek kidolgozására vezetett. Ezeknek a módszereknek az érzékenysége sokszorosan meghaladja a legérzékenyebbnek ismert spektroszkópos módszert is. Spektroszkóppal ugyanis 10^{-10} ($= 0.0000000001$) g-nál kisebb mennyiségű nátriumot már nem lehet kimutatni, radioaktív módszerekkel azonban 10^{-12} g rádium még jól mérhető, sőt gyorsabban bomló radioaktív anyagokból ennél még több milliószor vagy milliárdszor kisebb mennyiséget is meg lehet mérni.

Amikor Bunsen és Kirchhoff a spektroszkópos módszert fölfedezték, fölfedezésüknek azonban még csak a híre terjedt el, sok kémikus erősen kételkedett abban, hogy olyan anyagok nem is mérhető csekély mennyisége, amelyeket addig csak hosszadalmas és fáradságos módon tudtak kimutatni, egy készülékbe való egyszerű pillantással fölismerhető legyen. Ma pedig már a kezdő kémikus is spektroszkóppal operál. A mai kémikusok egy része hasonló kételkedéssel olvassa azokat a tanulmányokat, amelyek a megszokott módszerekkel nem is mérhető, sőt láthatatlan anyagmennyiségekkel való kísérletekről szólnak és hitetlenül fogadja azokat az igen kicsiny és rendkívül nagy

számokat, amelyekkel a rádioaktivitás művelői dolgoznak; végül pedig nem tudnak megbékülni azzal a gondolattal, hogy az atomok, amelyeket közel száz esztendeig oszthatatlannak ismert a tudomány, szétbontók lehetnek, sőt azok összetételének és belső szerkezetének (szerintük kétes kísérletek alapján történő) megállapítására is vannak törekvések. Kétségtelen tény, hogy a rádioaktív kutatások leggyakrabban olyan kismennyiségű anyaggal folynak, amely nemcsak szabadszemmel, de még a legerősebb nagyítással sem látható. Tény az is, hogy ezek a kényes mérési módszerek sok körültekintést kívánnak és sok hibaforrásuk lehet. Azonkívül az így nyert kísérleti adatokból csak úgy számíthatunk eredményt, ha egy sereg feltevést is fölhasználunk; a kapott adatok egy része tehát csak közelítő érték lehet és ezért újabb és újabb javításra szorúl. Ez azonban nem lehet ok arra, hogy az értékeket tagadjuk. Hiszen a párisi délkör hosszát sem mérőszalaggal mérték, az is feltevéseken alapuló mérések és számítások eredménye. Ezenkívül ismeretes a Sèvresben őrzött mintaméterről, hogy nem pontosan negyvenmilliomodrésze a párisi délkörnek. Még sem tagadja senki azokat az eredményeket, amelyeket az internacionális méterkomisszió munkájának köszönhetünk. Ez a például megvont párhuzam kissé túloz, mert a rádioaktív kutatások eredményei a maguk egészében még nem olyan szilárdak, mint a méterkomisszió eredményei, viszont azonban csupán tagadással és kételkedéssel alkotni nem lehet. Kételkedőkre és kritikusokra minden téren szükségünk van, de szükségünk van merészebb kutatókra is; ezek épen úgy fejlesztik ismereteinket, mint amazok. Mindkettőjük

együttes munkájának eredménye az, hogy akármilyen merészek voltak is kezdetben és akármennyire hihetetleneknek látszottak is feltevéseik, nemcsak a fizika és kémia, hanem más természettudományok területein is nagy mértékben tágították a megismerésünk határait. Valószínű, hogy az ezen kérdésekben kialakult fel-fogás még nagyot fog változni, mivel ismereteink e téren még sok kiegészítésre szorulnak, az még sem tagadható, hogy amit a rádioaktivitás terén a rövid legutóbbi idők termeltek, a természettudományos kutatás legnagyobb eredményének mondható.

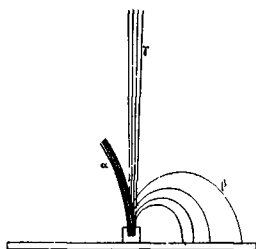
Rádióaktív sugarak.



RÁDIOÁKTIVITÁS jelenségét Becquerel a sötétben bizonyos körülmények között világító uránium-káliumszulfáton fedezte fel. Becquerel és pontosabban Curiené kísérletei megmutatták, hogy a láthatatlan sugarak kilövelése a sötétben való világítóképességgel nincsen összefüggésben és kiderítették, hogy az uránium összes, sötétben nem világító vegyületei is rádióaktívak. Ezek a kísérletek tehát rávilágítottak arra, hogy a rádióaktivitás elemi tulajdonság, azaz a rádióaktívnak nevezett elemi testek olyan saját-sága, amely független attól, hogy a rádióaktív elem milyen kémiai vegyületnek alkotórésze. A rádióaktív elemek sugárzásának minősége és mennyisége a külső (fizikai) körülményektől is független. Nem sikerült ezt a sugárzóképeséget még eddig sem megszüntetni, sem mesterségesen előidézni, sem növelni, sem csökkeníteni. Egy és ugyanazon rádióaktív elemi test sugárzása minden körülmények között mennyiségileg is és minőségileg is mindig egyforma, a különbözőké azonban jellemzően más és más.

A rádióaktív elemek kilövelte sugarak, hasonlóképen a Crookes-féle csövekben elektromos kisülés hatására keletkező sugarakhoz, háromfélék. A háromféle sugárfajta különbözőségét az 1. sz. ábrával lehet érzékeltetni. Az ábra egy erős mágnesnek egy mind-

három sugárfajtát magában foglaló sugárnyalábra gyakorolt hatását mutatja. Képzeliük, hogy egy nagyobb ólomtömbnek hengeres furatába mindaháromfajta sugárat kibocsátó radioaktív készítményt helyeztünk. A radio-



1. ábra.

aktív készítményből a tér minden irányába kilövelt sugárzás csak a furat irányában haladhat akadálytalanul; minden más irányban az ólomtömb anyaga igen nagymértékben elnyeli. A furat irányában így előálló sugárnyalábot megfelelő erősségű mágnes két pólusa közé helyezvén, az három részre válik szét.

Ha a mágnes északi sarka az ábra síkja előtt van, a déli pedig ezzel szemben az ábra síkja mögött, akkor a sugárnyalábnak az a része, amely balra hajlik el, sokkal kisebb mértékű elhajlást mutat, mint a jobbra elhajló rész. Ha a mágnes sarkait egymással fölcserélem a kitérítés iránya ellenkező lesz. Az egyik, irányából eltérített sugárrészlet azonban mindig kevésbé tér el mint a másik. Ez az α -sugárnyaláb. Az erősebben eltérített a β -sugárnyaláb; az eredeti irányát mágneses térben is megtartó sugárrészletet γ -sugárnyalábnak nevezzük.

A három sugárfajta szétválasztása így, ahogy az ábrán látható, nem valósítható meg, mert az ábra az észlelhető jelenségeket túlozva tünteti fel. A β -sugarakat ugyanis már kiserősségű mágneses hatás is erősen eltéríti irányukból, az α -sugarak irányának észlelhető megváltoztatásához ezzel szemben igen erős mágneses hatás szükséges; ha tehát olyan erősségű

mágneses térrel kísérletezünk, amely a β -sugarakat a rajzon látható mértékben eltéríti, akkor az α -sugaraknak a γ -sugaraktól való eltérése észre sem vehetően kicsiny. Ha viszont az alkalmazott mágneses tér elég erős ahhoz, hogy az α -sugarak irányváltozása észlelhető legyen, akkor a β -sugarakat egyszerűen nem találjuk sehol sem, mert a β -sugarak ez esetben olyan nagymértékű irányváltozásra kényszerülnek, hogy, még mielőtt az ólomtömb nyílásán át kijuthatnának, kénytelenek az ólomtömbbe hatolva teljes pályájukat abban folytatni. Ennek következménye pedig az, hogy az ólomtömb elnyeli őket.

Az így fölismerhető három rádioaktív sugárfajta lényegében nem azonos. A fizikusok a «sugárzás» néven ismert jelenségeket az idők folyamán főképen két módon magyarázták. Még Newton úgy képzelte el a fénysugarakat, hogy azok nagy sebességgel mozgó anyagi részecskék rajai. Később fejlődött ki az a fel fogás, amely a fénysugarakat egy bizonyos jellemző mozgásállapot hullámszerű tovaterjedésének tekinti. Ma a sugárzás névvel összefoglalt jelenségek egy részének magyarázatára a sugárzás anyagi elmélete (emisszió-elmélete) a megfelelő, más részének megértéséhez pedig a hullámelmélet a kielégítőbb. A kísérleti megállapítások szerint az α - és β -sugarak elektromos töltéssel bíró, igen nagy sebességgel kilövelt anyagi részecskék rajai, a γ -sugarak pedig lényegileg a Röntgen-sugarakhoz állanak közel és nem egyebek, mint az ultraibolyasugaraknál is jóval kisebb hullámhosszú fénysugarak. A három sugárfajtának közös jellemvonása az, hogy nagy sebességgel egyenes irányban energiát transzportálnak. Ezért nevezzük mind a hármat sugár-

nak, noha helyesebb volna α - és β -sugarak helyett α - és β -részecskékről vagy rajokról beszélni.

Az α -részecskék pozitív elektromos töltésűek. Ezt a mágneses térben történő eltérítésüknek iránya mutatja. Rutherford és Geiger kísérleti alapon azt is megállapították, hogy az α -részecskék tömege egy héliumatom tömegével egyenlő, elektromos töltése pedig két pozitív iontöltés, azaz kétszerakkora elektromos töltése van egy α -részecskének, mint például a konyhasó, vizes oldatában egy-egy nátrium-ionnak (pozitív töltésű nátriumatomnak). A különböző radioaktív elemek α -részecskéinek kezdősebessége elemenként különböző. Az U -jelzésű radioaktív elem α -sugarainak a kezdősebessége az összes ismertek között a legkisebb: 14.000 kilométer másodpercenként; a ThC' jelzésű pedig a legnagyobb: 20.600 kilométer másodpercenként. Ezekről a sebességekről úgy alkothatunk magunknak valamelyes képet, ha az eddig mért legnagyobb sebességhez, a fényterjedés sebességéhez hasonlítjuk őket. Látnivaló, hogy az α -sugarak sebessége általában nem sokkal tér el a fénysebesség egyhuzadától. Ha az α -részecskének semmi akadály útját nem állaná, egymásodperc alatt hosszabb utat tenne meg, mint az egész föld-átmérő. (12.756 *km.*) Könnyű elgondolni, hogy ilyen hatalmas sebességgel mozgó anyagi részecske nem kis mozgási energiával van fölruházva, miután tömege is aránylag jelentékeny. Ez magyarázza meg azt a nagy energiamennyiséget, amely egy gramm bomlástermékeivel egyensúlyban lévő rádium (radioaktív egyensúlyról lásd 33. oldalt) másodpercenként kilövelt körülből 170 milliárd α -részecskéjének rajában rejlik. Kísérleti úton megállapították, hogy ismert mértékkel

mérve mekkora az az energiamennyiség, amelyet az 1 g rádium által 1 óra alatt kilövelt α -sugarak továbbítanak. A mérésnél úgy jártak el, hogy megmérték, illetőleg kiszámították; mennyi hőenergiát kapott egy vastag ólomlemez a beléje burkolt rádiumkészítmény α -részecskéitől, amelyeknek mozgási energiája az ólomlemezben hőenergiává alakult, miközben ők maguk elvesztették sebességüket, azaz az ólomburokban «elnyelődtek». Rutherford és Robinson számításai szerint 1 g rádium egy óra alatt 135 g-kalória hőenergiát termel. Stefan Meyer, Hess és Hönigschmied együttesen végzett kísérleteik alapján 1 g rádium hőtermelő képességét 137 g-kalóriának* találták. Ez az érték a rádiumkészítmény öregedésével még mintegy 20%-kal növekszik. Ennek a mindenesetre jelentékeny hőenergiának, kerekén 90%-a ered az α -rajok mozgási energiájából.

Ha az α -sugarakat kibocsátó radioaktív test közeléből kiindulva azt keressük, hogy az α -sugarak milyen távolságban észlelhetők még, akár a levegőt elektromosan vezetővé tévő képességük útján, akár fotografuslemezre való hatásuk segítségével, akár pedig egyes testeket világításra készítő tehetségük alapján, azt fogjuk találni, hogy közönséges légnyomás mellett és közönséges hőmérsékletű levegőben az összes ismert α -sugárzó test α -sugarai alig néhány centiméter távolságig fejtenek ki hatást. Óriási kezdősebességük ellenére az $\text{U} \alpha$ -sugarai például csak 2,67 cm távolságig észlelhetők, a ThC' α -sugarai pedig 8,62 cm-ig. A leve-

* 1 g-kalória az a melegmennyiség, mely 1 g víz hőfokát 1 Celsius fokkal emeli.

gőn előrehatoló α -sugarak ugyanis állandóan akadályokba — a levegőt alkotó molekulák millióiba — ütköznek és ez ütközések következtében sebességük csökken. Ha sebességük egy határértéket elért (ez a kritikus sebesség, körülbelül 8100 kilométer másodpercenként), akkor a részecskék elvesztik hatóképességüket, elektromos töltésük neutralizálódik és közönséges héliumatomokká válnak. Azt a távolságot, amelyen belül valamely rádioaktív anyag α -sugarai 1 atmoszféra nyomású és 15° C hőmérsékletű, levegőben hatásukat kifejteni képesek és amelyen túl hatásuk hirtelen megszűnik, az α -sugarak hatótávolságának nevezzük. A hatótávolság egy és ugyanazon elem α -sugarainál állandó, a különböző rádioaktív anyagoknál különböző és 2·67—8·62 *cm* között változik.

A hatótávolság a levegő (vagy más gáz) nyomásával fordítottan a hőmérséklettel egyenesen arányos; nagy vákuumban ennél fogva az α -sugarak hatótávolsága igen nagy. Folyadékokban és szilárd testekben az α -sugarak hatótávolsága sokkal kisebb: ennek ezen anyagok nagyobb sűrűsége az oka. Itt csupán tized- vagy századmilliméternyi hatótávolságokról van szó. Egy urániumkészítmény α -sugarait például már 0·022 *mm* vékony alumíniumréteg elnyeli, a sokkal nagyobb sebességű, ThC'ből eredő α -sugarakat pedig 0·065 *mm*-es alumíniumréteg tarthatja vissza.

Az α -részecskék hatótávolságának ismerete úgy gyakorlati, mint elméleti szempontból fontos. Gyakorlati szempontból azért, mert a rádioaktív elemek egy részét α -részecskéik hatótávolsága alapján ismerhetjük föl; elméleti szempontból pedig azért fontos, mert a hatótávolságnak meghatározott összefüggése van az

α -részecskét kilövelő radioaktív elem sok fizikai és kémiai állandójával.

Az α -részecskéknél azt a tulajdonságát, amelynek következtében hatásuk pályájuknak minden pontjában közelítőleg egyenlően jelentkezik és a hatótávolság határán hirtelen megszűnik, a 2. ábra érzékelte. Ezen a fotografikus ábrán egy szellemes kísérleti fogással láthatóvá van téve több α -részecskének a pályája. Az ábra előállításához Wilson az α -sugaraknak azt a tulajdonságát használta fel, hogy azok a levegőt ionizálják, azaz a levegőt pozitív és negatív töltésű részecskékre bontják szét. Wilsonnak a ködképződést vizsgáló tanul-



2. ábra.

mányaiból már régebben ismeretes volt, hogy vízgőzzel túltelített térben a vízgőz mikroszkópos nagyságú cseppekben való lecsapódása, azaz a ködképződés, akkor indul meg könnyen, ha a vizsgálat alá vett térben finom lebegő porszemek is vannak; ha nincsenek benne porszemek, a köd alakjában való lecsapódás sokkal nehezebben indul meg. Wilson később azt is tapasztalta, hogy porszemek helyett a levegőben jelenlévő vagy mesterségesen létrehozott

ionok (elektromos töltéssel bíró részecskék) is megindítói lehetnek a ködképződésnek. A 2. ábra előállításánál Wilson vizgőzzel túltelített levegőben haladó α -sugarak útját úgy tette láthatóvá, hogy fényt reflektáltatott egy fotografálókészülék lencserendszerére azokról az apró ködsemcsékről, amelyek az α -sugarak útjában keletkező gázionokon képződtek. Egy-egy ilyen pályának a fehér képét sok millió vízcsepp reflektálta. A kép világosan mutatja, hogy az α -sugárzás tényleg különálló részecskék rajának tekinthető; az is látható, hogy ezeknek ionizáló hatása egész láthatóvá tett pályájukon egyenletes, miután a fehér pályaképek egyenletes erősségűek egész hosszukban. A kép homogén, tehát egyenlő hatótávolságú α -sugarakat kilövelő rádióaktív anyag felhasználásával készült, mégis különböző hosszúságú pályaképeket látunk rajta. Ennek az az oka, hogy a fotografálólemezen csak a vele párhuzamos síkban haladó α -részecskék pályája ad egyforma hosszúságú vonalat, minden más α -részecskének a pályája perspektivikusan rövidebbnek tűnik fel. Annyi közvetlenül is észlelhető az ábráról, hogy minden α -sugárnak van éles végpontja: hatótávolsága.

Az α -sugaraknak nagy sebességgel kiröpített önálló anyagi voltát Crookesnak könnyen utánozható szép kísérlete bizonyítja. Kísérlete azon a tapasztalaton alapul, hogy meghatározott kémiai szennyezéseket tartalmazó kristályos cinkszulfid az α -sugarak hatására sötétben világít. Ha egy ilyen cinkszulfiddal egyenletesen bevont és α -sugarak hatásának kitett papirlapot nagyítóval megfigyelünk, akkor azt látjuk, hogy a cinkszulfidernyő az α -sugárzó test közelében összefüggő fénylő felületet mutat, amelynek fénye azonban

hol intenzívebb, hol gyengébb: olyan, mintha hullámzó mozgásban volna. Az ernyő távolabb lévő részein ellenben egyes külön álló fénypontok felvillanását lehet megfigyelni. A nagyítóval látható egész kép olyan, mintha a villogást egyes részecskéknek a cinkszulfidhoz sűrűbben vagy ritkábban történő ütdődése okozná. Amint tudjuk, a jelenségnek, amelyet szcintillálásnak hívunk, tényleg az érzékeny cinkszulfid-kristályokhoz ütdődő α -részecskék az előidézői. Crookes egy igen ügyes demonstráló készüléket állított össze ennek a jelenségnek bemutatására. Egy kis fémhenger fenekeére cinkszulfidernyőt helyezett, efölé csekély távolságban egy mozgatható fémtűt illesztett, bevonván annak hegyét igen kismennyiségű rádiumsóval, végül lezárta az egészet egy kellő magasságban elhelyezett nagyítólencsével. Ha egy ilyen szpintariszkóp nevű készülékbe, sötétben huzamosan pihentetett szemmel beled nézünk, akkor a tűnek helyes elhelyezése mellett, a látómezőben igen szépen látni az α -sugarak ütközési helyein jelentkező felvillanásokat.

1 g bomlástermékeitől mentes rádium egy másodperc alatt $3.72 \cdot 10^{10}$ (37200000000) α -részecskét lövel ki; 3 α -sugárzó bomlástermékével egyensúlyban lévő rádium négyszerennyit. Ez a kísérleti adat Rutherford és Geiger méréseiből ismeretes. Mérések eredményeként ismeretes az is, hogy 3 α -sugárzó bomlástermékével egyensúlyba került 1 g rádium 167 mm^3 heliumgázt termel évenként. Ebből kiszámolható, hogy 167 mm^3 He-gázban $3.72 \times 10^{10} \times 4 \times 365 \times 86400 = 4.58 \cdot 10^{18}$ He-atom van. Teljesen más mérésekből úgy találták, hogy 1 cm^3 gázban általában $2.71 \cdot 10^{19}$ gázrészecske van. Ha ez igaz, akkor ez alapon a 167 mm^3

He-gázban $2 \cdot 71 \cdot 10^{19} \times 0 \cdot 167 = 4 \cdot 53 \cdot 10^{18}$ legkisebb részecskének kell lenni. Amint látható, ez a két egymástól egészen független alapokkal rendelkező számítás igen jó közelítéssel azonos számú gázrészecskéből állónak mutatja a kérdéses 167 mm^3 He-gázt. Ebben a jó egyezésben a természettudomány nyomós bizonyítékát látja az anyagról alkotott atomisztikus fölfogása helyességének.

A különböző β -sugárzó radioaktív anyagok β -sugárzása a mágneses térben való viselkedése alapján nagy sebességgel haladó, negatív töltéssel bíró anyagi részecskékből áll. Ennélfogva a β -sugarak minőségileg a Röntgen-csővek negatív pólusáról kiinduló úgynevezett katódsugarakkal azonosak, különbség csak a részecskéik, az ú. n. elektronok, sebességében van. A katódsugarak elektronjai jóval lassabban haladnak, mint a β -sugarak elektronjai. A β -részecskék sebessége a fény terjedési sebességének* $0 \cdot 25$ — $0 \cdot 99$ része között változik, sőt a RaC_1 kilövelte elektronok $0 \cdot 998$ fénysebességűek. A katódsugarak és β -sugarak részecskéinek, tehát az elektronoknak a tömege $0 \cdot 898 \times 10^{-27} \text{ g}$, azaz egy H-atom tömegének $1/1834$ része, elektromos töltése mennyiségileg a hidrogén iontöltésével egyenlő azzal a különbséggel, hogy a hidrogén iontöltése pozitív, míg az elektron töltése negatív.

A β -sugarak áthatoló képessége sokkal nagyobb, mint az α -sugaraké. Ez érthető is, hiszen sokkal nagyobb a sebességük is. Az α -sugarak 14.000 — 20.600 km -es sebességével szemben a β -sugaraknak 80.000 —

* A fény terjedési sebessége 300.000 kilométer másodpercenként.

299.000 *km*-es sebessége áll. Ennek megfelelően a β -sugarak hatását érzékeny műszerrel a sugárzó testtől több méternyi távolságban is megfigyelhetjük. A β -sugarak ionizálóképessége az α -sugarakéval összehasonlítva elenyészően kicsiny; a fényérzékeny lemezre azonban sokkal erősebben hatnak és egyes testeket világításra indító képességük szintén megvan; ez azonban annyiban különbözik az α -sugarakétól, hogy egyes testek, mint a kristályos cinkszulfid, az α , mások meg, például a platinciánbárium, a β -sugarakkal szemben érzékenyebbek.

A β -sugaraknál általában nem beszélhetünk hatótávolságról. Hatásuk egész pályájukon végig észrevehetően, fokozatosan csökken, de nem szűnik meg, bizonyos meghatározott távolságban, mint az α -sugaraké, hanem észlelhető mindaddig, míg azt a mérőműszerek érzékenysége lehetővé teszi. A β -sugarak hatásának ezt a fokozatos csökkenését több különböző tényező együttes szereplése idézi elő. Ezek egyike a β -sugarak azon tulajdonsága, amelyet szóródásnak nevezünk és amelynek az a lényege, hogy a β -részecskék nagy részét a közeg, amelyen áthaladnak, eltéríti eredeti irányából. A β -sugarak hatáscsökkenésének tulajdonképeni előidézője tehát a szóródás, amellyel szemben működik (de nem múlja felül) a β -részecskék által előidézett ú. n. másodlagos sugárzás. A β -sugarak ugyanis azokból a közegekből, amelyeken áthaladnak, kisebb-nagyobb mértékben aránylag kisebbességű elektronsugárzást váltanak ki, amelynek hatása hasonló a β -sugarak hatásához. Ezt a sugárzást másodlagos, szekunder sugárzásnak szokás nevezni. Ha a β -sugarak útjukban nem szóródnának és nem idéznének elő másodlagos sugár-

zást, akkor a β -sugarak is mind egyenlő távolságban érnék el azt a minimális sebességet, amelyen alul már hatást nem tudnak kifejteni és akkor a β -sugaraknál is beszélhetnénk hatótávolságról.

Különböző eredetű és így különböző áthatoló képességű β -sugarakat bizonyos praktikus számokkal jellemezhetünk. Ha minden β -sugárzásról megmondjuk, hogy egy önkényesen választott anyag, pl. alumínium, hány milliméter vastag rétegének átjárása után csökken a hatása a felére, akkor ezekkel a számokkal az egyes β -sugárzások áthatolóképességét jellemezhetjük.

Így például az UX nevű radioaktív anyag két-féle β -sugarat lövel ki; ezek közül az egyik sugárfajta hatását felére csökkenti 0.0136 mm vastag alumíniumlemez, míg a másikat 0.481 mm-es. Szokás a kevésbé áthatolásra képes β -sugárzást lágyabbnak, az áthatolóbbat keményebbnek nevezni. Ismerünk 0.25 fénysebességnél kisebb sebességű β -sugarakat is. Ezeket δ -sugaraknak is nevezik. Gyakran a másodlagos sugarakat nevezik δ -sugaraknak.

A radioaktív anyagok által kibocsátott harmadik sugárfajta a γ -sugárzás. Ezt sem elektromos, sem mágneses tér nem befolyásolja, minthogy lényegében a fényvel egyező természetű sugárzás és a fénytől csupán hullámhosszában különbözik. A γ -sugarak hullámhossza leginkább a Röntgen-sugarak hullámhosszát közelíti meg és nem egyéb, mint egy kis hullámhosszú ultraibolya sugárzás. Az alábbi táblázat világosan tünteti föl, hogy milyen helyet foglalnak el a γ -sugarak az ú. n. étersugarak között

	hullámhossz* cm-ben
elektromos hullámok	∞ 2×10^{-1} **
ismeretlen sugárzás	$2.10^{-1} - 3.4 \times 10^{-2}$
ultravörös sugarak	$3.4.10^{-2} - 8 \times 10^{-5}$
fénysugarak	$8.10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$
ultraibolya sugarak	$4.10^{-5} - 1.4 \times 10^{-6}$
ismeretlen sugárzás	$1.4.10^{-6} - 1.3 \times 10^{-7}$
Röntgen-sugarak	$1.3.10^{-7} - 1 \times 10^{-9}$
γ -sugarak	$1.4.10^{-8} - \text{kb. } 5 \times 10^{-11}$.

Ahhoz, hogy technikai eszközökkel állítsunk elő olyan hullámhosszú sugárzást, mint amilyen hullámhossz a kemény γ -sugarakat jellemzi, még nincsenek meg az eszközeink, mert erre a célra kb. 1 millió Volt feszültségre volna szükség.

A γ -sugarak áthatoló képessége általában sokkal nagyobb, mint a β -sugaraké. Hatásuk pályájuk mentén egészen hasonlóképpen csökken, mint a β -sugaraké, csak hogy sokkal nagyobb távolságokban észlelhető. A világháború előtt, a wieni Institut für Radiumforschung pincéjében, néhány deciméter falvastagságú páncélszekrényben több gramm rádiumsót őriztek. Az c helyiségben, a különböző helyeken elhelyezett világítóernyők mind élénken világítottak a vastag páncélszekrény falán áthatoló γ -sugárzás hatására. A γ -sugarak áthatoló képességének jellemzésére ugyanolyan számértéket használnak, mint a β -sugarakénak jellemzésére. Megadják valamely közeg azon rétegvastagságát, amely a γ -sugárzás hatását épen a felére csökkenti. Amíg

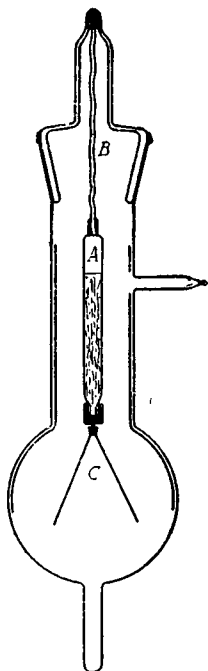
* Hullámhossz = két hullámhegy vagy két hullámvölgy közti távolság.

** $10^1 = 10$, $10^{-1} = 0.1$, $10^{-2} = 0.01$, $10^{-3} = 0.001$ stb.

azonban a β -sugaraknál az általános összehasonlítási alap az aluminium volt, addig a γ -sugaraknál az ólmot választották erre, mert annak nagyobb lévén a fajsúlya, nagyobb az elnyelőképessége.

Miként a β -sugarak, úgy a γ -sugarak is az α -sugaraknál kevésbé ionizálják a levegőt, de erősebben hatnak a fényérzékeny lemezre. A γ -sugarak is világításra készítetnek egyes testeket s e tekintetben épúgy viselkednek, mint a β -sugarak.

Azt, hogy az α - és β -sugarak elektromos töltést továbbítanak, Strutt a következő kísérlettel igazolta. Aránylag nagyobb mennyiségű rádiumvegyületet egy vékonyfalú üvegcsőbe forrasztott. (3. ábra.) (A). A cső alsóvégebe egy, a rádiummal érintkező platinadrótdarab volt befórrasztva, ezen pedig két (C) aranyfűstlemez függött. Ezt az üvegcsövet egy szigetelő kvarcfonál (B) segítségével egy lerajzolt alakú kis lombikban helyezte el. Ennek belső oldalát úgy látta el fémbevonattal, hogy az földelhető

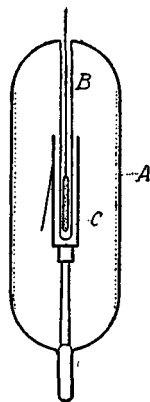


3. ábra.

legyen és a lemezeket a lombik belsejében meg lehessen figyelni. Ha a lombik levegőjét kiszivattyúzta, akkor a kezdetben egymáshoz simuló két aranylemez egymástól elvált és mindaddig távolodott, míg el nem érte a lombik belső falának a fémbe-

vonatát. Erre a két lemez hirtelen visszatért kezdeti helyzetébe, majd megismétlődött a leírt jelenség. A lemezeknek ez az állandóan megismétlődő kilengése addig tart, amíg az A csőben α - és β -sugárzó radioaktív anyag van, illetőleg míg az aranyfüst lemezek el nem szakadnak. Az üvegcsövecskébe forrasztott régiebb rádiumvegyületből ugyanis α -, β - és γ -sugarak indulnak ki. A β -sugarak áthatolnak az A cső vékony üvegfalán, az α -sugarak nem. Ennek következtében a rádiumvegyületben és a vele érintkező aranyfüstlemezekben pozitív elektromos töltés halmozódik föl, amely azután előidézi a lemezek egymástól való távolodását. Amint eléri a lemezek a lombik belső földelt fémbevonatát, azonnal elvesztik a töltésüket és visszatérnek eredeti helyzetükbe. A külső edényben azért kell lehetőleg jó vákuumot létesíteni, mert ellenkező esetben a β -sugarak ionizálnák a lombikban lévő levegőt és így a lemezek a jó vezetővé vált levegőn keresztül elvesztenék töltésüket, mielőtt kilengének.

A Strutt-féle kísérletet kis módosítással úgy is be lehet rendezni, hogy az ne az α -sugarak elektromos töltésének igazolása legyen, hanem a β -sugaraké. Ha szélesebb, zárt, belül fémlemezzel bevont üvegcsőbe (4. ábra) fölül nyitott keskeny és vékony falú üvegcsövet (B) forrasztunk, ezt szigetelő kvarcúdon nyugvó fémcsővel (C) vesszük körül, a fémcső oldalára pedig aranyfüstlemezt illesztünk, akkor már csak a belső fémbevonat földeléséről és a cső jó evakuálásáról kell



4. ábra.

gondoskodnunk, hogy a készülék a β -sugarak töltésének kimutatására alkalmas legyen. Ha ugyanis a B üvegcsőbe egy rádiumvegyületet tartalmazó készítményt juttatunk, akkor a B cső falán áthaladó β -sugárzás a C fémcsőbe ütődve, annak leadja a töltését, míg az α -sugarakat az üveggel teljesen visszatartja. A fémcsőben fölhalmozódó töltés az aranyfüstlemez kilengését idézi elő, amely fokozatosan növekedve, végül akkora lesz, hogy a lemez a fémbevonathoz ér és ezáltal elveszítve a fölhalmozódott töltését, mozgása előről kezdődik.

Ezt a kísérleti berendezést, akár az α -, akár a β -sugarak töltésének igazolására van alakítva, Strutt-féle rádiumórának hívják.

A radioaktivitás elmélete.

A radioaktiv jelenségek fölfedezése után hamarosan megszülettek azok a magyarázatok, amelyeknek célja az volt, hogy az új jelenséget a meglévő ismeretekkel egységes rendszerbe foglalják. Ez azonban nem volt könnyű feladat, mert csupán arra az egy kérdésre, hogy az a nagy észlelhető energiamennyiség honnan ered, amely a radioaktivitás jelenségének lényeges vonása, kielégítő feleletet adni sokáig nem sikerült. Rövid ideig az a fölfogás tartotta magát, hogy hasonlóan a sötétben világító egyes testek világításához, amelynek okozója a nap elnyelt fényenergiája, a radioaktiv sugárzást is ez idézi elő. Ezt a fölfogást azonban még Becquerel észlelései megdöntötték; már ő észrevette ugyanis azt, hogy a radioaktiv sugárzás erőssége teljességgel független attól, hogy a radioaktiv anyag-

nak volt-e módja fényenergiát elnyelni vagy sem. Ez a magyarázat tehát helytelennek bizonyult. Fölváltotta ezt az a nézet, hogy a környezet hőenergiája alakul át a rádioaktív testek segítségével kisugárzott energiává. Ez a felfogás sem volt tartható, mert Curie bebizonyította, hogy a rádioaktív testek mindig magasabb hőmérsékletűek, mint a környezetük, ha tehát hőalakjában a környezetből venné fel a rádioaktív test a kisugárzott energiát, akkor ennek a hőenergiának az alacsonyabb hőmérsékletű környezetből a magasabb hőmérsékletű rádioaktív testbe kellene önként átjutnia ez azonban nem lehetséges, mert egy alapvető természeti törvényszerűséggel ellenkezik. Amíg a rádioaktivitásban jelentkező energia forrását a rádioaktív elemi testeken kívül keresték, a jelenség kielégítő magyarázatát nem sikerült megalkotni. Eközben szaporodtak azok a tapasztalati tények, amelyek valószínűvé tették, hogy a kisugárzott energia a rádioaktív elemi testek atomjaiból ered. Kezdetől fogva ismeretes volt, hogy az α - és β -sugárzás anyagi részek emissziójának tekintendő. 1899-ben Curie és Curiené közölték azt a tapasztalataikat, hogy a rádium tartalmú készítmények közelében lévő tárgyak rövid időre sugárzókká válnak. Hasonló «indukált áktivitást» észlelt 1900-ban Rutherford a thorium vegyületek közelében lévő tárgyakon. Ezúton ismertté vált, hogy a rádium, thorium (és később az áktinium) nevű rádioaktív elemi testek sugárzásuk közben egy újabb gázalakú rádioaktív testet termelnek, amelyet azután elneveztek rádiumemanációnak, thoriumemanációnak és áktiniumemanációnak. 1900-ban Crookes tapasztalta, hogy az uránium vegyületeiben idővel egy, az urániumtól elválasztható és annál sokkal áktivabb

test keletkezik, amely, maga az urániumtól elválasztva, meglehetősen gyorsan elbomlik (aktivitása megszűnik). Rutherfordnak és Soddynak sikerült a thorium vegyületeiben egy a thoriumból keletkező rádioaktív anyagot találni, a ThX-et. Ezeknek a kísérleti tényeknek alapján, valamint Curienének azon alapvető tapasztalatát felhasználva, hogy a radioaktivitás elemi tulajdonság, 1902-ben Rutherford és Soddy fölláították az úgynevezett dezintegrációs elméletet, ezzel megadták a rádioaktív jelenségek egységes szemléletéhez az elméleti alapot. Elméletüknek lényege, hogy a rádioaktív elemek atomjai állandó bomlásban vannak és e bomlásnak a következménye a sugárzás; a rádioaktív anyag bomlási sebessége a mindenkor épen jelenlévő rádioaktív anyag mennyiségével arányos, azaz a bomlási sebesség exponenciális egyenlettel fejezhető ki. Ennek az elméletnek a matematikai részét Rutherford és Soddy a ThX-bomlásának mérési adataiból állították föl és azután több rádioaktív anyag viselkedésének mérésével igazolták. Miután az elmélet matematikai részét a tapasztalat minden esetben pontosan igazolta, az elvi részében foglalt szokatlan állítás: egyes atomok bomlása, lassanként általánosan elfogadottá vált. Sőt, mivel fölvetette azt a kérdést, hogyan történik vajjon a rádioaktív atomok elbomlása, alapja lett azoknak a kutatásoknak, amelyek az atomok általános belső szerkezetére igyekeznek világot vetni és amelyekről e könyv más helyén még szó lesz. Röviden egyelőre azt a képet alkothatjuk magunknak a rádioaktív atomok elbomlásáról, hogy az egy héliumatom (α -részecske) vagy egy elektron (β -részecske) leválása közben robbanásszerűen megy végbe és eközben az atom belső

szerkezetében rejlő kötött energia egy része szabaddá válik; ez a bomlás minden külső tényező hatása nélkül, az atomon belül, önként megy végbe és sem elősegíteni, sem gátolni nem tudjuk. Ennek a bomlásnak a következménye a sugárzás. Egyes rádioaktív anyagok csak α -, mások β - és γ -sugarakat lövelnek ki; vannak olyanok is, amelyeknek átalakulását oly gyenge β -sugárzás kíséri, hogy az alig mutatható ki. Az átalakulási termékek rendszerint szintén rádioaktívek. Csak néhány olyan esetet ismerünk, amelynél az átalakulás terméke inaktív vagy olyan lassan bomló, hogy bomlása nem mutatható ki.

Hogyha ismerjük valamely rádioaktív elem mennyiségét, N_0 -t (vagy sugárzásának a mennyiségével arányos erősségét J_0 -t) valamely tetszőleges 0 időpontban, akkor Rutherford és Soddy elmélete értelmében a következő összefüggés adja meg a tetszőleges kezdeti időponttól számított t idő múlva még jelenlévő rádioaktív elem N_t mennyiségét (vagy az ezzel arányos I_t sugárzásintenzitást)

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

vagy

$$J_t = J_0 \cdot e^{-\lambda t}.$$

Amint látható, ezzel a matematikai képlettel azonnal számolhatunk, ha ismerjük e -nek és λ -nak jelentését. e a természetes logaritmusok alapszáma 2.71828..., és λ , minden egyes rádioaktív elemnél más és más számértékű jellemző természeti állandó; bomlási együtthatónak szokás nevezni. Bomlási együtthatónak tehát azt a számot nevezzük, amely kifejezi, hogy az idő egysége alatt a kérdéses rádioaktív anyag egységnyi mennyi-

ségének hányadrésze bomlik el. Pl. a rádiumemanáció bomlási együtthatója $\lambda = 2.082 \cdot 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$. Ez tehát azt jelenti, hogy a rádiumemanáció egy g -jából másodpercenként 0.000002082 gr vagy pedig $100.000.000$ atomja közül 2082 atom bomlik el. A bomlási együttható megállapítása a legegyszerűbben oly módon történik, hogy kísérletileg megállapítják a kísérlet megkezdésekor jelenlévő radioaktív anyag mennyiségét, N_0 -t, vagy az ezzel arányos kezdeti sugárzásintenzitást, J_0 -t, majd egy bizonyos pontosan megmért t idő múlva újból megállapítják a még jelenlévő radioaktív anyag mennyiségét, N_t -t vagy az ezzel arányos sugárzásintenzitást, J_t -t és akkor ezen adatokat ismerve, az

$$J_t = J_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

egyenlet fölhasználásával kiszámítják λ értékét. A bomlási együttható ilyen egyszerű módon való meghatározása csak azoknál a radioaktív elemeknél lehetséges, amelyeknek bomlási sebessége olyan, hogy jól mérhető t idő alatt jól mérhető változás áll elő a sugárzásintenzitásban. Ilyen radioaktív elem azonban kevés van. Ezért más módszerek is használatosak a λ értékek meghatározására, ezekre azonban majd az egyes radioaktív elemek tárgyalásánál térünk rá. A bomlási együttható reciprokértékét, $\frac{1}{\lambda}$ -t, amelynek külön fizikai jelentése is van, a radioaktív anyagok átlagos életkorának nevezik és Θ -val (a német irodalomban τ -al) jelölik. Valamely radioaktív anyag atomjai közül némelyek igen hosszú ideig változatlanok, mások viszont keletkezésük után rövid időre már el is bomlanak. Egy és ugyanazon radioaktív anyag atomjai tehát a

legkülönbözőbb életkorúak és ezen életkorok statisztikai középértékét, vagyis átlagos értékét adja meg Θ értéke. A rádium bomlási együtthatója $\lambda = 4.38 \times 10^{-4} \text{ év}^{-1}$, vagyis évenként az épen jelenlévő mennyiségének ke-rek számban 0.0440%-a bomlik el. Átlagos életkora ennél fogva

$$\Theta = \frac{1}{0.000438} = 2280 \text{ év}$$

és ez annyit jelent, hogyha a rádiumatomok bomlásukat és az ezzel járó minden hatásukat valamennyien egyenletesen és egyenlő hosszú ideig fejtenék ki és azután egyszerre szüntetnék meg, akkor ez 2280 év múltán következnek be. Elképzelésünk számára e szám ismerete a bomlási együtthatónál sokkal alkalmasabb és sokszor könnyebben is számolunk vele. Így például az átlagos életkor segítségével könnyen kiszámíthatjuk a rádiumatomban rejlő energiamennyiséget vagy azon hőmennyiséget, amely 1 gramm rádium teljes elbomlásakor felszabadul. Ugyanis, mint a 15. oldalon említettük kísérleti adatok szerint, egy gramm rádium óránként 137 kalória meleget fejleszt, ez a rádium öregbedésével egyideig (és pedig összesen körülbelül 200%-kal) emelkedik. Ekkor összes hőfejlesztő képessége grammonként 164 kalória. A rádium azonban bomlik, az 1 grammnyi mennyiség mindig kevesebb és kevesebb s e kevesebb mennyiségnek hőfejlesztő képessége is ennél fogva kisebb és kisebb lesz. E csökkenés a végtelenbe nyulik. Ha a rádium átlagos életkorát vesszük számításunk alapjául, úgy e fokozatos csökkenés számításán kívül esik. Ugyanis, mint fönntebb mondottuk, az, hogy a rádium átlagos életkora 2280 év, azt jelenti, hogy ha a

rádiumatomok mind egyforma ideig élnének, vagyis hatásaikat, tehát hőhatásukat is egyenlő ideig egyenletesen fejtenék ki s aztán egyszerre szüntetnék meg, akkor ez 2280 év alatt következne be, tehát egy gramm rádiumban rejlő energia mennyiségét kalóriákban kifejezve megkapjuk, ha 2280 év alatt eltelt órák számát 164-gyel szorozzuk; vagyis 1 g rádiumban rejlő hőenergia $24 \times 365 \times 2280 \times 164 = 3275539200$ kalória, kerek számban $3\frac{1}{4}$ milliárd grammkalória.

A különböző rádioaktív elemek bomlási együtthatóját és átlagos életkorát táblázatokba összefoglalva minden nagyobb kézikönyv megadja épen úgy, mint ahogy atomsúlyokat vagy más kémiai vagy fizikai állandókat megad.

Rádioaktív anyagokkal való műveleteknél a számításokat a bomlási együttható vagy átlagos életkor segítségével végezzük. E két fogalom azonban sokkal elvontabb, semhogy ezek számértékének ismerete egy-egy rádioaktív anyag bomlási sebességéről egyszerű rátekintésre tiszta képet adna. Ezért az egyes rádioaktív anyagok bomlási sebességének ismertetésére a gyakorlati életben egy matematikailag bonyolultabb, de könnyebben megérthető számértéket, a bomlási félidőt használjuk. (Jelzése T.) Bomlási vagy átalakulási félidőnek azon időt nevezzük, amely alatt valamely rádioaktív anyag mindenkor épen jelenlevő mennyiségének fele elbomlik. Pl. a rádiumemanáció bomlási félideje 3·81 nap. Ez azt jelenti, hogyha nekem jelen pillanatban $1\cdot00\text{ mm}^3$ rádiumemanációm van (az anyaelemétől, a rádiumtól elválasztva), akkor ebből 3·81 nap múlva csupán $0\cdot50\text{ mm}^3$ marad. Ujabb 3·81 nap múlva pedig csak $0\cdot25\text{ mm}^3$ és így tovább.

A bomlási félidőt λ értékének ismerete alapján kiszámíthatjuk, de épúgy, mint a bomlási együttható és átlagos életkor számértékeit, ennek értékét is minden kézikönyvben megtaláljuk, sőt ezt az értéket találjuk leggyakrabban feltüntetve. A 37. és 38. oldalon közölt táblázatban mi is csak ez értéket adjuk meg.

A bomlási együttható, az átlagos életkor és a bomlási félidő számértékeit együttvéve rádioaktív állandóknak nevezzük.

Kapcsolatosan az elmondottakkal, mivel már a 14. oldalon előfordult s még többször használni fogjuk, ehelyütt még röviden a rádioaktív egyensúly fogalmát ismertetjük: A rádioaktív elemek a fentiek szerint, aközben, hogy belőlük egy héliumatom (α -részecske) vagy egy elektron (β -részecske) lehasad, folytonos bomlást szenvednek s a keletkezett új elem rendszerint ismét rádioaktív. Az átalakuláskor lehasadt héliumatom vagy elektron ilyenkor eltávozik (kilövelődik), a másik termék azonban, kivéve a gázalakú rádium-, thorium- és áktiniumemanációkat, az anyaeleme mellett marad (zárt térben való átalakuláskor az emanációk is ott maradnak). Az új elem tehát anyaeleme mellett marad s míg az anyaelem mennyisége fogy, az új elem mennyisége szaporodni fog. Ez új elem mennyiségének növekedése azonban, mivel ez is rádioaktív, tehát szintén bomlik, nem fog addig tartani, míg az anyaelem egész tömege az új elemmé átalakult, hanem már előbb be fog következni az a helyzet, hogy az anyaelem és átalakulási termékének viszonyos mennyisége állandó marad. Egyszerű meggondolásból rájöhethünk, hogy ez állapot akkor következik be, amikor a bomlási termékből az idő egysége alatt annyi keletkezik, amennyi abból

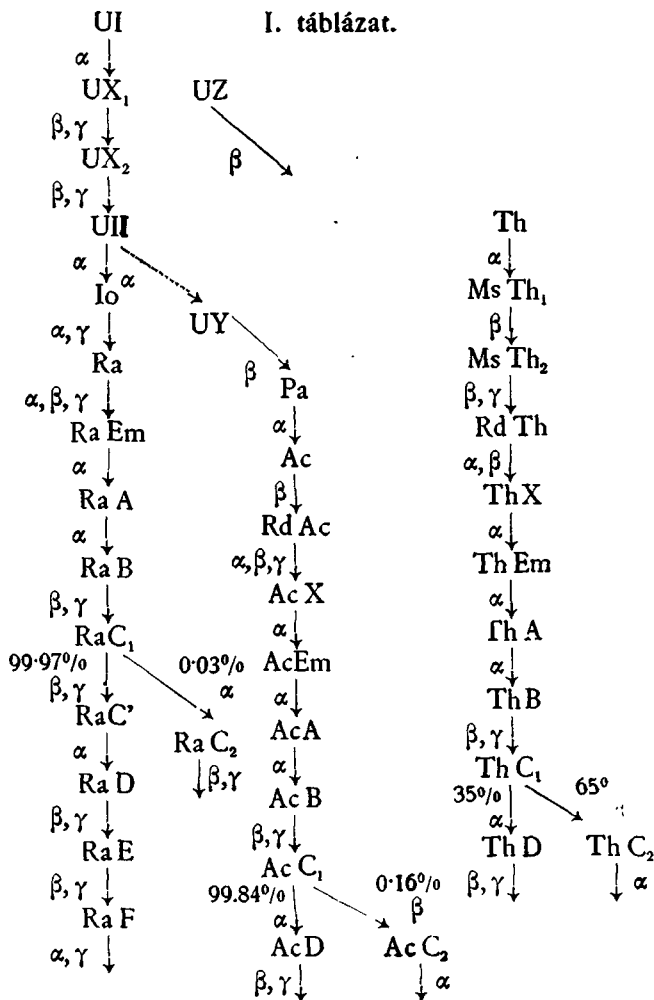
ugyanannyi idő alatt el is bomlik. Ilyenkor azt mondjuk, hogy a két rádioaktív elem egymással egyensúlyban van. Mátematikailag be lehet bizonyítani, hogy egyensúly esetén egy rádioaktív anyag és valamely bomlási termékének viszonyos mennyisége fordítva arányos a két elem bomlási együtthatójával vagy bomlási félidejével és egyenesen arányos azok átlagos életkorával.

Rádioaktív elemek.

Az atombomlás elméleti alapján végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy csaknem az összes ismert rádioaktív elemek vagy egy héliumatom leválása, vagy egy elektron leválása közben újabb rádioaktív elemmé alakulnak. A kálium és rubidium kivételével az összes ismert rádioaktív elemek az urániumból vagy a thoriumból képződnek. A kálium és rubidium áktivitása ezideig még kevésbé tanulmányozott. A túloldali I. táblázat tartalmazza az urániumból és thoriumból képződő rádioaktív elemeket képződésük sorrendjében. A táblázatban az egyes elemek atomjegye mellé nyomott jelzések jelentik, hogy a jelzett elem α - vagy β -részecske kilövelése közben alakul át.*

* A táblázatban RaC_1 -el jelölt rádioaktív elemet a német munkák RaC -vel, a RaC_2 -t, RaC'' -vel, az AcC_1 -et AcC -vel, AcC_2 -t AcC' -vel, az AcD -vel jelölt elemet AcC'' -vel, a ThC_1 -et ThC -vel, a ThC_2 -t ThC' -vel, a ThD -t ThC'' -vel és végül a sorozatok végtermékeit (a táblázatban jelöletlenül hagyott nyilvégeket) RaG , AcD és ThD -vel jelölik. Az angol és francia irodalomban a jelzések ugyanazok, mint az itt használtak azon különbséggel, hogy az itt C_1 -el jelzett testeket egyszerűen C -vel jelölik.

I. táblázat.



A RaC_1 , AcC_1 , ThC_1 , U_{II} nevű radioaktív elemeknél a nyíl kétfelé ágazik; ez azt jelenti, hogy ez elemek egyidejűleg kétféle bomlást is szenvednek. Ez a kettős bomlás az U_{II} -nél mindkét irányban α -sugárzással történik, a másik háromnál α - és β -sugárzással. A keletkező kétféle bomlástermék mennyiségi viszonyai igen különbözők. Így például RaC_1 10.000 atomjából 3 alakul RaC_2 -vé, 9997-ből RaC' lesz; ellenben ThC_1 -nek 65%-a ThC_2 -vé alakul, 35%-a ThD'' -vé.

A II, III és IV táblázatokban közöljük a radioaktív elemek nevét, atomjegyét, a sugárzásának minőségét, bomlási félidejét és atomsúlyát. A táblázatban föltüntetett atomsúlyokra vonatkozóan szem előtt kell tartanunk azt, hogy mérhető mennyiségben csak igen kevés radioaktív elem áll rendelkezésünkre és így kísérletileg csak a thorium, uránium és rádium atomsúlya volt megállapítható, a többi elem atomsúlyát egyszerűen ezekből az atomsúlyokból Rutterford és Soddy elméletének segítségével azon föltevés alapján számították, hogy egy α -részecske kilövelése közben keletkezett elem atomsúlya egy héliumatom tömegével, tehát négy egységgel lesz kisebb, mint az anyaelem atomsúlya, a β -részecske kilövelése közben keletkezett elem atomsúlya ellenben nem fog az anyaelem atomsúlyától számbaveendő módon különbözni.

A táblázatban közölt elemek közül azoknak, amelyek a radioaktivitás ismereteinek fejlődése szempontjából fontosak, az alábbiakban rövid ismertetése található.

Az aktivitásáról legrégebben ismert uránium igen lassan bomló radioaktív test, úgy hogy közvetlen méréssel bomlásebességét jellemző bomlási együtthatóját nem lehet meghatározni. Közelítő pontossággal mégis

II. táblázat. Uraniumsorozat.

A z e l e m				
n e v e	j e l e	sugár- zása	bomlási félideje	atom- súlya
Uránium I	U I	α	4300 millió év	238·2
Uránium X ₁	U X ₁	$\beta\gamma$	23·8 nap	234
Uránium X ₂	U X ₂	$\beta\gamma$	1·14 perc	234
Uránium Z	U Z	β	6·7 óra	(?)
Uránium II	U II	α	1 millió év	234
Uránium Y	U Y	β	24·6 óra	230
Ionium	Io	$\alpha\gamma$	90.000 év	230
Rádium	Ra	$\alpha\beta\gamma$	1580 év	226
Rádiumemanáció	Ra Em	α	3·81 nap	222
Rádium A	Ra A	α	3·0 perc	218
Rádium B	Ra B	$\beta\gamma$	26·8 perc	214
Rádium C ₁	Ra C ₁	$\alpha\beta\gamma$	19·5 perc	214
Rádium C'	Ra C'	α	0·000000015 mp.	214
Rádium C ₂	Ra C ₂	$\beta\gamma$	1·32 perc	210
Rádium D	Ra D	$\beta\gamma$	16 év	210
Rádium E	Ra E	$\beta\gamma$	4·85 nap	210
Rádium F (Polonium)	Ra F (Po)	$\alpha\gamma$	136·5 nap	210

III. táblázat. Áktiniumsorozat.

A z e l e m				
n e v e	j e l e	sugár- zása	bomlási félideje	atom- súlya
Protoáktinium	Pa	α	12000 év	(230)
Áktinium	Ac	β	20 év	(226)
Rádioáktinium	Rd Ac	$\alpha \beta \gamma$	18·9 nap	(226)
Áktinium X	Ac X	α	11·2 nap	(222)
Áktiniumemanáció	Ac Em	α	3·92 mperc	(218)
Áktinium A	Ac A	α	0·002 mperc	(214)
Áktinium B	Ac B	$\beta \gamma$	36·1 perc	(210)
Áktinium C ₁	Ac C ₁	$\alpha \beta$	2·16 perc	(210)
Áktinium C ₂	Ac C ₂	α	(0·005 mperc)	(210)
Áktinium D	Ac D	$\beta \gamma$	4·76 perc	(206)

IV. táblázat. Thoriumsorozat.

A z e l e m				
n e v e	j e l e	sugár- zása	bomlási félideje	atom- súlya
Thorium	Th	α	16500 millió év	232·15
Mezothorium ₁	Ms Th ₁	β	6·7 év	228
Mezothorium ₂	Ms Th ₂	$\beta \gamma$	6·2 óra	228
Rádiorthorium	Rd Th	$\alpha \beta$	1·90 év	228
Thorium X	Th X	α	3·64 nap	224
Thoriumemanáció	Th Em	α	54·5 mperc	220
Thorium A	Th A	α	0·14 mperc	216
Thorium B	Th B	$\beta \gamma$	10·6 óra	212
Thorium C ₁	Th C ₁	$\alpha \beta$	60·8 perc	212
Thorium C ₂	Th C ₂	α	10·11 mperc	212
Thorium D	Th D	$\beta \gamma$	3·2 perc	208·0

sikerült megállapítani ezt a jellemző számot a már említett egyszerű törvényszerűség alapján, amely kimondja, hogy egyensúly esetén az egymásból keletkezett rádioaktív anyagok sorozatában bármely két tagnak viszonyos mennyisége fordítva arányos azok bomlási együtthatójával, függetlenül attól, hogy az utóbb következő tag közvetlenül az előbbiből keletkezik-e vagy még más rádioaktív anyag is ékelődik közéjük. Az olyan geologiailag régi korú urániumásványokban, amelyekről föltehető, hogy idők folyamán bennük a rádioaktív bomlástermékek egyensúlyának kialakulását semmi sem zavarta, a tapasztalás szerint az egyik bomlástermék, a rádium, aránylag elég jól mérhető mennyiségben és meghatározott arányban fordul elő. Sok kémiai meghatározás szerint geologiailag régi korú urániumásványokban a rádium az urániumnak $3 \cdot 3 \cdot 10^{-7}$ -ed-része. A rádium bomlási együtthatóját később ismertetendő igen gondos mérésekből ismerjük. Értéke: $\lambda_{Ra} = 1 \cdot 39 \cdot 10^{-11} \text{ sec}^{-1}$. Ezen számértékek, továbbá az uránium és a rádium atomsúlyának (238.2 és 226) fölhasználásával az uránium bomlási együtthatójának értéke $48.5 \cdot 10^{-18} \text{ sec}^{-1}$ -nek adódik. A belőle számítható *átlagos életkora* pedig 6.3 milliárd (10^9) év és bomlási félideje 4.5 milliárd év. Látható, hogy a bomláselmélet segítségülhívásával olyan számértékhez jutotunk, amelyet nem hogy mérni nem tudunk, hanem elképzelésünk számára sem hozzáférhető.

Ugyanannak az általános törvényszerűségnek a segítségével, amellyel az uránium átlagos életkorát kiszámítottuk, ki lehet számítani két tetszőleges egymásból keletkező rádioaktív anyag viszonylagos mennyiségét, ha életkoraikat ismerjük. Az ilyen számítások

sok esetben érdekes eredményekre vezetnek. Crookes azt tapasztalta, hogy uránilnitrát vizes oldatához nagy fölöslegben adva ámmoniumkarbonátoldatot, a kezdetben leváló csapadék legnagyobb része föloldódik és csak egy igen kevés (a szennyezésektől eredő) csapadékmennyiség marad vissza, ennek azonban igen jelentékeny aktivitása van, míg az oldat jóformán semmi aktivitást sem mutat. Crookes ezt a jelenséget úgy magyarázta, hogy az uránium mellett egy erősebben aktív anyag van (elnevezte UX-nek), amely az oldatlanul maradó csapadékban koncentrálható. Ezt a magyarázatot a későbbi kísérleti eredmények megerősítették, de kiderítették azt is, hogy az oldatlanul maradt csapadéknak csak oly kis mennyisége lehet UX, amelyet semmiféle kémiai módszerrel kimutatni nem lehet, csupán rádioaktív módszerrel. Ezt a tapasztalatot az említett elméleti számítások is igazolják. Az UI átlagos életkora a közölt számítás szerint 6.300.000.000 év, az uránium X átlagos életkorát közvetlen méréssel kb 34·3 napnak, tehát kerek számban 0·1 évnek találták. Ebből következik, hogy egyensúly esetén (amikor tehát időegységenként minden rádioaktív elemből annyi bomlik el, amennyi keletkezik, azaz fölhalmozódott az elérhető legnagyobb mennyiség) a két anyag mennyisége közelítőleg úgy aránylik egymáshoz, mint 0·1 : 6.300.000.000, vagyis körülbelül 630 métermázsa fémurániumra esik 1 milligramm uránium X. Ez az oka annak, hogy nincsen módunk UX-et kémiaiilag is tanulmányozható mennyiségben előállítani.

Crookes-nak kísérleteit, amelyekkel az UX létezését, elbomlását és szaporodását kiderítette, többen megismételték és érdekes módon egyrészt meg-

erősítették, másrészt cáfolták. Ennek az volt az oka, hogy az U maga csak α -sugarakat lövell ki, az UX pedig csak β -sugarakat. Ennek következtében azok, akik kísérleteiknél a sugárzás megítélésére a β -sugarak iránt aránytalanul érzékenyebb fényképezőlemezt használtak, azt találták, amit Crookes leírt: az ammonium-karbonáttal urániumsóoldatból leválasztott oldatlan csapadék erős aktivitásának bizonyult, viszont az urániumsó aktivitása minimumra csökkent. Azok ellenben, akik a sugárzás kimutatására az α -sugarak iránt sokkalta érzékenyebb elektroszkópot használták, azok nem igazolták Crookesot, mert ők az urániumsó aktivitását az ammoniumkarbonátos tisztítás után csaknem változatlanul találták, a csapadékot pedig (amely csak β -sugarakat szolgáltatott) elenyészően kis aktivitásúnak mondták. Ezek a látszólagos ellentmondások csak akkor szűntek meg, amikor az α - és β -sugárzás természetéről már helyes kép alakult ki.

Amint a rádioaktivitás ismerete fokozatosan bővült, fölmerült az a kérdés, hogy az urániumércekben található rádium közvetlenül vagy közvetve keletkezik-e az urániumból. Minthogy igen gondosan megtisztított urániumvegyületekben hosszú időn át végzett megfigyelésekkel sem tudtak rádiumot találni, azt kezeltették, hogy a rádium egy *hosszúéletű* aktív elem-ből keletkezhetik, amely maga viszont bomlásterméke az urániumnak. Az urániumásványokban mindig előforduló áktiniumot tartották ezért egyideig a rádium anyaelemének. Kiderült azonban, hogy gondosan tisztított áktiniumból nem keletkezik rádium. A további kísérletek során találtak azután egy olyan rádioaktív anyagot, amely rendszeres kísérője az urániumnak, ké-

miai viselkedése a thoriuméhoz nagyon hasonló, de sokkal erősebb aktivitású, mint a thorium. Erről az ioniumnak nevezett rádioaktív anyagról kétségtelenül meg lehetett állapítani, hogy belőle állandóan rádium keletkezik. Az ionium kémiai tulajdonságainak kitanulmányozására az osztrák kormány több tonnányi ioniumban dús nyersanyagot bocsátott a welsbachi Auer-gyár rendelkezésére. Auer leírása szerint 10 tonna urániumszurokércből kb. 500 g olyan ionium-thoriumoxid nyerhető, amelynek α -sugárzása kb. százezerszer akkora, mint a közönséges thoriumoxidé, úgy hogy sötétben erősen világít. Tisztán előállítani ioniumot nem sikerült, azonban a közönséges thorium atomsúlya, 232, és az Auer-gyárban előállított ionium-thorium látszólagos atomsúlya. 231.5, között jelentékeny eltérés mutatkozott. Ebből elméleti megfontolás alapján azt következtették, hogy az előállított ionum-thorium elegy kb. 30% ioniumoxidot és 70% thoriumoxidot tartalmaz.

Az ioniumból keletkező rádium és bomlásterméke, a rádiumemanáció, jóformán az egész földön mindeütt kimutatható. Ez nem jelenti azt, hogy sokkal elterjedtebb, mint a többi elem, hanem csupán annyit jelent, hogy a kimutatására szolgáló eszközök sokkal érzékenyebbek (azaz sokkal kisebb mennyiségeket is kimutathatunk velük), mint a többi elem kimutatására szolgáló eszközök. Ugyanis, amíg spektroszkóppal 10^{-10} g nátriummennyiség már alig mutatható ki, addig rádiumból 10^{-12} g mennyiséget egy kis gonddal még kvantitativ meg lehet határozni. A rádiumot megtalálhatjuk minden közönséges talajban; a rádiumemanációt talajvizben, forrásvizekben, levegőben, barlangok levegőjében

stb. A rádiumemanáció szilárd bomlástermékeit a frissen hullott hóban és esőcseppekben mutatták ki. A tengervíz egyes adatok szerint (természetesen igen nagy higításban) kb. 20.000 tonna rádiumot tartalmaz oldva. Előállítására azonban csak egyes urániumércsek használhatóak, mert csak ezek tartalmazzák aránylag nagyobb mennyiségben. Ilyenek legfőképpen az urániumsurokérc, azután a káلكolit, kárnotit stb. A legjobb esetben ezekben is 1 tonna fémurániumra csak 32 centigramm rádium esik. A legtöbb ásványban ennél jóval kevesebb rádium van. Azt a kiaknázható rádiummennyiséget, amelyet a most ismert rádiumtartalmú érctelepekből lehet következtetni, 400—500 g közötti mennyiségre becsülik.

A rádium előállítása körülményes eljárást igényel, mert a rádium kémiai tulajdonságai a báriuméihoz igen hasonlóak és ennek következtében csak igen hosszadalmas frakcionált kristályosítással lehet vagy a rádiumbromidot vagy rádiumkloridot a nagy mennyiségben mellette lévő báriumsóktól elkülöníteni. Ismeretes a rádiumfém maga is: az ú. n. földfémekhez hasonló fém, amelyet rádiumsók elektrolízisének nyert rádiumamalgámból állítottak elő. A fémrádium $700-800^{\circ}\text{C}$ -körül olvad; a levegőn gyorsan oxidálódik és így elveszti fémes felületét; a vizet is erősen bontja. Színrádium nem kerül forgalomba, hanem csak rádiumsók; azonban ezek sem tiszta állapotban, hanem báriumsókkal együtt, mert tiszta rádiumvegyületet igen körülményes előállítani. A forgalomba került rádiumkészítmények kb. $\frac{3}{4}-\frac{2}{3}$ -részben báriumsóból állanak, de természetesen csak rádiumtartalmuk szerint értékelik őket. A rádiumtartalmuk megmérése a bennük lévő rádium radioaktív tulaj-

donságát használják. (L. radioaktív mérési módszerek.) A báriumtól teljesen megtisztított tiszta rádiumvegyületek a szintelen Bunsen-lángot bíborvörösre festik. Ilyen teljesen tiszta rádiumvegyületekkel határozta meg Hönigschmied a rádium atomsúlyát és azt 226-nak találta.

A rádium és a vegyületei is csak α - és igen lassú β -sugarakat lövelnek ki. Ha újonnan előállított rádiumvegyület α -sugárzását megfigyeljük, azt tapasztalhatjuk, hogy az idővel fokozatosan nő és lassanként β - és γ -sugarak is észlelhetők lesznek.

Az α - és β -sugarak a rádium bomlástermékeitől erednek, mert a rádiumvegyületek átkristályosításával a rádiumvegyület mellől eltávolíthatók. A rádium α -sugarainak hatótávolsága 15°C hőmérsékletű s 760 mm nyomású levegőben 3.21 cm . A rádium bomlási állapotát hosszú életkora miatt közvetlen méréssel megállapítani nem volt lehetséges. Ezért Rutherford és Geiger úgy jártak el, hogy megszámlálták azokat a fölvillanásokat, amelyek cinkszulfidernyőn egy gramm rádiumból az időegysége alatt kilövelt α -részecskék hatására keletkeztek. Miután minden elbomló atom csak egy részecskét lövel ki, így megkapták közvetlenül azt a számot, amely mutatja, hogy az idő egysége alatt egységnyi mennyiségű rádiumnak hányadrésze bomlik el, azaz megkapták magát a bomlási együtthatót.

A rádium közvetlen bomlási termékei egyrészt az α -részecskék, azaz pozitív elektromos töltésű héliumatomok, másrészt pedig a rádiumemanáció. A rádiumemanáció közönséges hőmérsékleten gáz. Egységes kémiai elem, vegyületei azonban nem ismeretesek, mert

a nemes gázok közé, vagyis az olyan elemek közé tartozik, melyeknek nincs vegyértékük s ezért vegyületeket képezni nem tudnak. A rádiumemanáció különböző jellemző állandóinak megállapítása azért volt igen körülményes, mert csak igen kismennyiségű emanáció állt a kutatók rendelkezésére. 1 g fémrádiummal radioaktív egyensúlyban ugyanis csupán 0.63 mm^3 emanáció van. Ennek az emanációmennyiségnek, vagyis az egy gramm rádiummal egyensúlyban lévő rádiumemanációnak neve 1 curie, ennek ezredrésze a millicurie és emennek százezredrésze az emán.

A rádiumemanáció sűrűségét Ramsay és Gray állapították meg. E kísérletekhez az osztrák kormány mintegy $\frac{1}{2}$ g rádiumot engedett nekik át. Gray és Ramsay az emanáció sűrűségét határozták meg közvetlenül és ebből számították ki azután az atomsúlyt. Az emanáció sűrűségének meghatározására ismert térfogatú gáz súlyát közvetlenül megmérték. Miután a $\frac{1}{2}$ gramm rádiumból mindössze 0.3 mm^3 rádiumemanációt kaptak, e kis mennyiség mérésére külön e célra készítették egy kvarc mikromérleget, amelyen $\frac{1}{1000}$ milligrammnál kisebb súlyú emanációmennyiséget mértek meg egy olyan kis üvegcsőben, amelynek 30 milligramm volt csupán a súlya. Az ő méréseik és más alapon végzett mérések eredményeképpen az emanáció atomsúlyát 222-nek szokás megadni. Noha más vizsgálatoknál még sokkal kisebb emanációmennyiségek álltak csak rendelkezésre, mégis sikerült gondos kísérletekkel egyéb fizikai állandók megállapítása is. Így például azt találták, hogy az emanációnak, önálló gáz lévén, -62°C -nál jól észlelhető forráspontja, -71°C -nál pedig fagyáspontja van.

A rádiumemanációnak, elemi test lévén, meghatározott színe van, ez azonban csak közvetlenül megtisztítása után látható jól. Később halványul és helyette a hélium színe jelentkezik. Ha körülbelül egy hónap eltelté után vizsgáljuk meg annak a gáznak a színe képét, amelyet mint emanációt különítettünk el, abban már csak a hélium színe képét találjuk. Ennek ez az oka, hogy az emanáció maga is radioaktív és bomlása α -sugárzással jár. Hogy tényleg a kilövelt α -részecskékből keletkezik itt a hélium és nem az emanáció alakul át egész tömegében héliummá, azt Rutherford igen szép kísérlettel igazolta. Egy 1.5 cm hosszú, kb. $1/100\text{ mm}$ falvastagságú, azaz igen vékony falú üvegcsőbe emanációt zárt. Azután az üvegcsövet evakuált térbe helyezte. Ennek a térnek a gáztartalmát időnként megvizsgálta és azt találta, hogy abban két nap eltelté után már észlelhető volt kevés hélium, hat nap múlva pedig a hélium teljes színe volt már a benne lévő gázzal előállítható. Arról, hogy a hélium α -sugarak alakjában tényleg áthatolhatott az $1/100\text{ mm}$ vastag üvegrétegen, az evakuált térben elhelyezett cinkszulfid élénk villogása tanuskodott. Arról pedig, hogy nem juthatott-e ki hélium közönséges diffúzió útján a csőből az evakuált térbe, úgy győződtek meg, hogy az egész kísérletet még egyszer elvégezték, most már azonban héliumgázzal töltötték meg a vékony falú üvegcsövet. Ilyen körülmények között a külső csőben hetek múlva sem lehetett héliumot kimutatni.

A rádiumemanáció aránylag rövid életű radioaktív elem; bomlási félideje 3.81 nap . α -sugarainak hatótávolsága 4.12 cm .

A rádiumemanáció vízben elég jól oldódik. Ennek

következtében elég gyakoriak az olyan forrásvizek és ásványvizek, amelyeknek jelentékenyebb emanációtartalmuk van. Több gyógyvíz gyógyhatását a benne lévő rádiumemanációnak tulajdonítják, különösen azokat, amelyeknek (mint például a gasteininek is) az összetétele semmivel sem különbözik egy normális ivóvíz összetételétől, emanációtartalmuk azonban tetemes.

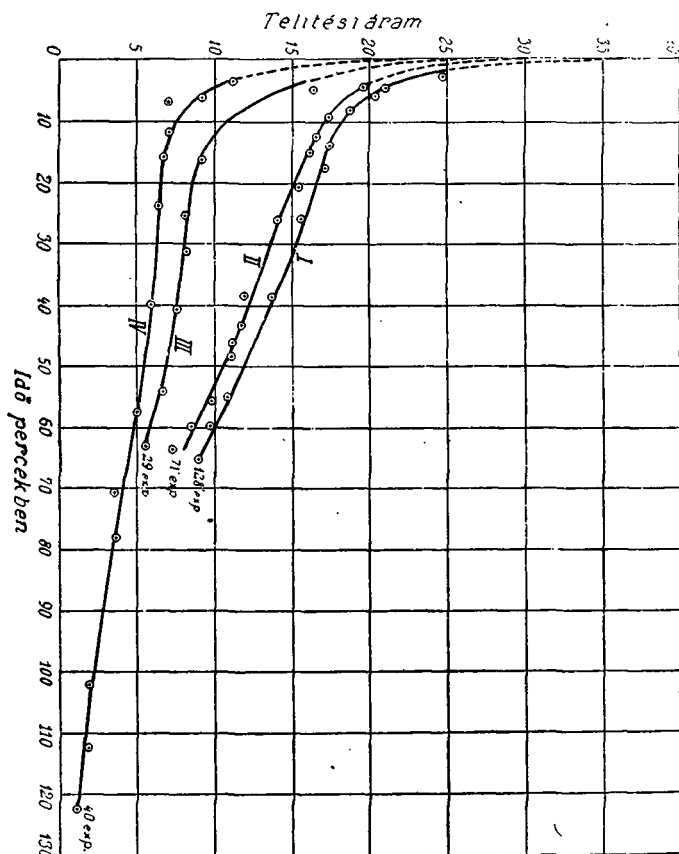
Ha egy edénybe rádiumemanációt magára hagyunk, akkor α -sugárzás közben rádioaktív anyag keletkezik belőle, amely lerakodik az edényfalakra. Ezt a szilárd lerakodást, amely jelenlétét az emanáció eltávolítása után rádioaktív hatásaival árulja el, eleinte nem tekintették rádioaktív bomlásterméknek, hanem az edényfalak rádioaktív sugárzását indukált aktivitásnak nevezték el (az elnevezés Curienétől származik; ő észlelte először az indukált aktivitást), mert azt tartották, hogy maga az emanációval érintkező felület válik ideiglenesen aktívvá.

A rádium rádioaktív lerakódásával bevont test sugárzását a lerakódás keletkezése után rövid időre három különböző rádioaktív elemi test okozza. A rádium A, amely α -sugarakat lövel ki és bomlási félideje 3 perc; a rádium B, amely lágy β - és γ -sugarakat lövel ki és bomlási félideje 26·8 perc és a rádium C, amely α -, β - és γ -sugarakat lövel ki és bomlási félideje 19·5 perc. Kismennyiségű rádioaktív lerakódással bevont testek sugárzása körülbelül egy nap alatt annyira csökken, hogy a használt mérési módszerekkel már alig lehet mérni. Ez tehát annyit jelent, hogy a rövid életű rádium A, rádium B és rádium C egy nap alatt gyakorlatilag teljesen elbomlott. Minthogy azonban a rádium C még szintén rádioaktív test, ennek a bomlás-

termékeit kell keresnünk. Ha nagyobb mennyiségű radioaktív lerakódás sugárzását figyeljük meg, akkor azt tapasztalhatjuk, hogy az nem tűnik el egészen, hanem egy bizonyos igen kis érték elérése után ismét erősödni kezd. Ennek az az oka, hogy a rádium C bomlásterméke, a rádium D, csak igen lágy, tehát alig észrevehető β - és γ -sugarakat lövel ki és életkora sokkal hosszabb, mint az előbbieké. (Kb. 16·5 év.) Ennek lassú fölszaporodása alatt alig észlelhető sugárzás; a belőle keletkező és ötnapos bomlási félidővel bíró rádium E, szintén csak igen lágy β - és γ -sugarakat lövel ki és csak ennek a bomlásterméke, a rádium F (másnéven polonium) mutat erősebb sugárzást, miután ez α -sugárzó test. A rádium F bomlási félideje 136 nap.

Minthogy a rádium D, rádium E és rádium F életkora a rádium A, rádium B, rádium C életkorához viszonyítva hosszú, azért ezeket együttvéve a rádium hosszú életű radioaktív lerakódásának hívják, míg a rádium A-t, rádium B-t és rádium C-t együttvéve rövid-életű lerakodásnak nevezik. Ez az elnevezés simul ahhoz a gyakorlati tényhez, hogy zárt edényben lévő rádiumvegyületek gyorsan bomló termékeikkel körülbelül egy hónap leforgása alatt már gyakorlatilag egyensúlyba kerülnek, míg lassan bomló termékeikkel csak hosszú idő múlva kerülhetnek egyensúlyba.

A budapesti Rudas-fürdő Rákóczi-forrásának vizében szerző meghatározván az emanációtartalmát, a mérőeszközben a kísérlet alatt fölhalmozódott radioaktív lerakódás sugárzásának a csökkenését is meghatározta. Azok a görbék, amelyek a 5. számú ábrán láthatók, azt mutatják, hogy milyen módon bomlott el önként a készülékben fölhalmozódott rövid életű le-



5. ábra.

rakodás. Amint az ábra adataiból is kitűnik, ez a meghatározás egészen jól el volt végezhető, noha a mérés-

nél igen-igen kis rádioaktív anyagmennyiségek szerepeltek. A rádioaktív mérési módszerek finomságát világítja meg, ha kiszámítjuk, körülbelül milyen súlyú RaA szerepelhetett a mérésnél.

A Rákóczi-forrás vizében literenként $7.52 \cdot 10^{-9}$ Curie-emanáció van. (Azaz $7.52 \cdot 10^{-9} g$ Ra-mal egyensúlyban lévő mennyiség.) A kísérlethez körülbelül három liter víz emanációtartalmát használta fel a szerző, tehát oly mennyiséget, amely kb. $22 \cdot 10^{-9} g$ Ra-mal volna egyensúlyban. A készülékbe juttatott emanáció a rövid életű rádium A-val rövidesen egyensúlyba jut és akkor a mérőkészülékben annyi rádium A van, mint amennyi $22 \cdot 10^{-9} g$ Ra-mal volna egyensúlyban. Rádioaktív anyagok egyensúlymennyiségei pedig úgy aránylanak egymáshoz, mint az átlagos életkoraik. Minthogy a rádium átlagos életkora 2280 év, a RaA-é pedig 4.4 perc, a következő arányosság írható föl:

$$22 \cdot 10^{-9} g \text{ Ra} : x g \text{ RaA} = 2280 \text{ év} : 4.4 \text{ perc}$$

azaz

$$\begin{aligned} 22 \cdot 10^{-9} : x &= 1198368000 : 4.4 \\ x &= 9.10^{-17} \end{aligned}$$

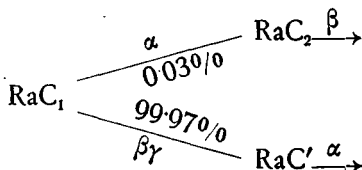
vagyis a kísérlet kezdetén, tehát akkor amikor a legtöbb rádium A volt a készülékben, csupán

$$0.000000000000000009 g$$

RaA radioaktív hatása volt mérhető; mindamellett a mérés nem is laboratóriumban, hanem a helyszínen folyt le.

A rádium bomlástermékei között találtak egy ter-

méket, amely egyidejűleg α -, β - és γ -sugarakat lövelt ki. Csaknem az összes ismert radioaktív anyag vagy csak α -, vagy pedig csak β - és γ -sugarakat lövel ki, ezért a rádium C-ről (épen így a hasonlóan viselkedő thorium C-ről és áktinium C-ről is), amelynél mind a három sugárfajta észlelhető volt, föltették, hogy összetett. Sikerült is elkülöníteni a rádium C-ből egy csak β -sugarakat kilövelő terméket, amelyet rádium C₂-nek neveztek el. A visszamaradt termék azonban még mindig mind a három sugárfajtát kilövelte, csak hogy α -sugarainak hatótávolsága föltűnően nagy volt: 6·97 cm. Geiger és Nuttall fölfedezte törvényszerűségeiből tudjuk azonban, hogy az α -sugarak hatótávolságának logaritmususa és a bomlási együttható logaritmususa egyenes arányban állanak egymással. Ez ebben az esetben annyit jelent, hogy az igen nagy hatótávolságú α -sugarakat kilövelő anyag életkora igen kicsiny kell legyen. Számítás szerint 6·97 cm hatótávolságú α -sugárzása olyan radioaktív anyagnak lehet, amelynek bomlási félideje egymilliomod másodperc körül van. Ezt a rádium C-ben jelenlévő rendkívül rövid életkorú és épen ezért el nem választható radioaktív anyagot rádium C'-vel jelölik. A thorium és áktinium C-termékeinél egészen hasonló viszonyokat lehet találni. Ezeknek a jelenségeknek egységes megmagyarázására fölvették azt, hogy a C-termékekben kettős átalakulás folyik le; az egyik átalakulás α -sugárzással, a másik β -sugárzással jár, mindeniknek megvan a jellemző bomlási (átalakulási) sebessége és az átalakuláskor keletkezett termékek mennyisége arányos a kétféle átalakulási sebességgel. Ezek alapján a rádium C átalakulását a következőképpen magyarázhatjuk:



a rádium C három különböző elemből összetett: RaC_1 -ből RaC_2 -ből és RaC' -ből. Ezek közül RaC_1 -ből képződik egyidejűleg a másik kettő; amíg azonban a RaC_2 α -sugárzás közben keletkezik, a RaC' β -sugárzás kíséretében keletkezik. A bomlási sebességek arányában RaC_2 -ből csupán 0.030% keletkezik addig, amíg RaC' -ből 99.970%. A RaC_1 bomlása főként RaC' irányában történik.

A RaC_2 bomlásterméke még nem ismeretes. A RaC' -ből viszont egy olyan rádioaktív test keletkezik, amely már 1901-ben ismeretes volt, amikor a rádium bomlástermékeinek még csak alig némelyikét ismerték. Egy emanációval hosszabb ideig töltve tartott edény falán az aránylag hosszú életű (kb. 16 év bomlási félidejű) RaD rakodik le, amely közvetlen bomlásterméke RaC' -nek. Aránylag nagy életkoránál fogva urániumsávyokban is jelentékeny mennyisége halmozódhatik föl. Kémiai tulajdonságai az ólomhoz teszik igen hasonlóná, úgy, hogy Hoffmann és Strauss mint rádioaktív ólmot választották le urániumsurokércből és elnevezték rádioólmoknak. Csak később derült ki, hogy az urániumsurokércből leválasztott ólomban lévő rádioaktív anyag a rádium D-vel azonos.

Az egyik legrégebben ismert rádioaktív elemi test a hosszú életű rádioaktív lerakodásnak egy tagja: a RaF

vagy más nevén polonium. Curiené az urániumszurokérc vizsgálatánál egyrészt egy báriumhoz igen hasonló elemi radioaktiv testet talált, ezt nevezte el rádiumnak; másrészt egy bizmuthoz kémiailag hasonló radioaktiv testet figyelt meg, ezt hazájáról poloniumnak nevezte el. Nem sokkal későbbben Marckwald ugyancsak az urániumszurokércből egy tellurhoz hasonló kémiai tulajdonságú és rádiotellurnak elnevezett elemi testet választott külön. Későbbi vizsgálatok azután kiderítették, hogy a polonium is és a rádiotellur is tulajdonképpen a RaF-fel azonosak. A polonium vagy RaF azért jelentős tagja a rádium bomlástermékei sorának, mert elég hosszú életkora mellett (bomlási félideje 136 nap) igen erős α -sugárzó anyag és így olyan vizsgálatokra, amelyeknél erős α -aktivitásra van szükség, igen alkalmas. 5000-szer akkora az aktivitása, mint a vele egyenlő súlyú rádiumé. A polonium kizárólag csak α -sugarakat lövel ki. Ezek hatótávolsága 3.96 cm.

A rádium átalakulásának termékeit rádium C₂-ig és rádium F-ig ismerjük. Arra vonatkozólag, hogy a RaF-ből milyen átalakulási termék jön létre, kétségtelen feleletet adni nem lehet. Annyi bizonyos, hogy eddig még nem sikerült azt kimutatni, hogy a poloniumból újabb *aktiv* termék keletkeznék. Minthogy a poloniumból egy α -részecske kilövelésével keletkező terméknek 206 atomsúlyúnak kell elméletileg lenni, ehhez a számhoz legközelebb pedig az ólom atomsúlya (207.2) áll, másrészt mivel uránium tartalmú ásványokban mindig található ólom, már 1907-ben azt követeltette Boltwood, hogy a rádium bomlási végterméke ólom. Ezt a föltevést megerősítették újabban azok a mérések, amelyek megállapították, hogy az uránium-

ércekből nyerhető ólomnak atomsúlya mérhetően eltér a közönséges ólom atomsúlyától. (L. az utolsó fejezetekben az izotop elemekről.) A rádium C_2 bomlástermékét szintén ólomnak tartják.

Az urániumrádium bomlási sorozatban még egy tag van a rádium C_1 -en kívül, amelyik kettős átalakulást szenved. Nincsen azonban még eldöntve, hogy az UI avagy UII-e az a tag. Annyi azonban kísérleti tény, hogy UX-től megtisztított urániumoldatból egy lágy β -sugarakat kilövelő radioaktív anyagot sikerült elkülöníteni, amelynek az UX-nél jóval rövidebb átlagos életkora van (bomlási félideje 25·5 óra); ezt UY-nak nevezték el. Az UY azért fontos tagja a sorozatnak, mert valószínű, hogy a protoáktinium belőle képződik és így az UY az összekötőkapocs az uránium és a az áktinium bomlási sorozata között.

Ismeretes még egy uránium-bomlástermék, az UZ; ennek a helye a bomlási sorozatban még nem volt megállapítható. Bomlási félideje 6·7 óra.

Az uránium és áktinium bomlási sorozatának az UY által való összekapcsolódása ezideig bizonyítható még nem volt, csak nagyon valószínű. A bizonytalanság onnan ered, hogy az UY anyaeleme ezideig nem volt megállapítható. A kapcsolatot mindamellett az a körülmény teszi valószínűvé, hogy az urániumásványok mindenikében az összes áktivitásnak egy meghatározott része (30%-a) áktiniumsorozat tagjaitól ered. Miután az áktiniumsorozat egyetlen tagja sem volt eddig mérhető mennyiségben előállítva, nincsen mód arra, hogy az áktiniumsorozat egyes tagjainak atomsúlyát megállapíthassuk. Szokás a protoáktinium atomsúlyát 230-nak és így az áktiniumét 226-nak számítani.

Az áktiniumot Debierne uránszurokércben még 1899-ben fölfedezte. Tisztán előállítani azonban még ezideig nem sikerült. A legdúsabb áktiniumkészítményt Auer állította, ennek α -áktivitása több mint 100.000-szerakkora volt, mint a vele egyenlő súlyú uránium α -áktivitása. Az azonban még nem volt megállapítható, hogy ennek az áktivitásnak hányadrésze ered az áktiniumtól és hányadrésze a bomlástermékektől. Több kísérlet arra vall, hogy az áktiniumnak csak egészen gyenge α -sugárzása van.

Amint a 35. oldalon látható bomlási sorozatból kitűnik, az áktinium bomlási termékei között is szerepel egy gázalakú emanáció. Ennek az a különös sajátsága van, hogy cinkszulfidernyőn páros felvillanásokat okoz, ebből azt a más úton igazolt következtetést vonták, hogy az áktiniumemanáció egy α -részecske kilövelésével átalakulván, olyan rádioáktív test (áktinium A) keletkezik, amelynek igen kicsiny lévén a bomlási félideje, alig keletkezett, máris elbomlik megint és miután ez a bomlás is α -részecske kilövelésével jár, a cinkszulfidernyőn páros felvillanásokat lehet látni. Az áktinium A bomlási félideje 0.002 másodperc. Ez igen rövid életkort Mosaley és Fajans egy szellemesen kigondolt eszközzel közvetlen kísérleti úton állapították meg. Egy rövidke, vízszintesen fektetett üvegcső tengelyén keresztül mintegy két méter hosszú platinadrótot húztak, melynek két végét összeforrasztották s a végtelen drótot egy szabadon mozgó és egy elektromotorra erősített csiga között feszítették ki. Az üvegcső aljára áktiniumkészítményt terítettek ki, a platinasodrony nagyfeszültségű elektromos bateria negatív polusával összekötött lénkefével érintkezett s az üvegcső és

motor csigája között párhuzamosan a platinasodronnyal, cinkszulfidernyő volt elhelyezve. Ilyen körülmények között az áktiniumból kiszabaduló emanáció az üvegcsövet tölti be, de annak nyílásától, miután ez is igen rövid életű, nem juthat messze. Az emanációból képződő áktinium A legnagyobb része az elektromosan töltött platinasodronyra rakodik le. Ha az elektromotor nyugalomban van, akkor a platinasodronynak csak az emanációval érintkező részén lesz áktinium A. Ha a motort megindítjuk, úgy az áktinium A-val bevont sodronyrész a cinkszulfidernyő elé kerül s azt világításra ingerli. A cinkszulfidernyő azonban csak kis darabon világít, mert az áktinium A gyorsan elbomlik. A világító rész hosszabb lesz, ha a motor gyorsabban forog s rövidebb, ha lassabban működik. A motor forgási sebességéből és a világító folt hosszából ki lehet számítani az áktinium A bomlási állandóit.

Az áktinium bomlástermékeinek sorozata igen hasonló a rádium bomlástermékeinek sorozatához. Föltűnő azonban, hogy itt csak rövid életű lerakódás van és már az áktinium D után inaktív bomlástermék következik, míg a rádiumnál a rádium D után még a hosszú életű lerakódás tagjai következnek.

Az uránimurádiumsortól és az áktiniumsortól teljesen független rádioaktív bomlási sor ered a thoriumból (Th). Hogy a thorium és bomlási termékei függetlenek a rádioaktív anyagok másik két nagy csoportjától, az elsősorban abból tűnik ki, hogy a különböző áktív ásványokban az áktivitásnak *nem egy meghatározott* hányadrésze ered az egyik sor tagjaitól, a másik hányadrésze pedig a másik sor tagjaitól, hanem az uránium-sor és a thoriumsorokozta áktivitás aránya a legkülön-

bőzőbbnek bizonyul az egyes ásványokban. Vannak olyan urániumásványok, amelyekben csaknem semmi thorium sincs és viszont vannak urániumtól csaknem mentes thoriumásványok is. A thorium épúgy, mint a rádium, igen kismennyiségekben ugyan, de csaknem mindenütt megtalálható. A thoriumkészítmények legnagyobb részének a 4—5% ThO_2 -ot tartalmazó monazit-homok a nyersanyaga. Egyes ritka ásványok azonban sokkal több ThO_2 -ot is tartalmaznak; a ceylonszigeti híres thoriánit 70% ThO_2 tartalommal is előfordul.

Noha a thoriumoxid előállítása jól kidolgozott módszerek szerint végezhető, hiszen Auer-izzótestek készítésére évenként 100.000—200.000 kg ThO_2 -ot termelnek, radioaktív szempontból tisztán még ezideig nem sikerült előállítani thoriumkészítményt. A thoriumtól ugyanis nem sikerült elválasztani a rádiorthoriumot, csupán a mennyiségét lehet csökkenteni azáltal, hogy a thorium és rádiorthorium között elhelyezkedő tagjait a sornak (a mezothorium I-et és mezothorium II-t) állandóan el-eltávolítván, megakadályozzuk azt, hogy ezekből újabb rádiorthorium keletkezzék. Így azután a kezdetben jelenlevő rádiorthorium kb. 20 év alatt $\frac{1}{1000}$ -részig elbomlik. Még pontosan az sem volt megállapítható épen azért, hogy milyen sugarakat lövel ki a thorium. Igen valószínű azonban, hogy a thorium α -sugárzó test. Bomlási félideje $2 \cdot 4 \cdot 10^{10}$ év. (24 milliárd év.)

A thorium közvetlen bomlási terméke, a mezothorium I, kémiaiilag annyira hasonló a rádiumhoz hogyha vele egyszer valami módon elegyedett, többé az általánosan használt módszerekkel őket elkülöníteni nem sikerül. Minthogy a legtöbb thoriumásvány kevés

urániumot és ennél fogva ennek bomlástermékét, kevés rádiumot is mindig tartalmaz, a mezothoriumkészítmények mindig rádiumtartalmúak, viszont minden urániumásvány tartalmazván kevés thoriumot, az előállított rádium is rendszerint mezothorium tartalmú. Érdekes, hogy a mezothorium I-en semmiféle sugárzást megállapítani nem tudtak; nagyon valószínű, hogy egészen gyenge β -sugárzása van. A belőle keletkező mezothorium II erős áthatoló képességű γ -sugarakat lövel ki és miután ennek rövid életkora van, a mezothoriumkészítmények erős sugárzása mezothorium II-től ered. Ha a mezothorium bomlási félidejét 6·7 évnek számítjuk, a thoriumét $1\cdot65\cdot10^{10}$ évnek, akkor 1 tonna thoriummal egyensúlyban levő mezothorium mennyisége körülbelül 0·4 milligrammnak adódik. Ez az oka annak, hogy még eddig mezothoriumot nem sikerült tisztán előállítani, noha a törekvés megvolt arra, hogy minél dúsabb mezothoriumos készítmény legyen előállítható, mert a mezothorium sugárzása kb. 300—400-szor intenzívebb, mint a vele egyenlő súlyú, bomlástermékeivel egyensúlyba jutott rádium sugárzása. Minthogy a mezothoriumot rádiumtól elkülöníteni nem sikerül, azért a mezothoriumkészítmények, amelyek forgalomba kerülnek, rendszerint főtömegükben inaktív báriumvegyületből állanak, amely mellett aránylag nagyobb mennyiségű rádium és egészen kevés mezothorium van. Az ilyen készítményekben a tényleges mezothorium tartalmat meghatározni nem lehet, csak sugárzási intenzitásra állapítható meg, ezért egy milligramm mezothorium alatt az ilyen készítménynek azt a mennyiségét értik, amelynek γ -sugárzása egyenértékű egy milligramm rádium γ -sugárzásával. A mezothorium

erős sugárzóképesége ellenére is kisebb értékű mint a rádium, mert életkora sokkal kisebb, mint a rádiumé; bomlási félideje 6·7 év.

A sugártalanul átalakuló mezothorium I-ből az erős β - és γ -sugarakat kilövelő mezothorium II keletkezik, ebből pedig rádiothorium. Érdekes, hogy Hahn 1905-ben egy ceyloni ásványban előbb fedezte fel a rádiothoriumot, mint a mezothoriumot. Ennek az volt az oka, hogy Hahn tulajdonképen öntudatlanul mezothoriumot különített el a thoriumtartalmú ásványból, ennek aránylag gyengébb sugárzása azonban elkerülte figyelmét az erősen sugárzó és hamarosan jelentkező rádiothorium mellett. A rádiothoriumot tisztán ma is így külön leválasztott mezothoriumból állítják elő, mivel a thoriumtartalmú ásványokból közvetlenül nem lehet rádiothoriumot leválasztani, mert a thorium és rádiothorium kémiaiilag egymáshoz teljesen hasonlóan viselkednek.

A rádiothoriumból keletkező α -sugárzó thorium X történeti szempontból nevezetes. Thorium X volt ugyanis az a rádioaktív termék, amelyről Rutherford és Soddy először állapították meg, hogy egyrészt a thoriumtól elválasztott ThX állandóan bomlik, másrészt a thorium X-től megtisztított thoriumvegyületekben ez a termék regenerálódik; ezeknek a tanulmányaiknak alapján állították föl azt az elméletüket, amely a rádioaktív jelenségeket atombomlással magyarázza és amelyik elmélet rövidesen a rádioaktivitás tudományának általános alapja lett.

A thorium bomlástermékei sorában is van egy, a rádiumemanációhoz hasonló gáznemű bomlástermék: a thoriumemanáció, amely, miként a rádiumemanáció és az áktiniumemanáció is, a nemesgázokhoz tartozó

anyag. Igen rövid életű, egyébként a rádiumemanációhoz nagyon hasonlóan viselkedő test. Belőle keletkezik a «thorium rádioaktív lerakódása» néven összefoglalt bomlásterméksorozat. Ennek első tagja, a thorium A, igen rövid életkorú és így a thoriumemanáció okozta szcintillációk nem egy, hanem két felvillanásból állanak, mert nemcsak az emanáció α -sugarának ütközésekor villan fel a cinkszulfidernyő, hanem az azonnal képződő és elbomló thorium A α -sugarának hatására is. Ehhez hasonló jelenséget az áktiniumemanációnál is lehet tapasztalni, csak hogy ott a két föl villanás egy időben látszik, mert az AcA bomlási félideje körülbelül $2 \cdot 10^{-3}$ másodperc; a thoriumemanációnál jól lehet észlelni, hogy a két föl villanás között egy kis időköz van, mert a ThA bomlási félideje valamivel nagyobb (0.14 másodperc).

Mint a 35. oldalon közölt táblázatból látható, a thorium áktív lerakódása abban is hasonló a rádium és áktinium áktív lerakódásaihoz, hogy a ThC termék sem homogén, hanem ThC₁-ből, ThC₂-ből és ThD-ből tevődik össze és épen úgy, mint a rádiumnál és áktiniumnál, itt is elágazás észlelhető a bomlástermékek sorában, a különbség csak annyi, hogy itt kisebb eltérés van az elágazásnál keletkező két bomlástermék viszonylagos mennyisége között, a ThC₁-ből ugyanis 65% ThC₂ és 35% ThD keletkezik.

A thoriumból keletkező inaktív végterméknek egyideig a bizmuthot tartották, mert ennek az atomsúlya (209.0) közelítette meg legjobban a thorium-végtermék elméleti úton következtetéssel nyert atomsúlyát (208). Amióta bebizonyosodott, hogy bizmuthot a thoriumásványok csak ritkán tartalmaznak,

ellenben ólom csaknem mindig található bennük, úgy tartják, hogy a thoriumnak is ólom az inaktív végterméke. Emellett szól az a körülmény is, hogy a ceyloni thorianit nevű (igen tiszta) thoriumásványban talált ólomnak a közönséges ólom atomsúlyánál (207·2) valamivel nagyobb volt az atomsúlya (207·9), egyébként azonban kémiai viselkedése alapján ólomnak bizonyult. (L. még az utolsó fejezetben az izotop elemekről.)

A rádioaktivitás fölfedezése óta már több ízben igen gondos módszerekkel megvizsgálták, hogy a régebben ismert kémiai elemek közül az urániumon és thoriumon kívül nem észlelhető-e valamelyiknél rádioaktivitás. Ezeknek a méréseknek minden esetben az volt az eredménye, hogy a kálium és rubidium rádioaktivitása bebizonyosodott. Igaz, hogy a sugárzótehetségük csak nehezen észlelhető, igen gyenge; azonban a legkülönbözőbb helyekről beszerzett kálium vagy rubidium tartalmú anyagoknál is mindig ugyanakkora, tehát az aktivitás, nyilvánvalóan a káliumhoz és rubidiumhoz kötött jelenség és nem valamely hozzájuk keveredett szennyezésnek eredménye. A kálium is és a rubidium is igen lágy β -sugarakat lövelnek ki.

Ha olyan urániumkészítmény β -aktivitását vesszük alapul, amelynek β -aktivitása UX_1 -től ered, akkor azt találjuk, hogy a rubidium β -aktivitása 15-ödrésze a vele egyenlő súlyú urániumkészítmény aktivitásának. A kálium aktivitása pedig ennek mintegy tizedrésze. Látható tehát, hogy a kálium és rubidium aktivitása egészen jól tanulmányozható jelenség; érdekes azonban, hogy bomlástermékeiket ezideig nem sikerült megtalálni és így még kérdéses, hogy sugárzásuk tényleg atombomlással járó rádioaktiv jelenség-e.

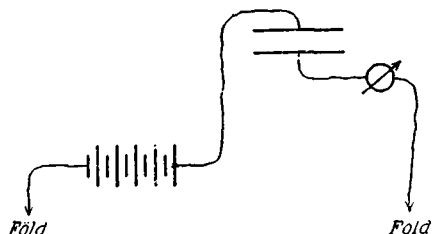
A radioaktivitás mérőmódszerei.

A radioaktivitás megmérésének alapja elvileg minden radioaktív hatás lehet. Mérőmódszer természetesen azon hatás alapján alakult ki, amely hatás a legérzékenyebb és legpontosabb mérést teszi lehetővé: a radioaktív sugárzás levegőt elektromosan vezetővé tevő hatása alapján. Lehet a radioaktív-sugárzás azon saját-sága alapján is összehasonlításokat végezni, hogy az a cinkszulfidot, willemitet stb. világításra készíti vagy a fényérzékeny lemezt megtámadja; ez azonban inkább nevezhető becslésnek, mint mérésnek.

A radioaktív sugárzás a levegőnek jelentéktelenül kis elektromos vezetőképességét erősen megnöveli, még pedig annál erősebben, minél hatásosabb a radioaktív sugárzás. Ebből a jelenségből alakultak ki a használatos mérőmódszerek, amelyekkel tehát tulajdonképpen levegővezetőképességet mérünk és annak különböző mértékéből következtetünk a radioaktív hatás erősebb vagy gyengébb voltára. A mérőmódszerek egyrésze egy iozinált levegőrétgen keresztül haladó áram erősségének lemérésével végzi a meghatározásokat, a másik része ellenben egy elszigetelten elhelyezett fémdarab elektromos töltésének az iozinált levegő által bekövetkező elvezetését méri.

A 6. ábrán vázolt elrendezésnél egy elektromos battéria két polusát a földön át egy érzékeny gálvánométer közbeiktatásával, két szembehelyezett fémlemez-zel (kondenzátor) kötjük össze. Ily berendezés mellett a vezetékben áram csak akkor fog megindulni, amikor ez a levegőrétgen elektromos vezetővé válik. Ez azon-

ban akkor következik be, ha a kondenzátor lemezei közé helyezzük a mérendő radioaktív készítményt. Azt, hogy a levegő milyen mértékben vált vezetővé, azaz milyen erős a vizsgált radioaktív készítmény, az áram útjába állított érzékeny gálvánométeren állapíthatjuk meg. Mint minden mérésnél, úgy itt is szükséges egy olyan «egység», amelyhez a többi mérendő radioaktív készítményt hasonlítják. Ha erről súly sze-

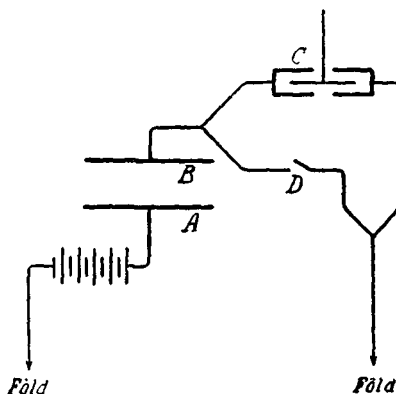


6. ábra.

rint tudjuk, hogy mennyi radioaktív anyagot tartalmaz, akkor csak az általa, valamint a mérendő készítmény által előidézett vezetőképességet kell megállapítani a gálvánométerrel, hogy a mérendő készítmény radioaktív anyagának súlyát kiszámíthassuk, mert a két súly úgy aránylik egymáshoz, mint a két vezetőképesség, feltéve, hogy az összehasonlítást azonos körülmények között végeztük.

Rendesen nem elég erős a mérendő készítmény által előidézett ionizáció (levegővezetőképesség) ahhoz, hogy gálvánométerrel mérhető áramot kaphassunk. Ilyenkor a 7. ábrán rajzolt séma szerint kvadráns-elektrométerrel mérünk. Ez az eszköz nem a levegőrétegen áthaladó áram erősségét méri, hanem meg-

mutatja, hogy ez az ionizált levegőn áthaladó áram meghatározott idő alatt mekkora elektromos mennyiséget továbbít. Az elrendezés nagyjából olyan, mint a gálvánométerrel való mérésnél. A battériából jövő áramnak itt is először az ionizált levegőrétegen kell áthaladnia és innen juthat mérés alkalmával a kvadránsnak földdel össze nem kötött (C) kvadránspárjába;

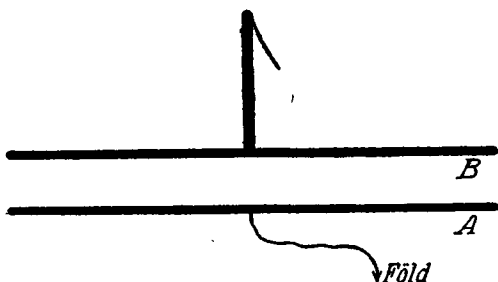


7. ábra.

zalatt a másik kvadráns pár földelve van és ennek következtében a kvadráns tűjét másként befolyásolja a földelt, mint a nem földelt kvadráns pár, amit a tű helyzetváltozásán lehet észrevenni. A mérés tulajdonképpen ennek a helyzetváltozásnak a sebességét határozza meg. A helyzetváltozás annál gyorsabb, minél nagyobb a kondenzátor lemezei közt lévő levegő ionizációja, azaz minél erősebb a rádioaktív hatás. A berendezés olyan, hogy vele a mérés befejeztével a kvad-

ránsnak mindkét kvadránspárját a földdel lehet összekötni. Erre szolgál a *D* kapcsoló és vezetéke.

Ezektől a mérőműszerektől, amelyeknél a használt kondenzátor egyik fegyverzetének egy elektromos battéria segítségével állandó feszültséget kell adni, abban tér el a legérzékenyebb mérési mód, az elektroszkóppal való mérés, hogy ennél a kondenzátor egyik elektroszkóppal ellátott lemezének (8. ábra) még a mérés előtt töltést adunk és megmérjük, milyen sebesen



8. ábra.

veszti el ezt a töltést a kondenzátorlemez az ionizált levegőréteg hatására. Az elektroszkóp legegyszerűbb alakja egy fémtartóra függesztett igen vékony fémlemez, amely annál jobban kitér nyugalmi helyzetéből, minél nagyobb töltést kap. Normális körülmények között egy feltöltött elektroszkóp igen sokáig megtartja a töltését, mert töltésvesztéset csak a levegő igen kis természetes vezetőképessége okoz. Az elektroszkópos mérési berendezésnél a feltöltött kondenzátorlemez radioaktív sugarak hatására folytonosan veszít a töltéséből, tehát az a feszültség, amelyre eredetileg töltve volt,

folytonosan csökken és ezt a feszültségesést igen érzékenyen követi egy olyan elektroszkópnak a lemeze, amely a kondenzátorlappal összeköttetésben áll.

A fenti leírás és ábrák a mérési módszereknek csak vázlatát adják meg. A készülékek alakja és be rendezése a mérendő anyag természete szerint a legkülönbözőbben változik. Így például, ha gázok áktivitását mérjük, akkor úgy alakítható a kondenzátor, hogy földelt fegyverzete egy gáztartó fémhenger legyen, tölthető fegyverzetéül pedig egy a hengerbe szigetelten és jól tömítve beerősített fémrudat használunk, melynek a fémhengerből kiálló szabad végén alakítjuk ki az elektroszkópot. Az egyik fegyverzet tehát a gázbevezetőcsapokkal is ellátott fémpalack, a másik pedig az ebbe belenyúló és az elektroszkóppal összeköttetésben lévő fémrúd.

A mérésre használt készülék alakját az is befolyásolja, hogy vele α -, β - avagy γ -áktivitást mérünk-e. Az egyes készülékek eltéréseit az α -, β - és γ -sugarak különböző áthatolóképessége okozza. A kis áthatoló képességű, de igen erősen ionizáló α -sugárzás méréséhez olyan készülékek használatosak, amelyeknél a mérendő készítményt nagy felületre kiterítve az ionizáló kamrába közvetlenül bevihetjük, hogy a mérésre kerülő α -sugárzásnak ne állja útját semmi, hanem az teljesen kifejthesse ionizáló hatását. α -sugárzásmérésre például az előbb említett gázáktivitásmérésre használt készülék, az úgynevezett emanációs elektroszkóp is használható, ha az α -sugárzó anyagot a fémhengerbe kiterítve helyezzük el.

« β -elektroszkóp»-nak fémdobozt lehet használni, amelyen belül van szigetelten elhelyezve az elektro-

szkóp s ennek járását egy kis ablakon keresztül lehet megfigyelni. A doboz fenekét egy egészen vékony alumíniumlemez zárja el: ezen át juthatnak az alája helyezett rádioaktív készítmény sugarai az ionizációs térnek is használt fémdobozba. A doboz olyan falvastagsággal készül, hogy az alumíniumlemezen kívül másutt nem juthatnak a β -sugarak a doboz belsejébe. Egy ilyen β -elektroszkópban a β -sugarak hatásával együtt természetesen a sokkal könnyebben áthatoló γ -sugarak hatását is mérjük. Ez azonban nem zavar, mert rendszeren elhanyagolható a γ -sugárzás okozta ionizáció a β -sugárzás által előidézett mellett.

Ha a β -elektroszkópot úgy készítik, hogy az alumíniumlemez helyén is olyan legyen a falvastagsága, mint egyebütt, akkor az ionizációs térbe β -sugarak egyáltalán nem juthatnak be, hanem csak γ -sugarak, ilyenkor a készülék γ -áktivitások összehasonlítására használható.

Arról, hogy az α -, β - vagy β -sugárzás mérésénél csak a kívánt sugárfajta juthasson a mérőkészülékbe, különböző fogásokkal kell gondoskodni, ezeknek ismeretése azonban messze vezetne.

A rádium mennyiségét kétféle módon határozzák aszerint, amint nagyobb vagy kisebb mennyiségek méréséről van szó. Nagyobb mennyiségeket γ -sugárzás alapján mérünk meg, kisebb mennyiségek mérésére a rádiumból keletkező emanáció és az ebből keletkező rövid életű rádioaktív lerakódás α -sugárzása használható fel.

A rádiumos készítményeknek γ -sugárzásuk alapján való méréséhez egy rádiumétalonra van szükség. A Bruxellesben, 1910-ben tartott második nemzetközi

kongresszuson megállapodás jött létre, amelynek értelmében a Curiené vezetése alatt álló párizsi intézetben elkészítettek egy 21·99 g rádiumchloridot tartalmazó készítményt; egyidejűleg a wieni Institut für Radiumforschungban is készítettek egy rádiumétálon, amely 31·17 g rádiumchloridot tartalmaz. A két étálon egy-mással összehasonlították és miután azok egyformán helyeseknek bizonyultak, ma végeredményben minden γ -sugárzáson alapuló rádióaktivitásmérésnél (rádiumos készítmény értékmeghatározásánál) közvetve ezen két étálon egyikéhez hasonlítjuk a mérendő készítményt egészen úgy, mint ahogyan minden hosszmerésnél végeredményben a párizsi mintaméterhez hasonlítjuk (ha közvetve is) a mérendő hosszt.

Az összehasonlító mérések végzésére γ -elektroszkópot, nagyobb mennyiségű rádium meghatározására galvánométeres műszert használunk. A mérés egyszerűen oly módon történik, hogy először az étálon, azután a megmérendő készítmény γ -sugarai okozta áramot határozzuk meg s a két adatból, számításba véve a készülék saját vezetőképességét, állapítjuk meg a mérendő készítmény értékét.

Nem lehet azonban megállapítani ezzel a mérési módszerrel, hogy a mért γ -aktivitás rádiumtól vagy mezothoriumtól ered-e. Ezért a vizsgáló intézetek nem azt igazolják, hogy a megvizsgált készítmény mennyi rádiumot tartalmaz, csak azt, hogy a vizsgált készítmény γ -sugárzása mennyi rádium γ -sugárzásával egyenlő. Azt, hogy egy rádiumkészítmény mezothoriumtartalmú-e vagy még inkább azt, hogy mennyire mezothoriumtartalmú: egészen biztosan csak úgy lehet megállapítani, ha belőle keveset feloldunk s a belőle képződött emanációt vizs-

gáljuk meg. Ha egy bezárt készítmény sugárzásának nagyobb része mezothoriumtól ered, akkor az egyrészt a kétféle γ -sugárzás különböző áthatoló képességéből vehető észre és határozható meg, másrészt (hosszabb megfigyelési idő alatt) a rádium és mezothorium különböző bomlási sebessége alapján.

A kisebb rádiummennyiségek mérésére használt emanációs módszernek a γ -sugárzás mérésén alapuló módszerrel szemben az az előnye, hogy ennél könnyebben eldönthető a megmérésre kerülő készítményről az, hogy mezothoriummal szennyezett-e vagy sem. Ennél a módszernél ugyanis a mérésre kerülő készítményből vizes oldatot kell készíteni és az ezen vizes oldatból keletkező rádiumemanáció (mezothorium esetében thoriumemanáció) kerül az emanációs elektroszkópban mérésre. Eleinte nem súlyegységekben adták meg a rádium mennyiségét, hanem megmérték a meghatározandó rádiummal egyensúlyban lévő rádiumemanáció okozta áramot és azt Mache ajánlatára egy meglehetősen önkényes egységgel az áramerősség elektrosztatikai egységének ezredrészével, az úgynevezett Mache-egységekkel fejezték ki. Ezek a számértékek azonban nem eléggé áttekinthetők, mert csak az emanáció előidézte telítési áram erősségét adják meg, de a megmért rádium vagy rádiumemanáció mennyiségéről nem tájékoztatnak közvetlenül.

A Bruxellesben, 1910-ben tartott második nemzetközi radiológiai kongresszus áttért az emanációs méréseknél is a közvetlen összehasonlításra. Ehhez azonban az emanáció egységét kellett megállapítani. *A kongresszus az emanáció egységéül az egy gramm rádiummal egyensúlyban levő rádiumemanáció mennyi-*

ségét fogadta el és elnevezte azt 1 curie emanációnak; ennek az egységnek ezredrészét, azaz az egy milligramm rádiummal egyensúlyban levő emanációmennyiséget pedig 1 millicuriének nevezte el. Ásványos vizek rádium-emanációtartalmának meghatározására egységül újabban a millicurie százezredrészét veszik s ezt egy emanak nevezik. A mérés maga ezekután Curiené ajánlatára úgy történik, hogy először megmérjük az emanációs elektroszkóppal valamely ismert mennyiségű rádiummal egyensúlyban levő emanációmennyiség által okozott telítési áramot, azután pedig megmérjük a meghatározandó készítménnyel egyensúlyban levő emanáció okozta telítési áramot. A két áramintenzitás úgy aránylik egymáshoz, mint a két rádiummennyiség. Ez az eljárás meglehetősen körülményes, mivel állandóan készenlétben kell tartani ismert töménységű híg rádiumoldatokat, hogy azok felett 30—40 nap alatt az egyensúlyi mennyiségű emanáció összegyűljék és mindenkor rendelkezésre álljon. Az ilyen oldatok nehezen tarthatók el a szükséges tulajdonságaik megváltozása nélkül, épen azért szerző olyan eljárást dolgozott ki, amelynél elkerülhető az összehasonlításhoz szükséges ismert töménységű oldatok használata. Az eljárásnak az a lényege, hogy a mérendő anyag emanációja által előidézett telítési áramot nem az ismert töménységű oldatból összegyűlt emanációval hasonlítja össze, hanem egy a készülék külső oldalán elhelyezett rádiumkészítmény γ -sugara által előidézett telítési árammal. Külön méréssel egyszer és mindenkorra megállapítható, hogy egy készülékben hány curie emanáció okoz ugyanolyan vezetőképeséget, mint a készülék oldalára helyezett ú. n. étalon és ha ez ismert, akkor elég az ismert

emanációmennyiségnek a készülékbe való juttatása helyett az étálon a készülék oldalára helyezni. Ezzel az egyszerű fogással az emanációs meghatározáshoz szükséges idő a felére csökkenthető.

A rádioaktív sugarak hatásairól.

A rádioaktív sugarak cinkszulfidot, willemitet, gyémántot világításra indító hatásán (l. α -sugarak leírása), a fényképezőlemezre gyakorolt hatásán (l. sugarak leírása és mérő módszerek ismertetése) és a levegőt ionizáló hatásán kívül (l. rádioaktív mérő módszerek) különös figyelmet érdemel a hőfejlesztő hatása és az élő szervezetekre gyakorolt úgynevezett fiziológiai hatása. Ezekkel külön fejezetekben foglalkozik e könyv.

Van azonban a rádioaktív sugaraknak sok olyan hatása, amely nem foglalható egységes megjelölés alá, amelyek közé mégis úgy elméleti, mint gyakorlati szempontból nagyon érdekes jelenségek tartoznak.

Nemcsak a teljesen vízmentes rádiumsók (különösen a chlorid) világítanak sötétben (jellemző kék fénnel), hanem mesterséges és természetes anyagokat is világításra készítenek. Ez a lumineszcenciajelenség a legszebb színekben jelentkezhet; rádiumsugarak hatásának kitett báriumplatinacianürkristályok zöldesfehér fénnel, cinkszulfidkristályok fehér fénnel világítanak; egyes szerves vegyületek, például igen sok benzol-származék, intenzív lumineszkálást mutat. Az ásványok közül a willemit (cinkszilikát) zöld, a gyémánt kék, a kuncit (aluminium-lithiumszilikát) vörös színnel lumineszkál. Ezenközben a színüket is megváltoztatják: az eredetileg rózsaszínű kuncit zöld lesz, a zöld színű

fluorit kékre színeződik. Ha az így színüket változtalt kristályokat kissé megmelegítjük, akkor rendszerint fénykibocsátás közben ismét visszanyerik az eredeti színüket.

A rádiumos készítményeket, vagy más erősen áktív anyagot tartalmazó üvegedények színe is rövidebb-hosszabb idő alatt megváltozik. Közöséges nátron-üveg rövidesen ibolyaszínű lesz. Mangántartalmú üvegek sötétlilára színeződnek, míg a kálium tartalmú üvegek sárgás vagy barna színűekké válnak. Az α sugarak hatása sokkal erősebb, mint a β - és γ -sugaraké, viszont azonban az utóbbiak sokkal nagyobb mélységig színeznek. Érdekes megfigyelni, hogy olyan edényben, amelyben kevés, de tömény rádiumsóoldat van, nem ott észlelhető erősebb színeződés, ahol az üveg a folyadékkal érintkezik, hanem a folyadék felszíne fölött, még pedig azért, mert az erősen α -sugárzó rádiumemanáció nagyobb része a folyadékfeletti gáztérben van (miután az oldat aránylag kevésbé oldja az emanációt) és itt erősebben színezi az üveget, mint az oldat gyengébb sugárzása. Egyes kvarcfajtákat hasonlóképen színeznek a rádioáktív sugarak. Az így létrejött színeződés eltüntethető a színes anyagok gyenge megmelegítésével vagy pedig ultraibolya sugarakkal való megvilágítással.

Ezeknek a jelenségeknek a megmagyarázására Elster és Geitel azt tételezték föl, hogy a színeződés a sugarak hatására kiváló és szilárd oldatot alkotó alkálifém-től ered.

Ezt a föltevést később észlelt jelenségek megerősítették. Kitünt, hogy a konyhasó rádioáktív sugarak hatására kék lesz. Lithium tartalmú boraxgyöngyök barnák, nátrium tartalmúak ibolyaszínűek, kálium tartalmúak

kékek, rubidium tartalmúak zöldek lesznek. Ezek a színek pedig egyeznek a megfelelő fémek ú. n. kolloidális oldatainak színével, amelyekről nagyon valószínű, hogy azokban a szabad fém igen finom eloszlása okozza a színeződést.

Látható tehát, hogy ezeknek a jelenségeknek az alapja tulajdonképpen kémiai változás, amely rádioaktív sugárzás hatására jön létre. A rádioaktív sugarakban rejlő nagy energiamennyiség azonban sokkal könnyebben felismerhető kémiai változásokat is idézhet elő. Ezeknek a kémiai hatásoknak nagyrésze hasonlít a fény által előidézett kémiai folyamatokhoz, ami a γ -sugarak esetében elég könnyen érthető is, hiszen a γ -sugarak nem egyebek igen rövid hullámhosszú fény-sugaraknál Durranógáz hidrogénje és oxigénje, klórdurranógáz klórja és hidrogénje rádioaktív sugarak hatására egyesülnek. Nitrogénből és hidrogénből ammónia keletkezik. Viszont ezen folyamatok ellenkezője is előidézhető a radioaktív sugarakkal. Régen ismert tény például az, hogy tömény rádiumsóoldatokból állandóan gáz fejlődik. A fejlődő gáz durranógáz, mert a rádioaktív sugarak hatására a víz hidrogénre, oxigénre és hidrogénperoxidra bomlik. Ez a gázfejlődés igen jelentékeny: egy olyan oldatból, amely 1 g rádiumot tartalmaz oldva (valamely oldható só alakjában), naponként 13 cm^3 gáz fejlődik. Az egyik legjellemzőbb hatása azonban a rádioaktív sugaraknak az ózonképzés, mert ez magyarázza meg igen gyakran jelentkező oxidáló hatásukat. Nagyobb mennyiségű szilárd rádiumsó közelében mindig kifejezett ózonszag érezhető. Ez idézi elő a közelében lévő fémtárgyak oxidálódását; a vele való kísérletezésnél ez fejleszt például a készülékek

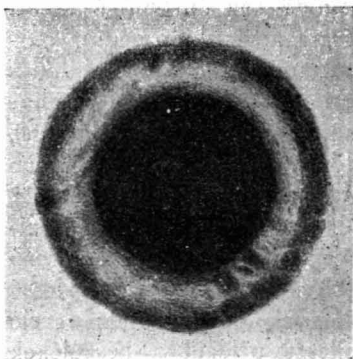
csapjain levő organikus csapkenőcsökből CO_2 -t, ez teszi törékennyé a közelébe került kaucsuk alkotórészeket.

Míndezeket a reakciókat ugyanaz a vonás jellemzi, ami a fény által előidézett reakciókat: az előidézésükhöz szükséges energiamennyiségnek csak egészen kis százalékát használják ki. Ennek az alapvető rokonvonásnak következtében közös elméleti magyarázat van fejlődőben a rádioaktív hatásokra lefolyó és a fény hatására lefolyó reakciók megmagyarázására.

A rádioaktivitás és a geológia kapcsolata.

Az a tény, hogy eddigi ismereteink szerint a rádioaktív bomlási folyamatok sebessége semminemű külső hatással nem befolyásolható, ásványok, kőzetek geológiai korának meghatározásához adott segédeszközt. Három úton jut a rádiológia és geológia karöltve eredményekhez: egyrészt meghatározzák azt az időt, amely

szükséges egyes ásványokban látható erősebb vagy gyengébb pleokroisztikus (elnevezés eredetét lásd alább) udvarok keletkezéséhez; másrészt meghatározzák urániumásványokban a rádioaktív végtermék (urániumólom) és uránium arányát és ebből számítják a geo-



9. ábra.

lógiai kort; végül meghatározzák rádioaktív ásványokban a benük elnyelve telálható, α -sugárzástól eredő héliumgáz mennyiségét.

Nem ritkák az olyan turmalinkristályok vagy csillámlemezek, amelyekben gömbalakú, különös szerkezetű kis foltok láthatók. Ezek mikroszkóp alatt a 9. ábrán látható erősen nagyított képet mutatják. A folt közepén egy mikroszkópos méretű kristály van és e körül sötétebb és világosabb udvarok figyelhetők meg.

Pontos megfigyelések mutatják, hogy a folt képe és az udvarok száma a közepén lévő rádioaktív kristály anyagától függ; ilyen szerkezetű foltokat mesterségesen is elő lehet idézni rádioaktív anyagokkal az említett ásványokban.

Egy-egy ilyen pleokroisztikus udvar legbelső leg-sötétebb részét a kristályból kiinduló összes α -sugarak hozták létre; az ezek körül elhelyezkedő sötét gyűrűk a nagyobb hatótávolságú α -sugarakat kilövelő bomlástermékek α -sugaraitól erednek; a közöttük látható világosabb mezőket pedig azzal lehet megmagyarázni, hogy az α -sugarak hatása az útjuk végén éppen a hatótávolság végpontján sokkal erősebb, mint útjuk egyéb helyein.

Ezeknek a foltoknak létrejöttéhez csak az α -sugarak járulnak hozzá, a nagyobb áthatoló képességű β - és γ -sugarak hatása szemmel nem vehető észre. Csillámlemezben az urániumnak az α -sugarai csak 0.013 mm hatótávolságúak, a rádium C α -sugarai 0.033 mm hatótávolságúak. Az uránium tartalmú kristályok körül keletkező pleokroisztikus udvarokon ezek a méretek jól megfigyelhetők. Jellemző tulajdonságuk ezek-

nek a foltoknak, hogy poláros fényben többszínűek: pleokroisztikusok.

Miután a pleokroisztikus udvarokat mesterségesen is elő lehet idézni, megmérhető az az idő, amely alatt valamely (mindenesetre aránylagosan igen nagy) radioaktív anyagmennyiség ugyanolyan intenzív foltot létesít, mint a megfigyelt ásványba zárt kis aktív kristály.

Ha ezt ismerjük, akkor csak azt kell a mikroszkópos méretek lemérésével megállapítani, mennyiszor kisebb a természetes foltban foglalt aktív anyag mennyisége, mint a kísérlethez használté: ezután már kiszámíthatjuk azt az időt, amely a természetes pleokroisztikus udvar keletkezéséhez szükséges volt. Ez nyilvánvalóan annyiszor hosszabb, mint ahányszor nagyobb a kísérletnél alkalmazott aktív anyag mennyisége a kristályban lévőnél.

Igy megközelítő fölvilágosítást nyerhetünk a megvizsgált ásványok és kőzetek koráról. Egyes (devonkori) csillámok geológiai korát ezzel a módszerrel 400 millió évnél találták.

Azóta, amióta a radioaktív végtermékekre vonatkozó adatok Hönigschmied nevezetes atomsúlymeghatározásai alapján pontosabb számításokat tesznek lehetővé, az urániumólom mennyiségének meghatározásával történt számítások szolgáltatják a legmegbízhatóbb geológiai értékeket. Az urániumnak és bomlástermékeinek adataiból kiszámítható, hogy 1 g U egy év alatt $1.21 \cdot 10^{-10}$ g urániumólmot termel, vagyis egy olyan urániumásvány, amelyben mindeu 1 g urániumra 0.0121 g urániumólom esik, 100 millió évesnek vehető elég jó megközelítéssel. Ilyen alapon számítva a norvég

bröggerit nevű ásvány geológiai korát 950 millió évek találták, a Hönigschmied által vizsgált Morogoro-ércét pedig 700 millió évek. A legnagyobb geológiai kort egy Zirkon-ásványnál találták: a számítás 1500 millió évesnek mutatta.

Ezeknek az adatoknak a pontosságát az a körülmény határozottan csökkenti, hogy hasonló módon a thorium és thoriumólom arányából számítva egyes thoriumásványok geológiai korát, azok aránytalanul fiatalabbnak mutatkoztak, mint az urániumásványok (egyik-másik csak 10 millió évesnek adódott), ami pedig nem valószínű.

Ramsay rádioaktív kőzetekben bezárt gázban fedezte fel a héliumot. Ez a héliumtartalom határozott összefüggésben van az ásványok uránium, vagy thorium-tartalmával, mert az urániumatom nyolc olyan bomláson keresztül alakul, mely α -sugárzással jár. Ha az α -sugarak nem juthatnak ki az ásványból, akkor abban hélium marad vissza. Rutherford számításai szerint 1 g bomlástermékeivel egyensúlyban lévő urániummásodpercenként $9 \cdot 7 \cdot 10^4$ α -részecskét lövel ki: ez évi $1.1 \cdot 10^{-4}$ mm^3 héliumgáznak felel meg. 1 g összes bomlástermékeivel egyensúlyban lévő thorium $3 \cdot 1 \cdot 10^{-5}$ mm^3 héliumot termel.

Ha fölteszük, hogy a keletkezett összes héliummennyiség az ásványban bezárva megmaradt, akkor meghatározván egy ásvány uránium- vagy thoriumtartalmának és héliumtartalmának arányát, abból az életkorát kiszámíthatjuk. Ilyen számításokat Strutt végzett. Eredményei csak tájékoztató értékűek, mert feltételezik azt, hogy az összes képződött hélium megmaradt a képződése helyén a kőzetben, másrészt pedig feltételezik azt is, hogy

máshonnan a kőzetbe hélium nem került csak α -sugárzás folytán. Számítása szerint:

az oligocén kor óta	8 millió év
az eocén « «	31 « «
a karbon « «	150 « «
az árcháikus « «	710 « «

telt el.

Strutt számításainak első föltevése is önkényes mert csak a legkevesebb kőzet szerkezete olyan tömör hogy belőle egy gáz eltávozása, geológiai idők folyamán se volna lehetséges; de második föltevése is az, mert a végzett mérések azt mutatták, hogy olyan ásványokban, amelyekben aránylag kismennyiségű radioaktív anyag volt csak, mégis jelentékeny héliumtartalom volt található.

A földkéreg átlagos urániumtartalma g -onként $6.10^{-6} g$ uránium, rádiumtartalma $2.10^{-12} g$ rádium. Az átlag thoriumtartalom $1.6.10^{-5} g$ grammonként. Amint arról már a könyv más helyén (42. oldal) szó volt, a radioaktív elemek jelenléte csaknem minden geológiai rétegben és csaknem mindenütt ki volt mutatható. Ugyanilyen általánosan kimutatható az emanáció jelenléte a levegőben, ha igen kis mennyiségben is. 1 cm^3 levegőben átlag 8.10^{-17} curie emanáció található; akkora emanációmennyiség ez, hogy ennek az egész levegőréteg számára való állandó termeléséhez 1000 kg rádiummennyiséget kell feltételezni. Ez a levegőben mindenütt jelenlévő emanációmennyiség tekinthető a levegő természetes vezetőképessége okának.

A földkéreg radioaktív anyagtartalmának meghatározásával együtt egy általános érdekességű kérdés

merült fel: milyen mértékben járul hozzá a föld hő-energiájához a radioaktív anyagok bomlásával kapcsolatos hőfejlődés? Ennek a kérdésnek a megvizsgálása meglepő eredményre vezetett. Már régen ismeretes, hogy a föld felületén át kisugárzott hő elég jelentékeny: óránként $4 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ gramm-kalória hőt veszít a föld felületének minden négyzetcentiméterén át.

Ismervén a rádiummal egyensúlyban lévő urániumnak és a thoriumnak e hőtermelő képességét, egyszerű számítással azt kapjuk, hogy $2 \cdot 4 \cdot 10^{20}$ g uránium vagy $9 \cdot 10^{20}$ g thorium elegendő volna ahhoz, hogy a földnek állandóan kisugárzott hőjét állandóan pótolja. Ez a két szám igen érdekes. Sokkal kisebb ugyanis annál az uránium- vagy thoriummennyiségnél, amelyet akkor kapnánk, hogyha a földkéreg ismeretes átlagos urániumtartalmából ($6 \cdot 10^{-6}$ g U grammonként) és thoriumtartalmából ($1 \cdot 6 \cdot 10^{-5}$ g grammonként) számítanánk ki a földben foglalt összes uránium és thorium mennyiségét. Még szembevetőbbé válik ezeknek az adatoknak a jelentősége, ha kiszámítjuk, hogy körülbelül milyen mélységig volna szükséges feltételezni a földkéreg ismeretes átlagos uránium és thorium tartalmát, hogy annak radioaktív hőtermelése a kisugárzott hő pótlására elegendő legyen. Mínthogy 1 g uránium óránként $9 \cdot 10^{-5}$ g-kalóriát termel, 1 g thorium pedig $1 \cdot 5 \cdot 10^{-5}$ g-kalóriát, a földkéreg 1 g-ja

$$\begin{array}{r} 6 \cdot 10^{-6} \cdot 9 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 4 \cdot 10^{-10} \\ 1 \cdot 6 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 4 \cdot 0 \cdot 10^{-10} \\ \hline 9 \cdot 4 \cdot 10^{-10} \text{ g-kalória me-} \end{array}$$

leget termel óránként, vagy ami ezzel teljesen azonos, 1 cm^3 -e $9 \cdot 4 \cdot 10^{-10} \cdot 2 \cdot 7 = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-9}$ g-kalóriát, mínthogy

a földréteg átlagos sűrűsége 2·7-nek vehető. Kiszámítható, hogy a föld felületének 1 cm^2 -e mögött, amely óránként $4\cdot2\cdot10^{-3}$ g-kalória hőt veszít, hány cm^3 — $2\cdot5\cdot10^{-9}$ g-kalóriát termelő anyagnak kell lennie, hogy a hőveszteséget pótolja:

$$\frac{4\cdot2\cdot10^{-3}}{2\cdot5\cdot10^{-9}} = 16\cdot8\cdot10^5$$

azaz, hogyha a föld egész felülete mögött kerek számban 17 km vastagságban változatlanul annyi radioaktív anyagot tartalmazna a földkéreg, mint amennyit a földfelület átlagosan tartalmaz, az már elegendő volna a kisugárzott hő pótlására. Ha a föld egész tömegében a földfelületen található arányban volna radioaktív anyag, akkor az általuk termelt hő sokkal több léven, mint a kisugárzás által veszített hő, a földnek állandóan melegednie kellene. Ez a következtetés azonban az összes eddigi megfigyelésekkel és mérésekkel ellenkezik. Azt kell tehát föltételeznünk, hogy a föld belseje felé az uránium- rádium- és thoriumtartalom erősen csökken, úgy hogy a földkéreg felszínének radioaktív anyag-tartalmára vonatkozó mérseink nem általánosíthatók a föld egész anyagára.

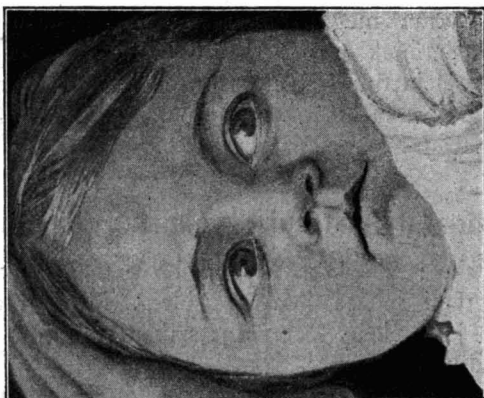
Érdekes ellentétét találjuk ezeknek a viszonyoknak a napon. A nap kisugárzott hőjét nem lehet csupán atombomlásból eredő hőenergiával magyarázni, mert hogyha föltesszük, hogy a napon is ugyanolyan energiatermeléssel bomlik az uránium, mint a földön uralkodó körülmények között, akkor, ha tisztán urániumból állana is a nap, alig fedezhetné ennek a bomlása a kisugárzott energia felét. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a napon nem volna elgondolható

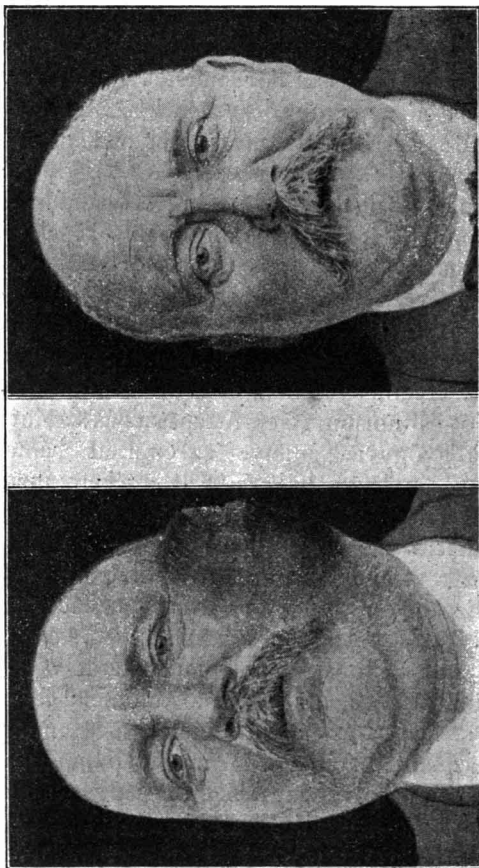
atombomlás. Sőt ellenkezőleg: a föld mágneses sarkai körül gyakran megjelenő sarki fényt újabban rádio-aktív eredetűnek tartják és fölteszik, hogy a napból kiinduló, elektromos töltést hordozó, anyagi részecskékből álló sugárzás okozza, amelyre a föld mágneses sarkai hatást gyakorolnak.

A rádioaktív hatások gyakorlati alkalmazása.

Gyakorlati hasznót leginkább a rádioaktív anyagok élettani hatása hozott ezideig. Mint gyógyító-tényező jelentékeny szerepet játszik különösen a rádium és a rádiumemanáció.

Az első — mindenesetre nagyon kellemetlen — észlelt élettani hatás Curienének az a tapasztalata volt, hogy hosszabb hatás után a rádium sugarai a bőr felületén igen nehezen gyógyuló sebeket idéznek elő. A rádium sugarainak szövetekre való ilyen energikus hatását azután egyes, különösen rákos- és bőrbetegségeknek a gyógyítására használták föl, mivel kitűnt, hogy az ép szövetek hat-hétszer ellenállóbbak, mint a betegek. A sugarak hatását meg lehet tehát úgy választani, hogy az az ép szöveteken gyakorlatilag semmi kárt sem tesz, a betegeket pedig jelentékenyen pusztítja. A bőr felületét legerősebben az α -sugarak támadják meg. Ezeket egyes bőrbajok gyógyításánál használják eredménnyel. α -sugárzó anyagul rádium helyett gyakran használnak ioniumot vagy poloniumot. A rákos daganatok kezelésénél a γ -sugarak hatását hasznosítják, mert itt mélyebbre hatoló hatásra van szükség. Az alkalmazott nagyobb mennyiségű (10—100 milligramm) rádium α -sugarai a bőrt igen erősen meg-





támadnák. Ezt elkerülendő, a készítményt üvegfiolába és fémtokba zárják. A γ -sugarak a fémtokon való áthaladásuk közben lassú másodlagos β -sugarakat váltanak ki. Ez a lassú β -sugárzás a bőr felületét igen erősen megtámadná, ha ellene nem védekeznének azzal, hogy a testre helyezendő készítményt még előbb vattába is be nem göngyöltetnék. A vatta visszatartja a lágy β -sugarakat. A rádium sugarainak bőrfelületén lévő bántalmakra való hatását mutatják a túloldalon közölt képek. E képek dr. Wickham és dr. Degrais francia orvosok könyvéből vannak átvéve. A képeken egymással szemben találjuk a szenvedő és a sugarak hatására gyógyult beteg képét.

Csúszos, köszvényes és neuralgiás bántalmak gyógyítására eredményesen használnak rádiumot, rádium-emanációt és thorium X-et. A tapasztalás szerint ugyanis igen sok gyógyvíz, amelyet az említett bántalmaknál eredményesen használtak, épen jelentékeny mennyiségű emanáció tartalmú és nem egy van köztük olyan, amely az emanáció tartalmán kívül szinte semmiben sem különbözik valamely közönséges kútvíztől vagy forrásvíztől. Ezeknek a gyógyító hatását emanációtartalmuknak kell tulajdonítani.

Az emanációnak fiziológiai hatását sok érdekes kutatómunka vizsgálta már, a különféle észlelt hatás egységes magyarázatát megtalálni mégsem sikerült; csupán az volt határozottan megállapítható, hogy az adagolt emanáció mennyiségétől lényegesen függ a hatás, mert amíg például egy kismennyiségű emanáció hatásának kitett növénypalánta sokkal gyorsabban fejlődik, mint egy enélkül, de hasonló körülmények között növelt, addig nagyobb mennyiségű emanációval késleltetni lehet a fejlődést, sőt meg is lehet szüntetni.

Érdekesek Molisch kísérletei téli nyugalomban lévő orgona- és vadgesztenyerügyekkel. Molisch a levágott ágakat november és december hónapokban rádium-emanáció hatásának tette ki s ezek rügyei vízbe téve kifakadtak, míg az ellenőrzésként a hatásnak ki nem tett ágak változatlanok maradtak. Általában az volt tapasztalható, hogy kismennyiségű emanáció rendszerint kedvezően hat, nagyobb mennyiségű azonban káros, továbbá, hogy a radioaktív anyagok kis mennyisége izgatólag, serkentőleg hat a szervezetekre és hogy az erősebb sugárzás legelőbb a beteg sejtekre, azután a szaporodó szervekre hat, a növényi test többi része nagyobb ellentállást mutat velük szemben. Ugyanezt mutatják az állatokon végzett kísérletek is.

Igen figyelmet keltő, érdekes kísérleteket végzett hasonló irányban Zwademacker. Ő tulajdonképen azt kereste, nem volna-e lehetséges a fiziológiában gyakran használt (úgynevezett) Ringer-oldatban a gyengén sugárzóképes káliumot valamely más radioaktív anyaggal helyettesíteni. Kísérleteit kipreparált békaszivekkel végezte, amelyeknek normális életműködése néhány óráig is megmarad az állat kimulása után, hogyha benne a vért normális Ringer-oldattal helyettesítjük. Zwademacker tulajdonképen azt vizsgálta, hogy nem volna-e az oldatban levő káliumsó a hozzá kémiailag nagyon hasonló nátriumsóval helyettesíthető. A kísérletei azt mutatták, hogy nem. A káliummentes Ringer-oldattal a legcsekélyebb ideig sem tartható fönn mesterségesen a szív működés. Ha azonban olyan mennyiségű radioaktív anyagot (pl. rádiumchloridot) adunk hozzá amelynek áktivitása az oldatban szereplő káliuméval egyenlő, akkor az oldat úgy használható, mint a nor-

mális kálium tartalmú Ringer-oldat. Ezeket a kísérleteket nálunk dr. Mannsfeld tanár és szerző megismételték és azt az igen érdekes tapasztalatot szerezték, hogyha a Ringer-oldatban pl. tízszerakkora áktívítású rádióáktív anyaggal helyettesítik a káliumsókat, mint amekkora azoknak maguknak az áktívítása, akkor éppen olyan határozottan használhatatlan a Ringer-oldat, mintha sem rádióáktív anyagot, sem káliumot nem tartalmazna; ha egy helyesen készített Ringer-oldattal működésben tartott szívbe ez a tízszer áktívabb oldat kerül, a szív azonnal megszűnik működni. Ezek a kísérletek is a növénykísérletekhez hasonlóan amellet szólnak, hogy amilyen jóhatásúak lehetnek a rádióáktív tényezők az élő szervezetre bizonyos határokon alul, éppen olyan károsak lehetnek, ha ezeket a határokat túllépik. A modern orvostudomány ma már ezeknek az eredményeknek a figyelembevételével alkalmazza a rádióáktív gyógyító tényezőket.*

A rádióáktív anyagok technikai alkalmazása sokkal szűkebb körű mint az orvosi alkalmazása. Az egyetlen jelentősebb felhasználásukkal a világító festékeknel találkozunk. Az éjjel világító órák számai és mutatója, a háborúban a katonai repülőgépekre szerelt műszerek beosztásai stb. olyan világításra képes cinkszulfid-festékkel voltak bevonva, amelyhez elegendő mennyiségű rádióáktív anyagot (ritkán rádiumsókat, hanem

* Külföldön különböző radioaktív gyógyszerek kerülnek forgalomba. Nálunk dr. Wéber és Kasztner gyógyszerészek Neoradan név alatt, Zwademacker kísérletei alapján összeállított rádium tartalmú tablettákat hoznak forgalomban, melyek orvosi tapasztalat szerint neuraszténiás és köszvényes bántalmaknál jó eredményeket mutatnak.

inkább valamely olcsóbb mezothoriumkészítményt) keverték. Ennek a sugárzása készítette azután a cink-szulfidot állandó világításra. Ma, különösen Amerikában, színpadi hatások elérésére különböző igen szép színekben világító ilyen festékeket készítenek és ezekkel csipkéket, fátyolokat, jelmezeket vonnak be.

A rádioaktív anyagok hőfejlesztőképessége.

Fr. Soddy egy, a glasgowi egyetemen tartott előadás sorozatában a rádiumban és a rádioaktív anyagokban rejlő energiakészletről való elmélkedése közben, többek között a következőket mondja:

«Némely legenda vagy monda, amely az őskorból maradt reánk, olyan általános és mélyen gyökerező, hogy hajlandók vagyunk őket olyan régieknek tekinteni, amilyen maga az emberiség. És szinte kedve van az embernek föltenni azt a kérdést, vajjon ezeknek a mondáknak hihetetlen ráillése legújabb fölfogásunkra a véletlen játéka-e csupán vagy talán egy sohasem sejtett régesrégi emberi műveltségnek egyetlen hagyatéka?...

Engedjük képzeletünket ebben az irányban még egy pillanatig szabadjára, mielőtt előadásomat befejezném. Ha az, amire így egészen önkéntelenül jutottunk, igaz, ha a történelemelőtti idők hagyományainak, a sejtelmeknek és a babonának ingatag talajára szabad építenünk: nem találhatjuk-e akkor némi támogatását annak a hitünknek, hogy egy ősrégi, már feledésbe ment emberfaj nemcsak azokig az ismeretekig jutott el, amelyeket mi legújabbán szereztünk, hanem magához tudta ragadni azt a hatalmat is, amellyel mi még

nem rendelkezünk? A természettudomány úgy állítja elénk a multak történetét, mint az ember folytonos emelkedését egészen hatalmának mai felszínéig. Fajunk e folytonos fölfelé való haladásának bizonyítékaival szemben mind érthetlenebbé vált a hagyomány, mely szerint az ember valamely magasabbrendű állapotból hullott alá bűnbeesése által. A mi új nézőpontunkból a két fölfogás nincs is olyan igaz ellentétben egymással, mint eddig látszott. Olyan emberfajnak, amely az anyagot tranzmutálni is tudta, nem igen lehetett szüksége reá, hogy arca verejtékével szerezze meg kenyérét. Ha szabad abból az eredményből következtetnünk, amelyet a mi mérnökeink a rendelkezésükre álló, aránylag csekély energiával el tudtak érni, akkor az az emberfaj a vadont is át tudta változtatni, meg tudta olvasztani a sarkok jegét és az egész földet mosolygó paradicsommá tudta változtatni. Talán a világűrnek kívülünk eső részeit is ki tudta kutatni és épűgy átvándorolt más világokba, amint számféletti testvéreink most gazdagabb földrészekre költöznek át. De az ember ilyen fajta uralma csak rövid életű lehetett. Egyetlen balfogással ellenkezőjébe fordulhatott az ember és a természet, az «úr» és a «szolga» viszonya és pedig olyan végzetesen, hogy az egész földi világ a természet elvitázhatatlan rabszolgauralma alá került és kezdetű újból fáradságos útját fölfelé rengeteg korszakokon keresztül. Talán a bibliának az ember bűnbeeséséről szóló része ilyen katasztrófa emlékét őrzű.

A rádűm állandó energiatermelésének megismérűse és az a merész perspektűva, amelyet Soddy az idézett soraiban ezzel kapcsolatban megnyit, a legellentétesebb hatásokat váltották ki. Az optimisták tol-

lából népszerű tudományos folyóiratokban a legkülönbözőbb számítások láttak napvilágot, amelyek a radio-aktív anyagok energiatermelésének értékesítésével foglalkoztak — természetesen a legvérmesebb reményekkel. Viszont a kételkedők ezeknek a számításoknak a gyenge pontjait kihasználva, nemcsak a számítások komolyságát vonták kétségbe, hanem igyekeztek a tudományos kutatások komolyságába vetett hitet is megingatni. Az a mult és az a munka, amelyre ma már a radioaktivitás tudománya visszatekinthet, kétségtelenül amellet szól, hogy az optimisták vérmessége és a pesszimisták kételkedése egyaránt tulzott volt. A kérdés lehető tárgyilagos megvizsgálása könnyen meggyőzhet erről bennünket.

Gondos kísérleti megállapítás szerint 1 g Ra óránként 132 kalória hőt termel. Ehhez hozzá kell számítani azt az energiamennyiséget, amelyet a rádiumkészítményt burkoló ólomlemezek el nem nyelnek: a rajtuk részben áthatoló γ -sugarak energiáját, úgy hogy ez a szám óránként 137 kalóriára emelkedik. Mint a 31. oldalon olvasható, a mérési kísérleteknél olyan rádiumkészítményt használtak, amely csak a gyorsan bomló termékeivel volt egyensúlyban. Kiszámítható azonban, hogyha összes bomlástermékeivel egyensúlyba jutott rádiumkészítmény hőtermelő képességét mérték volna, azt kb. 20%-kal nagyobbbnak találták volna. Ez alapon kiszámítható, hogy mennyi hőt termel 1 g összes bomlástermékeivel egyensúlyban lévő rádium 1 év alatt és továbbmenőleg kiszámítható az is, hogy teljes átalakulása közben mekkora energiamennyiség válnék szabaddá, miután ismeretes a rádium átlagos életkora: 2280 év. A 31. oldalon írtak szerint ugyanis ugyanaz az energiamennyiség szabadulna föl, ha a rádium az

átlagos életkorának megfelelő időn át egyenletesen a kezdeti energiatermeléssel bomlana el, mint ami a tényleg észlelhető bomlása közben válik szabaddá; ez utóbbi mennyiség azonban közvetlenül nem mérhető meg. 1 g rádium teljes elbomlása közben (ez gyakorlatilag kb. 20.000 esztendő alatt következik be) $3 \cdot 275 \cdot 10^9$ -kal válik szabaddá. Ez igen jelentékeny hőmennyiség. Ha ugyanezt a hőenergiát g-onként 8000 kalóriát termelő (tehát igen jóminőségű) szén elégetésével akarnánk előállítani, akkor $\frac{3 \cdot 275 \cdot 10^9}{8000} = 4 \cdot 09 \cdot 10^6$ g, azaz több mint

négy métermázsa ilyen szénnek kellene elégetni. Ennek a számnak a jelentősége akkor tűnik ki jobban, ha közelítőleg kiszámítjuk, hogy Csonka-Magyarország évi szénfogyasztásának megfelelő energiamennyiséget hány tonna rádium termelhetné.

Az 1922. évi szénstatisztika szerint Csonka-Magyarország szénfogyasztása 1922-ben igen megközelítette az utolsó békeesztendő szénfogyasztását; az évi szén-szükséglet kerekén 800.000 tonna magyar szén és 100.000 tonna külföldi szén volt. Ha ebből következtetni akarunk arra az energiamennyiségre, amelyet ebből a szénmennyiségből Csonka-Magyarország nyerhetett, tudnunk kell, hogy a magyar szén 1 g-ból közelítőleg 4000 kalória nyerhető, míg a külföldi szén 6000 kalóriásnak számítható. Vagyis Csonka-Magyarország 1922-ben $32 \cdot 10^{15}$ kalória magyar szénből eredő és $6 \cdot 10^{15}$ kalória külföldi szénből eredő energiamennyiséget használt el, ami évi $38 \cdot 10^{15}$ kalóriának felel meg. Ugyanennyi az energiatermelése

$$\frac{38 \cdot 10^{15}}{3 \cdot 276 \cdot 10^9} = 1 \cdot 16 \cdot 10^7 \text{ g Ra-nak. Másszóval 12 tonna}$$

A RÁDIOÁKTIV HŐFEJLESZTŐKÉPESSÉGE 91

rádium energiatermelése fedezhetné Csonka-Magyarország egy évi szénenergiaszükségletét. Az összesen 900.000 vagon szén helyett, tehát bőségesen elég volna 1-2 vagon rádium.

Ezek a számok lehetnek figyelmet keltők, azonban gyakorlati jelentőségük nincs. Már csak azért sem, mert itt sokkal nagyobb rádiummennyiségről van szó, mint amennyit termelni egyáltalán lehetséges volna. Azonkívül a rádiumban kétségenkívül igen koncentrált alakban beszerezhető energia sokszorosan drágább, mint a szén energiája, úgy hogy a rádium sugárzásában rejlő energia nem helyettesíthetné gazdaságosan a szénenergiát. Fölmerült azonban egy gyakorlati szempontokból már inkább helytálló gondolat is. Az uránium sugárzásában rejlő energia ugyanis gyakorlati szempontból is komoly versenytársa lehetne a szén kémiai energiájának, ha a főlpszabadulását siettetni tudnánk. Az uránium ugyanis sokkal nagyobb mennyiségben található, mint a rádium és így az ára is hasonlíthatatlanul kisebb, mint a rádiumé, már csak azért is, mert az előállítása is egyszerűbb. Energiatermelése Rutherford számításai szerint pedig jelentékenyen nagyobb, mint a rádiumé, mivel egy gramm uránium egész tömegének inaktív anyaggá való átalakulása közben 5.10⁹ kalóriányi hőenergia válik szabaddá. Ez röviden annyit jelent, hogy ugyanannyi hőenergia termeléséhez urániumból csak 2/3-rész annyi kell, mint rádiumból. Úgy hogy Csonka-Magyarország évi szénenergiaszükségletét nyolc tonna fémurániumban rejlő energiamentiség teljesen kielégíthetné. Az urániumban koncentrált belső energia tehát komoly versenytársa lehetne a szén kémiai energiájának egyrészt, mivel az általános energiaszükség-

lethez viszonyítva nagy urániumkészlet található a földön, másrészt mivel az gazdaságosan kinyerhető, ha nem tartoznék a rádioaktív testek belső energiájának mesterséges fölszabadítása a merész álmok birodalmába. Hogy mit jelentenek a fönti számok, azt néhány példával fogjuk világossá tenni. Egy négyszobás lakás fűtésére körülbelül 75 métermázsza jó magyar szén szükséges. Ennek pótlására elegendő volna 50 *grm* uránium, mit íróasztalunk fiókjában kényelmesen elhelyezhetnénk. Vasutaink tehermentesítéséről a fenti számok közvetlenül adnak felvilágosítást. A repülőgépek terhelésének jórészt a benzin teszi s ennek ellenére nagyobb utakat a repülőgép csak úgy tehet, ha a megfelelő állomásokon újabb benzint vesz fel. Anglia világhatalmát jórészt annak köszöni, hogy a tengeri szénállomások jórésze Anglia birtokában van. Az oceáni gőzösök útjuk közben szenet kénytelenek fölvenni s ennek ellenére terhelésük jórészt a szén teszi. Vasakohók csak ott létesülhetnek, ahol a vasérc és szén is közel van. Hasonlóan vannak az üveg- és más gyárak. Hogy mit jelentene az az ipar, a kereskedelem, a forgalom s az egész emberi élet számára, ha a szénszállítás gondjaitól föl tudnánk szabadulni, arról fest költői képet Soddy az előbb elmondottakban. És ha ez lehetséges volna, megszabadulnánk a téli fűtés gondjaitól; a pilóta zsebében hordhatná a földkörüli útjához szükséges fűtőanyagot, a gyárakat az alföld közepén, a hegyek tetején odaállíthatnók, ahol a nyers anyagot találjuk, ha az urániumban és thoriumban rejlő energiával úgy tudnánk bánni, mint a szénben rejlő energiával, ha azt úgy és akkor tudnók szabaddá tenni, amikor akarjuk, ha az uránium és thorium úgy bom-

lana, amint mi akarjuk és nem úgy, amint ő akarja. Ezt most még megtenni nem tudjuk, hogy meg fogjuk-e tudni tenni, arra nehéz feleletet adni, lehet hogy igen, lehet hogy nem; lehet, hogy hamarosan, lehet hogy soha s ma még azt sem tudjuk, hogy hogyan lehetne ehhez a kérdéshez hozzáfogni. Egyébként feleljen e kérdésre az optimista Soddy.

«Világosan látjuk — mondja Soddy föntjelzett előadásában — a föladat nehézségeit, a rendelkezésünkre álló legnagyobb erőknél elégtelenségét és tiszta fogalmunk van a föladat óriási fontosságáról. Ha végigtekintünk azokon az eredményeken, amelyeket a természettudomány eddig elért és ha figyelembe vesszük a természettudományi módszerek folytonos megismosodását termékenységekben és hatalomban egyaránt, akkor nem igen kételkedhetünk benne, hogy eljön az idő, amikor laboratóriumainkban épen úgy fölbonthatjuk és összetehetjük majd az elemeket, amint most a vegyületeket bontjuk fel és tesszük össze; akkor új erők fognak lüktetni a világ ereiben, amelyek épen olyan mérhetetlen mértékben különböznek mindentől, ami fölött ma rendelkezünk, amennyire a mi természetes energiaforrásaink a vademberéitől különböznek.

A mi jelenlegi helyzetünk valóban sajátos. Az embernek első lépése azon a hosszú úton, amely a barbárságtól a művelődéshez vezetett, úgy látszik, a tűzgyújtás megtanulása volt. Azok a vadembertörzsek, amelyek ennek a módját nem ismerték, a legalacsonyabb fokon maradtak. A tűzgyújtás tudománya volt az első lépés azoknak a természetes energiáknak a felhasználásában, amelyektől a mi emberi műveltségünk még most is föltétlenül függ. Az őseMBER, amíg meg

nem tanult tüzet gyújtani, teljesen a mindenkori nap-sugarak kényének volt kiszolgáltatva. A tűzről és tulajdonságairól csak a természetben véletlenül előforduló égésekből szerezhették tudomást.

Mi ma úgy állunk az anyagban fölismert belső energiakészlettel szemben, amint az ősemler állhatott azzal az energiával szemben, amely a tűz által szabadult föl. Mi is csak onnan tudunk létezéséről, mert megnyilatkozott nekünk a rádióaktivitásban. Mikor annak a művelődésnek a tetőpontján, amelyhez az első lépést az ősemler rég elfeledett időkben tette meg, világossá válik előttünk, hogy ennek a kulturának folytonosan szaporodó szükségleteit nem fogjuk határ nélkül fedezhetni a rendelkezésünkre álló természetes energiaforrásokból, egy teljesen új művelődésnek a lehetősége bontakozik ki szemeink előtt, melynek mi még csak a legalsó fokán állunk, mint tehetetlen szemlélők, kiknek nincs módjukban beavatkozni. Az az energia, amely létünk szükséges föltétele és amelyet a természet csak kelleetlenül és szűk marokkal bocsát rendelkezésünkre, rengeteg készletekben van mindenütt körülöttünk az anyagban fölhalmozva, de nekünk nincs meg a képességünk, hogy hatalmunk alá hajtsuk és használhassuk. Azok az energiaforrások, amelyekkel most rendelkezünk és amelyeket jelenleg használunk föl, a természet őskészletének igazán csak elejtett morzsái. Az eredeti készleteknek eddig még a létezéséről sem tudtunk, sejtelmünk sem volt róluk. Majd ha megtanuljuk, hogyan kell tetszésünk szerint egyik elemet a másikká átváltoztatni, akkor és csakis akkor lesz a természet e rejtett kincsesházának kulcsa kezünkben. Ma még azt sem tudjuk, hogyan kezdünk hozzá a kereséséhez?»

A rádioaktivitás és az atomelmélet.

Dalton elmélete szerint «az atomok a testeknek azon legkisebb részecskéi, amelyeket semmiféle eddig ismert hatással kisebb részekre felbontani nem tudunk».

Dalton elmélete nem állítja azt, hogy az atomoknál van az anyag oszthatóságának legsóbb határa, nem érinti azt a kérdést, hogy az atomok lehetnek-e kisebb részekből összetettek, vagy sem, hanem azt mondja, hogy az elmélet föllállításáig a tudomány rendelkezésére álló eszközökkel szemben az atomok egységes, oszthatatlan testeknek mutatkoznak. Dalton elméletének föllállításától a rádioaktivitás fölfedezéséig körülbelül egy évszázad telt el. Ezalatt a hosszú idő alatt, noha a kutatómódszerek hatalmasan fejlődtek, egyetlen olyan kísérleti tény sem merült föl, amelyből valamely atom összetett voltára lehetett volna következtetést vonni. Prout volt az egyedüli, aki nem sokkal Dalton elméletének föllállítása után megkísérelte a Demokritos-féle ősatomelméletet felújítani oly módon, hogy az összes atomokat az ismert legkisebb atomsúlyú hidrogén atomjaiból összetetteknek képzelte. Ezzel együtt föltételezte azt is, hogy az összes elemek atomsúlyai a hidrogén atomsúlyának sokszorosai. Ez a feltevés azonban ellenkezett a tapasztalással, mert az azidőben ismert elemek nagyrésznének atomsúlya nem volt a hidrogén atomsúlyának egész számú sokszorosa. Prout ezt a körülményt az atomsúlymeghatározások pontatlanságának tulajdonította.

Prout elmélete igen sok kutatót indított arra, hogy pontos atomsúlymeghatározást végezzen. Ezek a gon-

dos mérések azonban Prout feltevésének határozottan ellentmondottak. Prout elméletének megdőlése és az a körülmény, hogy hosszú időn át végzett sok kísérlet közben az atomokat megbontani nem sikerült, az atomok oszthatatlanságának hitét igen megerősítették. Az atomok oszthatatlanságáról formált képet először a radioaktivitás jelenségei mutatták hamisnak. Érdekes, hogy már a radioaktivitás fölfedezése előtt is ismertek voltak olyan tapasztalati tények, amelyek az atomoknak összetett volta mellett szólottak, de ezek, magukban, nem voltak elegendők, messzebb menő következtetésre. Az elemek periodusos rendszerének (l. 101. oldal, V. táblázat) egyes oszlopaiban az odatartozó, egymáshoz kémiaiilag hasonló elemek között gyakran változnak a fizikai tulajdonságok az atomsúly növekedésével oly módon, mint amiképen egyes organikus vegyületek tulajdonságai változnak, ha azok molekulái egymástól csak egyes atomcsoportjaik számában különböznek. Egy példa világosabbá teszi ezt az összefüggést. A metán-sorozatba tartozó szénhidrogének egymáshoz kémiaiilag hasonló vegyületek, amelyeknek molekulái abban a sorrendben, amelyben a táblázat tartalmazza őket, fokozatosan eggyel több — CH_2 — atomcsoportot tartalmaznak:

vegyületnév	molekulaképlet	forráspont
metán	CH_4	— 162° C
etán	C_2H_6	— 84° C
propán	C_3H_8	— 38° C
n-bután	C_4H_{10}	+ 1° C
n-pentán	C_5H_{12}	+ 38° C
n-hexán	C_6H_{14}	+ 69° C

Ebből a kis táblázatból kitűnik, hogy ezeknek a vegyületeknek a forráspontja annál magasabb, minél több — CH_2 — csoport alkotja egy-egy molekulájukat. Ugyanezt észlelhetjük a metilén-sorozatba tartozó, egymáshoz kémiaiilag hasonló organikus vegyületeknél is:

etilén	C_2H_4	— 103°C
propilén	C_3H_6	— 48°C
butilén	C_4H_8	— 5°C
amilén	C_5H_{10}	+ 39°C
hexilén	C_6H_{12}	+ 68°C

A periodusos rendszer hetedik oszlopába tartozó halogénelemek jellemző adatai pedig a következők:

elem neve	jele	atomsúly	olv. pont	forráspont
fluor	F	19.0	— 233°	— 187°
klór	Cl	35.46	— 102°	— 33.6°
bróm	Br	79.92	— 7.05°	58.7°
jód	J	126.92	+ 113.7°	183.05°

Azaz az atomsúly növekedésével fokozatosan nő az olvadás- és forráspont is. Az említett, ú. n. homolog organikus soroknál a fizikai állandók szabályos változását azzal lehet kapcsolatba hozni, hogy molekuláikban a — CH_2 — atomcsoportok száma változik. Önként adódik a halogénelemeknél az a gondolat, nem okozhatja-e a fizikai állandók szabályos változását az a körülmény, hogy növekvő atomsúllyal mindig több és több, eddig még ismeretlen atomrész alkot egy-egy halogénatomot. Ennek a gondolatnak csak alapot adtak a főlisorolt kísérleti tények, bizonyító erejük azonban nem volt. Így történt, hogy ezzel a kérdéssel a radio-

aktivitás fölfedezéséig alig foglalkoztak és csak Rutherford és Soddy elmélete tette ismét aktuálissá.

Rutherford elmélete értelmében a radioaktivitás *elemi* tulajdonság. A *radioaktív elemek* egy héliumatom vagy egy elektron lehasadása közben új *elemmé* alakulnak át. Ennélfogva a radioaktív elemeknek összetetteknek kell lenniök. Ezzel a felfogással Rutherford és Soddy elmélete sok új kérdést vetett fel és bizonyos ellentmondásnak vált a kiindulópontjává, amely ellentmondást máig sem sikerült megszüntetni.

Az elmélet radioaktív és nem radioaktív elemeket különböztet meg. Ezt azért kell tennie, mert a legszorgosabb kutatás is az elemeknek csak egy kisebb részéről tudta kimutatni, hogy sugárzótehetsége van, az elemek nagyobb részénél a ma rendelkezésre álló eszközökkel sugárzótehetséget kimutatni nem sikerült. Csak elméleti alapunk van arra, hogy az összes elemeket sugárzóképeseknek tartsuk, azaz arra, hogy valamennyit radioaktívnek tekintsük. A radioaktív elemek sugárzásának intenzitása ugyanis arányos a radioaktív elem bomlási sebességével. A rádium sugárzási intenzitása például kb. 2,700.000-szer akkora, mint az urániumé, mert a rádium bomlási sebessége is ennyiszer nagyobb a rádiuménál. A rádium $0.37 \cdot 10^{-8}$ mg-ja olyan hatást vált ki egy mérőkészülékben, mint 1 g U. Ez az 1 g U tehát olyan kis hatást vált ki, amely mérőkészülékeink érzékenységének határához közel jár, vagyis az urániumnál sokkal lassabban bomló radioaktív elemek sugárzását használatos készülékeinkkel már nem lehetséges megfelelően mérni. Így tehát feltehetjük azt, hogy olyan elemek is lehetnek radioaktívek, amelyeknél mi sugárzást nem tudunk megállapítani.

Egy másik körülmény is ennek a feltevésnek az elfogadására készített. Tapasztalati tény, hogy az egyes rádioaktív elemi testek sugarai különböző sebességűek. A lassúbb sugarakkal szemben azonban a készülékek kevésbé érzékenyek, mint a sebesebbekkel szemben. A tapasztalat kevés kivétellel (pl. AcX és RaAc) azt mutatja, hogy a lassabban bomló elemek egyúttal lassúbb sugarakat lövelnek is ki, így tehát ez a körülmény is megnehezítené az urániumnál lassabban bomló rádioaktív elemi testek sugárzásának megállapítását. Olyan jelenséget, amely ezt a feltevést igazolná, azaz az összes elemek rádioaktív voltát bizonyítaná, még nem észleltek.

A rádioaktivitással foglalkozók nagyrésze elfogadja ezt a feltevést, mert a mai ismereteink szerint igen valószínűnek tartják. A kisebb atomsúlyú elemeket a nagyobb atomsúlyúak bomlási termékeinek tekintik. Főként az angol kutatók jórésze azonban más feltevés-sel igyekszik egységes képet alkotni az összes elemek-ről. Szerintük *csak* a rádioaktív elemek bomlanak, tehát *csak* ezek alakulnak át kisebb atomsúlyú elemékké, míg az ólomnál kisebb atomsúlyú elemek éppen fordítva, alkotórészeikből épültek fel.

Látnivaló tehát, hogy a Rutherford—Soddy-féle elmélet a sorok között fölvetette azt a kérdést: rádioaktív-e minden elem? És ha nem az, elemnek tekint-hetők-e a «rádioaktív elem»-nek nevezett testek? Az első kérdésre feleletet adni nem tudott. A második kérdésre azonban idők folyamán igen szép feleletet adott.

A rádioaktív testek közül csak az urániumból, thoriumból és rádiumból állítható elő olyan mennyiség, amely elég arra, hogy a szokásos kémiai módszerek-kel azok elemi voltát megállapíthassuk. A többiből

gyors elbomlásuk miatt oly kis mennyiség áll rendelkezésünkre, hogy azokkal ilyen vizsgálatot nem lehet végezni. Így tehát elemi voltuk egyideig vitás maradt már csak azért is, mert a Mendelejeff-féle periodusos rendszerben számukra sokkal kevesebb betöltetlen hely volt található, mint ahány radioaktív elemet ismertünk. Már pedig azideig minden elem be volt illeszthető a rendszerbe.

Hogy ennek a nehézségnek megoldását figyelemmel kísérhessük, a Mendelejeff-féle periodusos rendszerrel kell előbb foglalkoznunk. Mendelejeff rendszerének megalkotásánál az elemeket atomsúlyuk alapján rendezte. Képzeliük el, hogy az összes elemeket egy hosszú papírszalagra írjuk fel fokozatosan növekedő atomsúlyaik sorrendjében. Azután tekintetbe véve a vaspalládium- és platinacsoport, valamint a ritka földfémek csoportja körül mutatkozó kivételességeket, minden nyolcadik elem jele után elvágjuk a szalagot és az így kapott szalagdarabokat egymás alá ragaszadjuk. Így egy olyan táblázathoz jutunk, amilyent a V. tábla mutat.* Ebben a táblázatban (egyes helyek üresen hagyásával) egymás alá kémiailag igen hasonló, ú. n. rokonelemek kerülnek. Általában a táblázat olyan elrendezésű, hogy az elemek benne atomsúlyaik szerint sorakoznak és kémiai tulajdonságaik szerint kerülnek egymás alá. A két szempont közül azonban az utóbbi a fontosabb. Ezért történik például egyes helyek üresen hagyása, ezért osztunk be a Ce helyére sok olyan elemet, amelyeknek atomsúlya a Ce és Ta atomsúlya

* Az V. táblázatban az elemeknek csak atomjegyei vannak feltüntetve, a VI. táblázatban az atomszám, atomjegy és atomsúlyon kívül, még az elemek neve is föl van tüntetve.

V. táblázat.

	0	VIII.		I.		II.		III.		IV.		V.		VI.		VII.	
				a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1. H 1·008	2. He 4·0			3. Li 6·94		4. Be 9·02		5. B 10·82		6. C 12·00		7. N 14·008		8. O 16·00		9. F 19·00	
	10. Ne 20·2			11. Na 23·00		12. Mg 24·32		13. Al 27·1		14. Si 28·06		15. P 31·04		16. S 32·07		17. Cl 35·46	
	18. A 39·88			19. K 39·10		20. Ca 40·07		21. Sc 45·10		22. Ti 48·1		23. V 51·0		24. Cr 52·0		25. Mn 54·93	
	26. Fe 55·84	27. Co 58·97	28. Ni 58·68	29. Cu 63·57		30. Zn 65·37		31. Ga 69·72		32. Ge 72·5		33. As 74·96		34. Se 79·2		35. Br 79·92	
	36. Kr 82·9			37. Rb 85·5		38. Sr 87·6		39. Y 88·7		40. Zr 90·6		41. Nb 93·5		42. Mo 96·0		43. —	
	44. Ru 101·7	45. Rh 102·9	46. Pd 106·7	47. Ag 107·88		48. Cd 112·4		49. In 114·8		50. Sn 118·7		51. Sb 121·8		52. Te 127·5		53. I 126·92	
	54. X 130·2			55. Cs 132·8		56. Ba 137·4		57. La 138·9	58. Ce 140·2	59. Pr 140·9	60. Nd 144·3	61. — 150·4	62. Sm 152·0	63. Eu			
	64. Gd 157·3	65. Tb 159·2	66. Ds 162·5	67. Ho 163·5	68. Er 167·7	69. Tm 169·4	70. Yb 173·5	71. Cp 175·0	72. Hf	73. Ta 181·5	74. W 184·0	75. —					
	76. Os 190·9	77. Ir 193·1	78. Pt 195·2	79. Au 197·2	80. Hg 200·6	81. Tl 204·4	82. Pb 207·2	83. Bi 209·0	84. Po	85. —							
	86. Em 222			87. —	88. Ra 226·0	89. Ac	90. Th 232·1	91. Pa	92. U 238·2								

VI. táblázat.

Atom- szám	Az elem jele	Az elem neve	Atom- súly	Atom- szám	Az elem jele	Az elem neve	Atom- súly
1	H	Hidrogén	1·008	25	Mn	Mángán	54·93
2	He	Hélium	4·00	26	Fe	Vas	55·85
3	Li	Lithium	6·94	27	Co	Kobalt	58·97
4	Be	Berillium	9·02	28	Ni	Nikkel	58·68
5	B	Bór	10·82	29	Cu	Réz	63·57
6	C	Szén	12·00	30	Zn	Cink	65·37
7	N	Nitrogén	14·008	31	Ga	Gállium	69·72
8	O	Oxigén	16·000	32	Ge	Germánium	72·5
9	F	Fluor	19·00	33	As	Árzen	74·96
10	Ne	Neon	20·2	34	Se	Szelen	79·2
11	Na	Nátrium	23·00	35	Br	Bróm	79·92
12	Mg	Magnézium	24·32	36	Kr	Kripton	82·9
13	Al	Aluminium	27·1	37	Rb	Rubidium	85·5
14	Si	Silícium	28·06	38	Sr	Stroncium	87·6
15	P	Foszfor	31·04	39	Y	Yttrium	88·7
16	S	Kén	32·07	40	Zr	Zirkónium	90·6
17	Cl	Klór	35·46	41	No	Nióbium	93·5
18	Ar	Árgon	39·88	42	Mo	Molibdén	96·0
19	K	Kálium	39·1	43	—	—	—
20	Ca	Kalcium	40·07	44	Ru	Ruthenium	101·7
21	Sc	Szkándium	45·10	45	Rh	Rhódium	102·9
22	Ti	Titán	48·1	46	Pd	Pálládium	106·7
23	V	Vánádium	51·0	47	Ag	Ezüst	107·88
24	Cr	Króm	52·0	48	Cd	Kádmium	112·4

A RÁDIOÁKTIVITÁS ÉS AZ ATOMELMÉLET 103

Atom- szám	Az elem jele	Az elem neve	Atom- súly	Atom- szám	Az elem jele	Az elem neve	Atom- súly
49	In	Indium	114·8	72	Hf	Háfnium	—
50	Sn	Ón	118·7	73	Ta	Tántál	181·5
51	Sb	Ántimon	121·8	74	W	Wolfrám	184·0
52	Te	Tellur	127·5	75	—	—	—
53	J	Jód	126·92	76	Os	Ozmium	190·9
54	X	Xenon	130·2	77	Ir	Iridium	193·1
55	Cs	Cézium	132·8	78	Pt	Platina	192·2
56	Ba	Bárium	137·4	79	An	Arany	197·2
57	La	Lánthán	138·9	80	Hg	Higan	200·6
58	Ce	Cerium	140·2	81	Tl	Thállium	204·4
59	Pr	Práseodim	140·9	82	Pb	Ólom	207·2
60	Nd	Neodim	144·3	83	Bi	Bizmut	209·0
61	—	—	—	84	Po	Polonium	—
62	Sm	Számárium	150·4	85	—	—	—
63	Eu	Europium	152·0	86	Em	Emanáció	222
64	Gd	Gádolinium	157·3	87	—	—	—
65	Tb	Terbium	159·2	88	Ra	Rádium	226·0
66	Dy	Disprosium	162·5	89	Ac	Áktimium	—
67	Ho	Holmium	163·5	90	Th	Thorium	232·1
68	Er	Erbium	167·7			Protoák- tinium	—
69	Tu	Thulium	160·4	91	Pa		
70	Yb	Ytterbium	173·5	92	U	Uránium	238·2
71	Cp	Kásziopium	175·0				

közé esik és ezért változtatjuk meg a rendszer két helyén az atomsúlyok növekvő sorrendjét is, fölcserélvén egymással a 39·1 atomsúlyú káliumot és 39·9 atomsúlyú árgont, valamint előbb írván a 127·5 atomsúlyú tellurt, mint a 126·9 atomsúlyú jódot. (Az 58·97 atomsúlyú kobaltnak a 58·68 atomsúlyú nickel elé való helyezése röntgenspektroszkópiai vizsgálatok alapján vált szükségessé.) Az elemeknek sok fizikai és kémiai tulajdonsága változik fokozatosan abban a sorrendben, ahogyan őket a rendszerben találjuk. A fajsúly például az egyes függőleges oszlopokban az atomsúllyal nő:

	fajsúly	atomsúly
Li	0·59	7·0
Na	0·98	23·0
Ka	0·87	39·1
Rb	1·52	85·5
Cs	1·88	133

Hasonlóképen változik az olvadás- vagy forráspont is; a fluor nehezebben, a chlor könnyebben cseppfolyósítható gáz; a brom folyadék, a jód szilárd test közönséges hőmérsékleten az atomsúlyaik sorrendjének megfelelően. A kémiai sajátságok közül a legfeltűnőbb és legjellemzőbb az oxigénnel szemben mutatott vegyérték változása. A 0-val jelölt oszlopba tartoznak a vegyértéknélküli nemes gázok, az I-től a VIII. oszlopig sorban az 1 vegyértékűtől a 8 vegyértéket mutató elemekig a többi elemek. Az a táblázat, amit 1869-ben Mendelejeff először összeállított, több tekintetben különbözött az itt közölttől. Abban az időben a szkándium, gállium és germánium még ismeretlen elemek voltak. Ezeknek helyét Mendelejeff a rendszerben üresen

hagyta, hogy a többi elemet a megfelelő helyre helyezhesse. Mendelejeff épen abból a körülményből, hogy a rendszer egyes helyei ismert elemekkel a rendszer megbomlása nélkül nem voltak betölthetők, arra következtetett, hogy kell lenniök olyan elemeknek, amelyek a szabadon hagyott helyekre illenek, csak azokat még nem fedezték fel. Az üres helyek helyzetéből előre «megjósolta», hogy körülbelül milyen atomsúlyúaknak és milyen kémiai tulajdonságúaknak kell lenni a hiányzó elemeknek. Azóta felfedezték már a három «megjósolt» elemet és a tulajdonságaik tényleg olyanoknak bizonyultak, mint ahogyan a Mendelejeff-rendszer alapján várni lehetett. A legnagyobb változást a Mendelejeff-táblázaton a nemesgázok felfedezése után kellett végezni, mert be kellett illeszteni a vegyértéknélküli nemesgázokat is az addig csak határozott vegyértékű elemeket tartalmazó rendszerbe. Ez egy 0 vegyértékű oszlop beiktatásával sikerült is. Sőt így bizonyos kapcsolatot jött létre a rendszer 8 vegyértékű és 1 vegyértékű oszlopa között.

A rádioaktív elemek felfedezéséig sikerült minden elemet a Mendelejeff-rendszer kereteibe illeszteni. A rádioaktív elemeknél a viszonyok azonban egyszerre megváltoztak. A túloldalon közölt VII. táblázat az urániumból és thoriumból keletkező elemeket foglalja össze. A Hönigschmidt-től eredő ezen táblázatban az α -sugárzással keletkezett elemek jegye az anyaelem jegye alá kerül, a β -sugárzással keletkezetteké pedig az anyaelem mellé. A táblázat szélén az egyes elemekhez tartozó atomsúlyok állanak. Amint a táblázatból első pillantásra látszik, aránylag sok elemet foglal magában. Összesen 40-et. Még pedig negyven olyan elemet, amelyek közül a

rádioaktivitás fölfedezése előtt csak az uránium és thorium volt ismeretes, a többit mind bele kellett még illeszteni a periodusos rendszerbe. Sőt nem is az egész rendszerbe, hanem annak csak a 206—238 atomsúlyig terjedő részébe, mert az összes ismert rádioaktív elemek atomsúlya ezen értékek közé esik. Viszont a Mendeleejff-rendszerben ezen határok között hét szabad hely volt csupán. A rádioaktív elemek rendszerbe illesztése tehát lehetetlennek látszott. Valamint nagy akadálnak mutatkozott az a körülmény is, hogy (amint a táblázat is mutatja) a rádioaktív elemek között több, egymástól egyébként különböző elemnek azonos az atomsúlya; ez a körülmény többek szemében egyenesen kétséssé tette azt, hogy valóban különálló elemek volnának a rádioaktív bomlási termékek.

Soddy zseniálisan elgondolt eltolódási szabályával megoldotta a mutatkozó nehézségeket, sőt újabb fölfedezésekre is alkalmat adott.

Soddy eltolódási szabálya olyan szorosan összefügg az atomok belső szerkezetének elméletével, hogy alapgondolatának megértéséhez szükséges főbb vonalaiban az atom szerkezetéről alkotott ma uralkodó nézeteket ismerni. Ezek a nézetek ugyancsak Rutherford és Soddy elméletéhez kapcsolódnak és abból fejlődtek. A rádioaktív jelenségek megmagyarázására I. I. Thomson már 1903-ban felvetette azt a gondolatot, hogy az atomok pozitív és negatív elektomos töltésű részekből vannak felépítve. E föltevésből kiindulva ő, és Lord Kelvin tisztán számításaik alapján egy olyan atommodellt konstruáltak, amellyel megmagyarázhatták a rádioaktivitás atomhoz kapcsolódó jelenségeit. Modelljük lényegében egy gömbalakú atommal számolt, amely-

ben a pozitív töltést teljesen egyenletesen eloszolva képzelték. Ezen belül azután egyenletes szögsebességgel a negatív töltést hordozó elektronok keringenének. Ezzel a modellel jól lehetett magyarázni az atombomlást és az atomok vegyértékűségét is, de kérdéses maradt, mi adja az atomnak a tömegét. Nagyaka volt az első, aki olyan képet alkotott az atom belső épületéről, amely a mai atommodellé kifejlődhetett. Ő vetette fel azt a gondolatot, hogy az atom tömege és pozitív töltése az atom középpontjában van és ekörül, mint a bolygók a nap körül, keringenének az elektronok: ezek szabnák meg egyúttal az atom térfogatát. Ezt a gondolatot fejlesztette tovább Rutherford. Ő, miután az α -részecskék két pozitív töltéssel bíró héliumatomok, az atommagot ilyenekből fölépültnek képzelte. Eszerint valamely atom magjában annyi héliumatom volna, amennyiből az atom tömege kiadódna. Miután minden, a magot alkotó héliumatomnak két pozitív töltése van, ezek összege adná a magtöltést és e mag körül annyi elektron keringene, amennyi a magtöltést éppen semlegessé tehetné. Rutherford később módosította ezt az atommodellt. Egyrészt azért, mert ha az atommag kizárólag héliumatomból épülne fel, igen kevés atomsúlyt volna lehetséges e föltevessel kiszámítani, másrészt azért, mert kiderült, hogy nemcsak az α -részecskék, hanem a β -részecskék kiindulási pontja is az atommagban keresendő. Az atommagot ezután úgy képzelte, hogy azt 1—1 pozitív töltést hordozó hidrogénatomok, 2—2 pozitív töltést hordozó héliumatomok és 1—1 negatív töltést hordozó elektronok alkotják. A mag elektromos töltését a magot alkotó hidrogén- és héliumatomokhoz kötött összes pozitív elektromosság

A RÁDIOÁKTIVITÁS ÉS AZ ATOMELMÉLET 109

és a mag elektronjaihoz kötött negatív elektromosság együttes hatása adja. A magnak mindig a pozitív töltése több, mint a negatív és így mindig mint pozitív töltést hordozó atommag észlelhető. Ekörül kering a magtöltéssel egyenlő számú elektron. Ezek az atomot kifelé semlegessé teszik. Ezzel az atommodellel kapcsolatban hamarosan fölmerült az a kérdés, hogy az atommag töltését mi határozza meg. Van der Broeck vetette fel először azt a gondolatot, hogy a megtöltés nagyságát az atomszám, vagyis az atomnak a Mendelejeff-rendszerben elfoglalt helye határozná meg. Amint az V. táblázatban az atomjegyek elé írt számok az atomszámot jelölik; e szerint pl. az 1 atomszámú H magtöltése 1 pozitív töltésegység volna, a He-é kettő, a Li-é három, az urániumé kilencvenkettő.

Ezek szerint például egy urániumatom szerkezetét a következőképen lehet elképzelni:

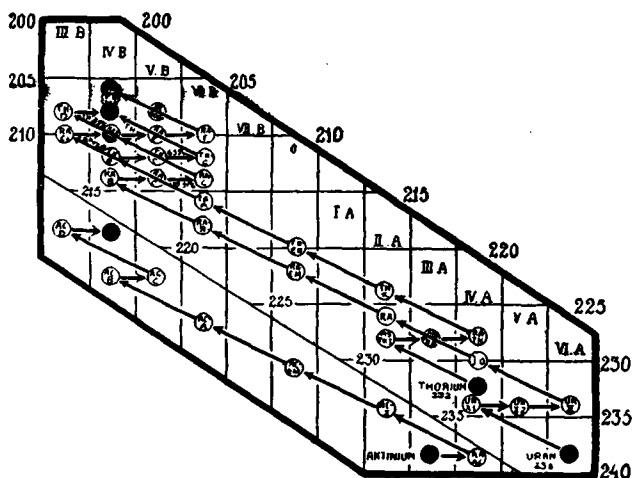
	súly	töltés	
59 héliumatom	$= 4 \times 59 = 236 \dots$	$+ 2 \times 59 = + 118$	
2 hidrogén «	$= 1 \times 2 = 2 \dots$	$+ 1 \times 2 = + 2$	
28 elektron	$= \dots$	$- 1 \times 28 = - 28$	
	atomsúly = 238	magtöltés = 92	

vagyis, ha feltesszük, hogy az urániumatom magjában 59 héliumatom van, akkor még 2 hidrogénatomot kell hozzá vennünk, hogy az uránium atomsúlya, 238, kiadódjék és miután ezekhez összesen 120 pozitív töltésegység tartozik, föl kell tételezni még a magban 28 elektront is, hogy a magtöltés az atomszámnak (92) megfelelő legyen. Az így elképzelt urániumatommag körül azután 92 elektronnak kell keringeni, hogy az

atom kifelé semleges legyen. Együttal ezek szabják meg az atom térfogatát.

Az atom belső szerkezetének az előzőekben vázolt képe adta Soddy eltolódási szabályának alap gondolatát. A Soddy-féle eltolódási szabály elméleti alapon egységesen rendezi az atombomlásnál föllépő jelenségeket. Lényege a VIII. táblázatból tűnik ki legegyszerűbben.

VIII. táblázat.



A táblázat a periodusos rendszernek a radioaktív elemek számára egyelőre számbajövő területét (amely az ólom és az uránium, illetve thorium közé esik) úgy tüntetik föl, hogy vízszintes irányban a rendszer függőleges oszlopainak szokásos számozása található rajta, a függőleges tengelye irányában pedig az atomsúlyok növe-

kedése. Áttekinthetőség kedvéért a vegyérték nélküli (0 vegyértékű) elemek oszlopa a táblázat közepére kerül. Ennek megfelelően az I. oszlop (az egyvegyértékű elemek oszlopa) a 0 oszloptól jobbra, a VII. oszlop pedig balra kerül.

A táblázat alapja az a gondolat, hogy úgy az α -, mint a β -részecskék az atommagból indulnak ki. Az egy α -részecske kilövelése által keletkezett új atom atomsúlya négy egységgel kisebb lesz, mint anyaelemé, azonkívül azonban magtöltése is megváltozik: kettővel kisebb lesz, mert az α -részecske két pozitív töltésegységet visz magával. Így tehát az új atom rendszáma (a periodusos rendszerben elfoglalt helyének sorszáma) kettővel kisebb lesz. Azaz az új atom egy olyan elemnek az atomja, amelynek a helye a periodusos rendszerben a kisebb magtöltések felé (az ábrán balra) két hellyel hátrább van. A β -részecske kilövelése által keletkezett új elem atomsúlya nem változik meg, de, minthogy a β -részecske egy elemi negatív töltésegységet elvisz a magból, a mindig pozitív töltésű mag magtöltése egy egységgel megnövekedvén, az új elem helye a periodusos rendszerben egy hellyel a nagyobb magtöltések, azaz nagyobb rendszámok felé tolódik el. A táblázatban jól látható módon egy α -részecske kilövelésénél keletkezett elem atomsúlya is meg van adva az elem helyének megjelölésével. Miután minden α -sugárzás által keletkezett elem atomsúlya néggyel kisebb, mint az anyaelemé, azért a táblázatban minden α -sugárzással keletkezett elem helye nemcsak balra tolódik el két hellyel a rendszerben (a kisebb magtöltések felé), hanem egyúttal négy egységgel eltolódik a kisebb atomsúlyok felé (fölfelé) is.

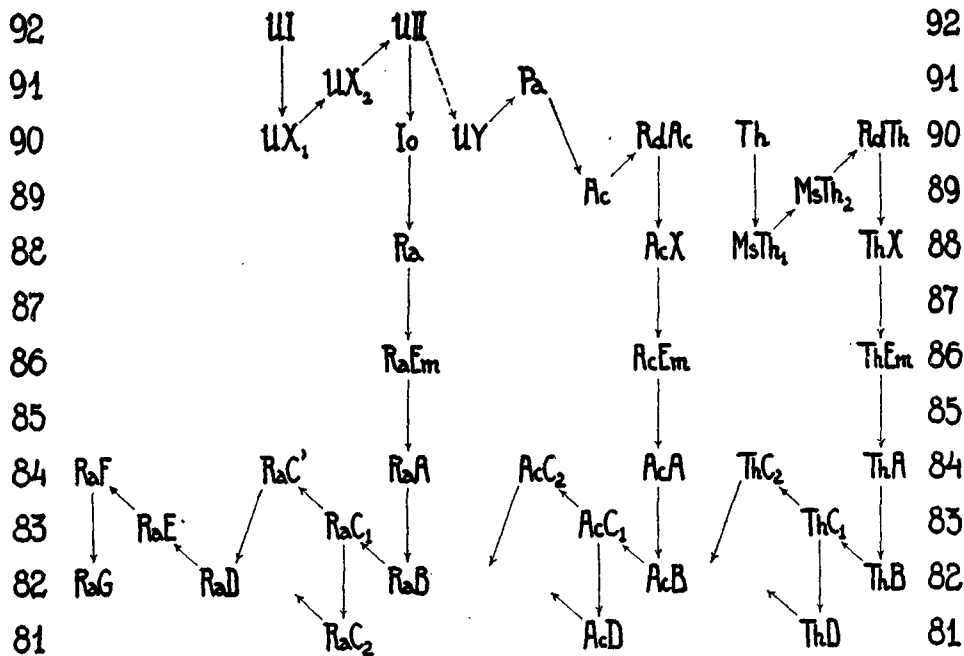
A β -sugárzással keletkezett elemek atomsúlya nem változván, ezek csak vízszintes irányban tolódnak el (a nagyobb magtöltések felé). Így például az UI atomsúlya kereken 238. Az UX_1 ebből egy α -részecske kilövelése által keletkezik. Az UX_1 atomsúlya eszerint 234 kell legyen, magtöltése pedig kettővel kisebb, mint az UI-é. Ha tehát az UI a periodusos rendszer VI. oszlopában található, akkor az UX_1 -nek a IV. oszlopban van a helye. Ennek megfelelően Soddy táblázatában az UX_1 tényleg két hellyel az UI mögött (balra) található, csak hogy magasabban, mint az UI, mert atomsúlya csak 234, azaz kisebb négy egységgel, mint az UI-é. Természetes, hogyha az uránium magtöltéséről tudjuk, hogy az 92, akkor az UX_1 magtöltésének 90-nek kell lenni. Az UX_1 -ből egy β -részecske kilövelése közben keletkezett UX_2 atomsúlya marad 234, ennek megfelelően a Soddy-táblázatban a helye ugyanabban a vízszintes sorban lesz, csak egy egységgel megnövekedett magtöltése következtében egy hellyel jobbra; rendszáma ezek szerint 91. A belőle β sugárzással keletkező UII hasonló megfontolás alapján még egy hellyel jobbra helyezendő el a 234-es atomsúlyok magasságában. Eszerint a rendszáma 92 és ennek teljesen megfelel az a különös körülmény, amit az ábra kifejez, hogy ez az uránium atomsúlyánál néggyel kisebb atomsúlyú anyag a periodusos rendszernek ugyanarra a helyére kerül, mint az UI. A táblázat alapját alkotó feltevés szerint tehát különböző atomsúlyú elemek (UI és UII) a Mendelejeff-rendszernek ugyanazon helyére kerülhetnek, ha atomszámuk (azaz magtöltésük) azonos, míg egyező atomsúlyú elemek (UX_1 — UX_2 —UII) a rendszer különböző helyeire kell kerüljenek, ha mag-

töltésük különböző. Világosabban láthatók ezek a viszonyok a 114. oldalon közölt IX. táblázatból, amelyben az egymásból keletkezett elemeket atomszámuk szerint csoportosítottuk oly módon, hogy az anyaelemükből α -részecske kilövelése közben keletkezett új elem két hellyel az anyaeleme alá, a β -részecske kilövelése közben keletkezett elem pedig egy hellyel az anyaeleme fölé kerül.

Soddy azokat az elemeket, amelyek eltolódási szabálya szerint a periodusos rendszernek azonos helyére kerültek izotopoknak vagy izotopelemeknek nevezte. Azokat az elemeket pedig, amelyeknek atomsúlya ugyan azonos, magtöltése azonban különböző, izobárelemeknek nevezzük. Az 106. oldalon közölt Hönigschmied-táblázat vízszintes soraiban izobárelemek foglalnak helyet. A 114. oldalon közölt táblázatban pedig egysorba az izotopelemek kerülnek. Használatos ezeken kívül még egy Fajanstól eredő összefoglaló elnevezés is, aki az egyenlő megtöltésű, azaz izotopelemek egy-egy csoportját az ikercsillagok összefoglaló neve alapján plejádának nevezte. Az egy plejádba tartozó izotopelemek kémiai viselkedése egymásközt teljesen egyező, ezeket egymástól kémiai módszerrel nem lehet elválasztani, keverékük minden kémiai hatással szemben úgy viselkedik, mint egy egységes kémiai elem. Megkülönböztetésük csak radioaktív viselkedésük alapján vagy különböző atomsúlyaikra alapított egészen különleges fizikai módszerekkel lehetséges.

Soddy ismertett eltolódási szabálya teljesen megoldotta a radioaktív elemek periodusos rendszerben való elhelyezésének kérdését. Amint a közölt táblázatból látható, valamennyi az uránium és ólom közé esik,

IX. táblázat.



még pedig kémiai jellemüknek tényleg megfelelő helyre. A rádium, amely ismert kémiai tulajdonságai alapján a bárium közeli rokona, tényleg a földfémek csoportjába kerül, a Ra-emanáció, tapasztalás szerint, kémiai vegyérték nélkül való test és valóban a nemes gázok 0-val jelölt oszlopába kerül. Amennyire a vizsgálódások az izotopok terére is kiterjedhettek, ott is megerősítették Soddy alapgondolatának helyességét. A tapasztalás valóban azt mutatja, hogy a táblázat szerint izotop ionium és thorium, valamint mezothorium és rádium vagy ólom és rádium D egymástól kémiai eszközökkel nem választható el.

Rövidesen a Soddy eltolódási szabályával kapcsolatban kialakult új fogalmak elterjedése után fölvetődött az a kérdés, hogy vajon izotop- és izobárelemek csak a radioaktív elemek között lehetségesek-e vagy pedig a közönséges elemek sorában is vannak. Erre a kérdésre rövid idő múlva egy, a radioaktivitástól egészen független, de Soddy elméletével szorosan kapcsolatos vizsgálódás adott feleletet.

Laue abból az elméletből, amely szerint a Röntgen-sugarak igen rövid hullámú, terjedési irányukra mérőleges éterrezgések, azaz lényegükben a fénysugarakkal rokonok és abból a különös körülményből, hogy velük még sem sikerült olyan interferenciajelenségeket* kapni, mint a fénysugarakkal, azt következtette, hogy az e célra közönségesen használt optikai rácsok nagyon durvák, továbbá, hogy a kristályokban szabályszerűen elhelyezkedő atomok egymástól való távol-

* Interferencia = az egymással találkozó hullámok egymásra való hatása.

ságának olyannak kell lennie, hogy azok a Röntgen-sugarakkal szemben optikai rácsként kell hogy szerepeljenek. 1912-ben Laue irányításával Friedrich W. és Knipping P. ezt a feltevést kísérletileg is igazolták.

Ezekből a kísérletekből Bragg W. H. és W. L. azt következtették, hogy megfelelő kísérleti berendezés mellett a Röntgen-fény visszaverődésének is észlelhetőnek kell lenni. Kísérleteik ezt a következtetést igazolták is és arra a föltűnő jelenségre tették figyelmessé a két Braggt, hogy a visszavert Röntgen-fény minősége attól teljesen független, hogy milyen kristálylapról verődik vissza, ellenben a leghatározottabban függ attól, hogy a Röntgen-fényt szolgáltató lámpa antikatódja (a katóddal ferdén szembehelyezett fémlap) milyen anyagból készült. A Braggok ezen eredményeit Mosley fejlesztette tovább. Ő a reflektált Röntgen-fényt fényérzékeny lemezre juttatta és így valósággal lefotografált egyes Röntgen-spektrumokat. Röntgen-spektrumoknak lehet ugyanis nevezni a fotografált képet, mert azon egyes hullámhosszaknak megfelelően igen éles határozott vonalak voltak láthatók, míg ezek között a lemez sokkal kevésbé volt megtámadva. A Röntgen-spektrum egyrészt egy az egész spektrumon végighuzódó halványabb képből áll (sávos színekép) ebben minden hullámhosszúságú Röntgen-fény jelentkezik és ezen egy vonalas színeképből, melyben csak egyes meghatározott hullámhosszaknak megfelelő helyen észlelhető egy-egy éles vonal. Ezen vonalas színekép függ az antikatód anyagi minőségétől. (L. 10. ábrát.) Még pedig azt találta Mosley, hogy a Röntgen-spektrumban föllépő vonalak több csoportra oszthatók; ezeket elnevezte K-, L-, M-csoportoknak.

Az egyes csoportokban még α , β , γ vonalakat különböztetnek meg. A K-vonalak a legkisebb atomsúlyú elemeknél is föllépnek, sőt itt L- és M-vonalak még nem is észlelhetők. A nagyobb atomsúlyú elemeknél fokozatosan megjelenik az L és a még nagyobb atomsúlyúaknál az M, sőt több vonalcsoport is. Az összes elemek Röntgen-spektruma igen hasonló egymáshoz. Ha például megfigyeljük a K-csoport vonalait, azt találjuk, hogy az összes Röntgen-spektrumban, amelyben K-vonalcsoport található e vonalcsoport egyes tagjai viszonyos helyzete csaknem változatlan, ezek összessége azonban, az atomsúly (pontosabban az atomszám) növekedésével a spektrumnak mindig nagyobb és nagyobb rezgésszámú helyén jelentkezik. Amikor Mosley azt vizsgálta, hogy az antikatódul használt anyag atomsúlya és vele a előállított Röntgen-spektrum egyes vonalainak rezgésszáma hogyan függ össze, azt tapasztalta, hogy igen egyszerű összefüggés található nem az atomsúly és hullámhossz, hanem az atomszám (megtöltés) és hullámhossz között. Ez az összefüggés oly határozottan jelentkezett, hogy Mosley ezen vizsgálatait óta a periodusos rendszer alapja tulajdonképpen nem az atomsúly, hanem a rendszám. Ezen az alapon került az újabb Mendeleeff-táblázatokban a nagyobb atomsúlyú Co elé a Ni és ez adott felvilágosítást arról,



10. ábra.

miért kellett már eddig is a Te-nál és J-nál, valamint K-nál és A-nál az atomsúlyok sorrendjét megbontani: azért, mert *az elemek természetes rendszerének alapja nem az atomsúly, hanem (az atom magtöltése) a rendszám.*

Mindaz, amit az atom szerkezetéről és az elemek természetes rendszeréről eddig röviden összefoglaltunk, nem szól az ellen, hogy a közönséges elemek között is lehessenek izotopok. Ennek a kérdésnek megvizsgálásához, mivel az izotopelemeknek, kémiai viselkedésükben egymással teljesen egyformáknak kell lennie, kémiai eszközök nem használhatók. Ehhez olyan fizikai módszerek kellenek, amelyek elég érzékenyek ahhoz, hogy az egyes atomok súlyában mutatkozó különbségeket is észlelhetővé tegyék. A legelső, aki ilyen érzékeny kísérleti módszert kidolgozott és azzal eredményt is ért el J. J. Thomson volt. Az ő készülékét tökéletesítette F. W. Aston. A vizsgálandó elemet erősen evakuált csőben elektromos kisülés hatásának vetik alá. Erre az illető elem atomjai pozitív töltést kapnak és nagy sebességgel a katód felé repülnek. Ezek az ún. csősugarak. Ha a katódon nyílás van, akkor ezen és alkalmas diafragmákon át belőlük egy vékony sugárnyaláb a katód mögé, a kísérleti térbe hatol. Itt alkalmasan megválasztott elektromos és mágneses hatások segítségével eltérítik őket eredeti útjukból és azután fényérzékeny lemezt érnek. Az egyenlő töltéssel bíró, de különböző tömegű, nagysebességgel repülő atomok különböző helyen érik a fényérzékeny lemezt, azaz különböző mértékben téríti el őket az elektromos és mágneses mező hatása. Az eltérés mértékéből megállapítható az egyes atomok valódi súlyának egymáshoz való viszonya. Thomsonnak neonnal végzett ilyen

kísérletei arra a föltűnést keltő eredményre vezettek, hogy a 20·20 atomsúlyú neongázban 20 és 22 atomsúlyú atomok találhatók bárhol is származzék is a neon és bármiképen legyen is megtisztítva.

Ezek az eredmények arra mutattak, hogy a nem rádioaktív neongáz ámbár kémiai elem, mégis két különböző atomsúlyú test elegye: a neoné és a meta-neoné, amelyek egymással izotopok, azaz egymástól kémiai úton el nem választhatók.

Ezen az úton továbbhaladva tökélesítette F. W. Aston Angliában és kevés eltéréssel Demster Amerikában Thomson készülékét és a túloldalon közölt X. táblázatban foglalt elemekről ezzel a módszerrel megállapították, hogy izotopok elegyei-e vagy sem.

Eljárásaik, mint Aston említi, annyira érzékenyek, hogy az atomsúlyokat 10/100 pontossággal tudják megállapítani a fényérzékeny lemezen előállított képből. Az így jelentékeny pontossággal mért atomsúlyok mind egész számok. Ezt a különös jelenséget Aston úgy magyarázza, hogy az összes elemek atomjai egy alapelemből épülnének fel és épen ezért minden atom súlya ezen «ősatom» súlyának egész számú sokszorosa volna. A föltevés az, hogy az összes atomok hidrogénatomokból épülnének föl és az atomsúlyuk csak azért térne el az egész számoktól, mert izotopokból állának. Minthogy pedig az izotopkeverékben az egyébként egész atomsúlyú atomok aránya a legkülönbözőbb lehet, előállhatnak az egész számoktól eltérő legkülönbözőbb atomsúlyok. Ez az elmélet végeredményben nem más, mint Prout elméletének jobban megalapozott formája. Az elmélet még sokkal újabb keletű, sem hogy minden irányban kielégítő választ adhatna. Csak

X. táblázat.

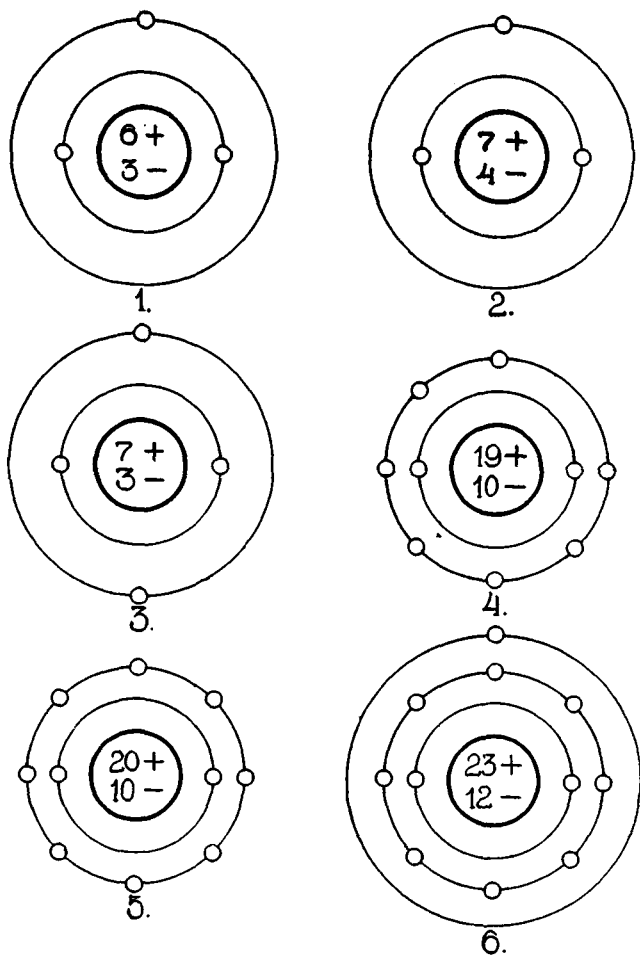
Rend- szám	Flem jele	Atom- súly	Az iso- topok száma	Az isotopok atomsúlya
1	H	1,008	1	1
2	He	4,00	1	4
3	Li	6,94	2	7; 6
4	Be	9,0	1	9
5	B	10,9	2	11; 10
6	C	12,00	1	12
7	N	14,008	1	14
8	O	16,000	1	16
9	F	19,00	1	19
10	Ne	20,20	2	20; 22
11	Na	23,00	1	23
12	Mg	24,32	3	24; 25; 26
13	Al	26,96	1	27
14	Si	28,3	2	28; 29; (30)
15	P	31,04	1	31
16	S	32,06	1	32
17	Cl	35,46	2	35; 37
18	A	39,88	2	40; 36
19	K	39,10	2	39; 41
20	Ca	40,07	2	40; 44
26	Fe	55,84	(2)	56; (54?)
28	Ni	58,68	2	58; 60
30	Zn	65,37	4	64; 66; 68; 70
33	As	74,96	1	75
34	Se	79,2	6	80; 78; 76; 82; 77; 74
35	Br	79,92	2	79; 81
36	Kr	82,92	6	84; 86; 82; 83; 80; 78
37	Rb	85,45	2	85; 87
50	Sn	118,7	7(8)	120; 118; 116; 124; 119; 117; [122; (121)]
51	Sb	121,77	2	121; 123
53	I	126,92	1	127
54	Xe	130,2	7	129; 132; 131; 134; 136; 128; [130]
55	Cs	132,81	1	133
80	Hg	200,6	(6)	(197 - 200); 202; 204

mellékhipotézisekkel tudja érthetővé tenni, hogy miért találják (a gondosan végzett közönséges atomsúlymeghatározások szerint) az egyébként izotopok keverékének mutatózó elemekben az izotopok arányát a földön mindenütt ugyanannak. Valamint azt, hogy az Aston vizsgálatai szerint egységes hidrogén- és héliumgáz atomsúlyainak arányszáma miért $4:1.008$ és miért nem egész szám, szintén csak Einstein relativitáselméletének segítségülhívásával tudja megmagyarázni. Eszerint a négy hidrogénmagból álló heliumatommagnak jelentékenyen kevesebb az energiatartalma, mint a hidrogénmag energiatartalmának négyszerese, aminek a relativitáselmélet szerint az a következménye, hogy a súlya is kevesebb, mint a hidrogénmag súlyának négyszerese. Ez a jelenség az úgynevezett «Packeffekt»; ennek minden atomsúly kialakulásánál szerepet tulajdonítanak.

Aston kísérletei szerint tehát az atomok súlya, eltekintve a «Packeffekt», a tömörülés következtében előállott kis súlyváltozástól, a hidrogénatom súlyának egész számú sokszorososa. Rutherford úgy képzei a hidrogénatomot, hogy az egy 1.008 tömegű, egy pozitív töltésegységgel bíró magból és egy ekörül keringő elektronból áll. Ezt a pozitív töltésű hidrogénmagot Aston *protonnak* nevezi és az összes atomokat ilyen protonokból és elektronokból fölépítetteknek képzei és így egyszerű magyarázatát adja annak, miért észlel ő kísérleteinél mindig egész számú atomsúlyokat. Ezen elképzelés szerint a 109. oldalon példaképen fölemlített urániumatom szerkezete úgy módosul, hogy az uránium magját 238 protonból és 146 elektronból fölépítetnek képzelhetjük, miután így kiadódik a 238

atomsúly és a mag 92 pozitív töltésegysége is egyezik az uránium rendszámával. Ekörül a mag körül kering 92 elektron és így az atom kifelé elektromosan semlegesnek mutatkozik. Az atomok ilyen képét Rutherford is elfogadja azzal a megszorítással, hogy ő a magban négy protonból és két elektronból álló kész héliummagokat tételez fel, mivel az összes α -sugárzó testeknél föllépő α -részecskék mindig pontosan a hélium atomsúlyának megfelelő tömegűek és mindig két pozitív töltésegységű a töltésük.

A 123. oldalon közölt ábrasorozatot amely Langmuir és Lewis atommodelljeit ábrázolja, F. W. Aston könyvéből vettük át, hogy ezeken Astonnak az atommag szerkezetéről, valamint az izotop- és izobárelemek lényegéről alkotott elképzelését megkönnyítsük. Az 1-gyel jelölt ábra a 6 atomsúlyú lithiumatom elképzelt szerkezete; ennek magja 6 protonból és 3 elektronból áll, tehát atomsúlya 6, magtöltése és rendszáma 3. A mag körül két külső körpályán három külső elektron helyezkedik el. A 2-vel jelzett kép olyan atomot ábrázol, amelynek magja 7 protonból és 4 elektronból áll; ezen atom atomsúlya 7, magtöltése és rendszáma azonban szintén 3, tehát ez is egy lithiumatomnak a képe, miután a lithium jellemzője nem az atomsúly, hanem a 3-as magtöltés. A 6 és 7 atomsúlyú két lithiumatom egymással izotop, ezek megfelelő arányú elegye adja a 6.94 atomsúlyúnak ismert lithiumelemet. A 3-mal jelzett kép egy hipotetikus 7 atomsúlyú berillium atomot ábrázol. Ennek éppen úgy 7 volna az atomsúlya, mint a lithium⁷-atomé, rendszáma azonban 4 lévén, nem lehet lithiumatom, hanem berilliumatom kell legyen, mert a periodusos rendszerben a beril-



11. ábra.

lיום rendszáma 4. A 7 atomsúlyú lithiumatom és a 7 atomsúlyú berilliumatom izobáratomok volnának.

A 4., 5. és 6. ábra, a fluor, a 20 atomsúlyú neon és a nátrium atomainak képét adja. Langmuir és Lewis atommodelljei statikus alapon épültek fel, azaz ők a mag körül elhelyezkedő elektronokat a maghoz képest el nem mozdulóknak tétélezték föl. Ezt a föltevést azonban a fizikusok nagyobb része nem fogadja el. Ezek a képek nem egyeznek mindenben az atomról alkotott mai fogalmakkal, nagyon alkalmasak azonban arra, hogy egyszerűen magyarázzák az izotop- és izobáratomok lényegét, a rendszám fontosságát, az egyes elemek vegyértékének eredetét és a periodusos rendszerben észlelhető szakaszosan visszatérő tulajdonságváltozásokat. A Langmuir—Lewis atommodellek szerint ugyanis a külső elektronok a mag körül különböző körök mentén, illetőleg gömbfelületeken helyezkednek el. Egy körön vagy gömbfelületen, egy meghatározott számnál több elektron nem helyezkedhetik el. A legbelső gömbfelületen maximálisan két elektron, a többiekben nyolc foglalhat helyet. Minél nagyobb valamely elem rendszáma, annál több elektron kering az atommagja körül, azaz annál több elektronnak kell gömbfelületeken elhelyezve lenni. Ha növekvő rendszámok szerint magunk elé képzeljük a különböző elemek atommodelljeit, akkor Langmuir—Lewis szerint csak akkor találunk valamely külsőbb gömbfelületen is elektront, ha a belsőbb gömbfelületek a maximális számú elektront már tartalmazzák. Vagyis mindig csak a legkülső gömbfelületen lehet a maximális számnál (kettőnél, illetőleg nyolcnál) kevesebb elektron. Ez a közölt képekből is kitűnik. A legkülső gömbfelületen elhelyez-

kedő elektronok a vegyértékelektronok. Ezek lehasadnak az atomról vagy fölvehetnek maguk közé még elektront (amíg a maximális szám be nem telik), azaz ezek végzik az atom kémiai funkcióit. Azokról a gömbfelületekről, amelyeken a maximális számú elektron található a semleges atomban, nem válhat le elektron, sem ide újabb nem kerülhet; azok az elemek tehát, amelyeknél csak teljesen elektronokkal betöltött gömbfelületeket találunk, nem mutathatnak kémiai funkciókat: ezek a vegyérték nélküli nemes gázok. Ha tehát a különböző elemek atommodelljeit növekvő rendszám szerint sorbarakjuk, akkor a sorban szabályos közökben találunk vegyértékelektron nélküli atomokat. Ezek zárják a periodusos rendszer egy-egy sorát, a közéjük eső növekvő számú vegyértékelektronokat tartalmazó atomok pedig, a periodusos rendszer egy-egy vízszintes sorába tartozó elemeknek atomjai.

Az atom szerkezetéről alkotott és az előzőekben röviden vázolt fölfogás mai ismereteinkkel több helyen nem egyeztethető össze. Kérdéses például, hogy a mindig túlnyomóan pozitív töltésű mag pozitív elektromos töltésű részeit mi tartja össze egységes maggá. Rutherford föltételezi, hogy az ilyen igen kis térfogatra koncentrált egynemű elektromossággal töltött részek, talán a nagyobb méretű testeken végzett észleléseinkkel ellentétben, nem taszítják, hanem vonzzák egymást. Ez természetesen csak kísérleti alap nélkül való hipotézis, miután ma még igen kevés az, amit az atommagról kísérleti eredmények alapján lehet következtetni.

Rutherford és Marsden voltak az elsők, akik olyan jelenségeket észleltek, amelyek az atommag szerkezetére esetleg világot vethetnek. Ők hidrogéngázon és

hidrogén tartalmú vegyületeken áthaladó α -sugarakat tanulmányoztak és eközben azt észlelték, hogy az α -sugarak ezekből a saját hatótávolságuknál sokkal nagyobb hatótávolságú úgynevezett «hidrogénsugarakat» váltanak ki. Ezt a jelenséget Rutherford és Marsden úgy magyarázták, hogy ha az α -részecske, amelynek 4 az atomsúlya, pályáján egy hidrogénmagba ütközik, akkor átadja ennek a négyszer kisebb tömegű hidrogénmagnak a mozgási energiáját; ennek következtében az nagyobb sebességgel fog tovább mozogni az ütközés után, mint a héliummag mozgott, tehát nagyobb hatótávolságú sugár alakjában fog jelentkezni, mint az α -részecske. Vizsgálódásaik más kémiai összetételű anyagokkal folytatva azt tapasztalták, hogy nitrogénen, alumíniumon stb. áthaladó α -sugarak szintén váltanak ki nagy hatótávolságú sugarakat, amelyeket ők szintén hidrogénsugaraknak tartanak. Rutherford abból a körülményből, hogy eddig a hidrogénen kívül csak olyan elemekből sikerült állítólagos hidrogénsugarakat kiváltani, amelyeknek atomsúlya nem négynek egész számú sokszorososa (tehát a $4n + 1$, $4n + 2$, $4n + 3$ képlettel kifejezhető atomsúlyú elemekből), míg ellenben szénből (atomsúlya 12·00), oxigénből (atomsúlya 16·00), kénből (atomsúlya 32·07), azaz olyan elemekből, amelyeknek atomsúlya a hélium atomsúlyának sokszorososa, ilyen sugarakat kiváltani nem sikerült, azt következteti, hogy az atom magjában már kész héliumatomok vannak.

Az atommag szerkezetére tehát a rádioaktív bomlás jelenségeken kívül csak az említett hidrogénsugarak föllépéséről van módunkban eddig következtetést vonni. A következtetések egyelőre általános jelentőségűek

nem lehetnek, mert a radioaktív jelenségek az elemeknek csak kis csoportjánál észlelhetők, a hidrogénsugarak pedig még nincsenek kellőképpen tanulmányozva. A közönséges kémiai és fizikai hatásokra nem reagáló atommag szerkezeténél részletesebb kép alakult ki az atommag körül elhelyezkedő elektronburokról, mint-hogy ez tekinthető Bohr alapvető munkássága szerint az atomon végbemenő kémiai és fizikai változások székhelyének és így kísérleti úton könnyebben tanulmányozható.

Az összes ismert optikai színekpek között a leg-egyszerűbb szerkezetű a hidrogén vonalas színekpe. Egyes vonalait előidéző fény rezgésszámát Balmer már régen ismert empirikus képletével igen pontosan ki lehet számítani. Eszerint

$$\nu = K \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right).$$

Itt ν a rezgésszámot* jelenti, K az úgynevezett Rydberg-féle állandó ($1.09737 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$), n_1 és n_2 két egész szám. Ennek az egyszerű formulának Bohr adta meg a magyarázatot. Bohr szerint az elemek optikai színekpét az atommag körül keringő legkülső elektronok viselkedése idézi elő. A hidrogén magja körül például egy elektron kering; ez egyúttal a legkülső elektron is, tehát ennek viselkedése szabja meg a hidrogén optikai színekpét. Az elektronok a mag körül nemcsak azokon a pályákon keringhetnek, amelyeken a közönséges körülmények között lévő atomban kerin-genek, hanem egyes meghatározott más pályákon is.

* Rezgésszám = a hullámhossz reciprokértéke.

Hő- vagy elektromosszakra hatására az atomok energiát képesek felvenni; ennek következtében az elektronok normális pályájuknál nagyobb átmérőjű pályára léphetnek át. Ezek a nagyobb átmérőjű pályák (valamint a normálisok is) nem lehetnek tetszőleges átmérőjűek, mert az atom sugárzóenergiát fölvenni csak egy bizonyos legkisebb energiakvantum egész számú sokszorosai arányában tud. Ez a legkisebb energiakvantum a különböző ν rezgés számú sugárzóenergiára vonatkozólag

$$\epsilon = h \cdot \nu,$$

ahol h a Planck-féle állandó: $6.55 \cdot 10^{-27}$ erg* sec. Ha az atom sugárzóenergiát vett fel, benne egy-egy elektron normális pályájáról valamely nagyobb energiatartalomnak megfelelő pályára kerül, ú. n. «erregt», feszült állapotba jut. Ebből az állapotából azonban az elektron visszatörekszik normális állapotába. A visszatérés ugrásszerűleg megy végbe és ekkor az elektron azt az energiát, amelyet az atom előzőleg elnyelt, egy egyszínű, homogén (monohromatikus) fénysugár kibocsátása közben leadja. Az így kibocsátott fény rezgésszáma attól függ, hogy az elektron milyen átmérőjű (helyesebben milyen energiatartalomnak megfelelő) pályáról milyen másik, kisebb energiatartalomnak megfelelő pályára ugrik át. Bohr ezen elképzelés alapján adott értelmet a Balmer-formulában szereplő n_1 és n_2 számoknak. Szerinte ez a két szám épen a feszült állapotban lévő elektron átugrásánál szereplő két elektronpályát jellemzi. Bohr atommodelljében az elektronpályákat épen

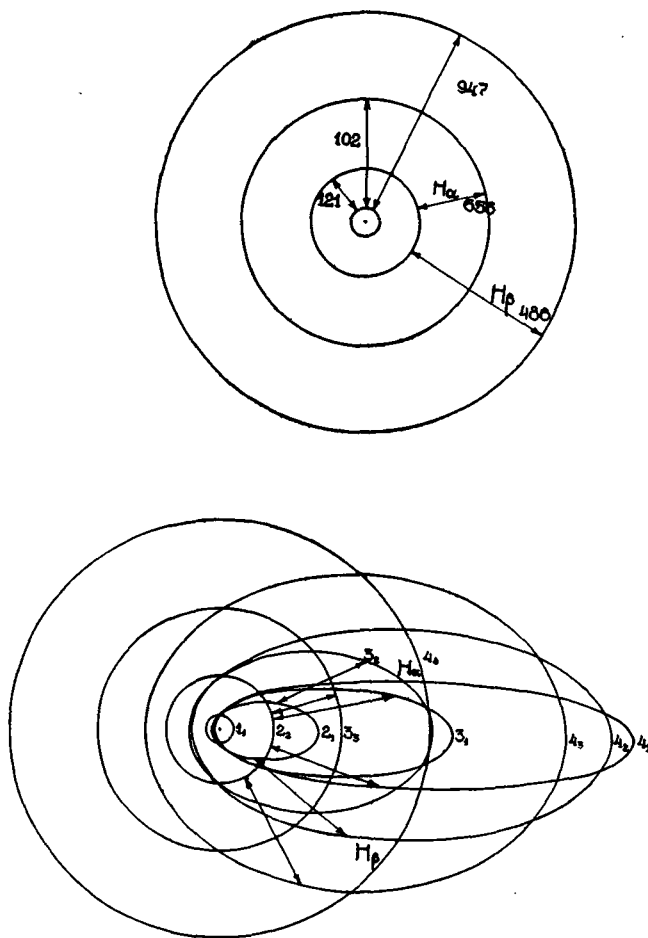
* Erg vagy ergon = a munka absolut egysége, azon munka, melyet egy din 1 cm úton végez; din = az erő egysége, az az állandó erő, mely 1 gramm tömegen 1 cm sebességet létesít.

ezekkel a számokkal jelöli meg. A 130. oldalon közölt ábra a hidrogénatommag körül lehetséges elektronpályák közül néhányat tüntet fel és jól szemlélteti az egyes spektrumvonalaknak megfelelő, homogén fénysugarak keletkezésének módját. A $121 \mu\mu^*$ hullámhosszúságú ultraibolyasugarat akkor bocsátja ki a hidrogénatom, ha egyetlen elektronja a 2-vel jelzett pályáról a legbelső, normális 1 pályára jut vissza. A $102 \mu\mu$ hullámhosszúságú ultraibolyasugarat pedig akkor, ha a 3. pályáról az 1-re ugrik. A $656 \mu\mu$ hullámhosszal bíró, a hidrogén α vonalának is nevezett vörös fénysugarat az elektron 3. pályáról a 2-re jutása közben sugározza ki stb. Bohr a spektrumok keletkezésének ezen magyarázatával egyúttal a Balmer-formulában szereplő Rydberg-állandónak is fizikai értelmezést tudott adni és beleillesztette azt a Plauck-féle fényelmélet keretébe. A Rydberg-állandó értéke kiszámítható a

$$K = \frac{2\pi^2 \cdot e^4 \cdot m}{h^3}$$

képlet segítségével, amelyben h a Planck-féle állandót, e az elektron töltését, m az elektron tömegét jelentik. Az így számított érték a tapasztalati értékkel jól egyezik. Bohr ezen első nagy sikerének nyomában következtetett elméletének Sommerfeldtől származó olyan kibővítése, amellyel a hidrogén újabban észlelt, úgynevezett finomvonalas szinképét is meg lehetett magyarázni, és a keletkező vonalak helyzetét ki lehetett számítani. Eszerint az elektronok az atommag körül nem-

* $\mu\mu$ = millimikron, 10^{-6} (milliomod) milliméter vagy 10^{-7} (tíz milliomod)centiméter.

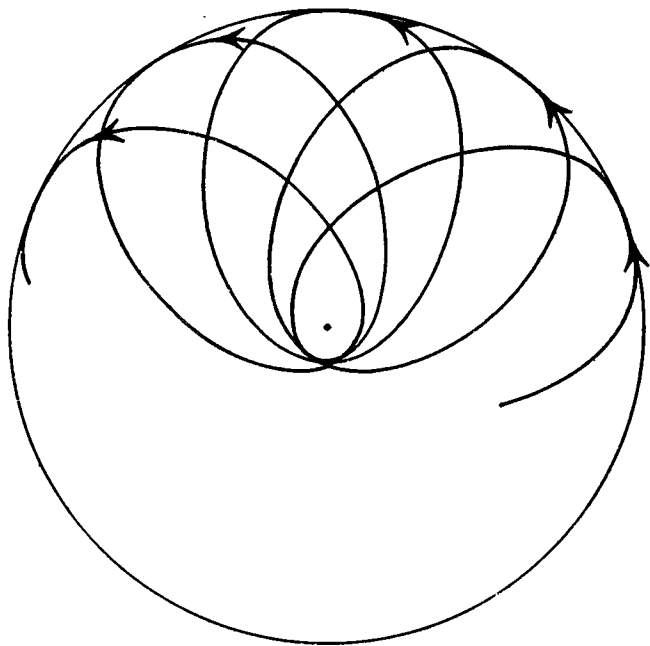


12. ábra.

csak körpályákon, hanem elliptikuspályákon is mozoghatnak. A körpályákat Bohr főpályáknak nevezi és a jelölésükre használt számot főkvantumszámnak, az elliptikus pályákat mellékpályáknak nevezi és hogy az egyes elliptikus pályák között különbséget tegyen, bevezeti a mellékkvantumszámokat. Amint az 130. oldalon közölt alsó ábrán kitűnik az 1 főpályához nem tartozik mellékpálya. A 2_1 -vel jelölt második főpályához egy mellékpálya tartozik (2_1); a 3_1 -mal jelölt főpályához két mellékpálya tartozik, a 3_2 -vel és 3_1 -gyel jelölt stb. Mindig egy köralakú főpályához annyi elliptikus mellékpálya tartozik, hogy a mellékpályák számát a főpálya a saját főkvantum számára kiegészíti. Az összetartozó, tehát ugyanazon főkvantum számmal bíró pályák nagytengelye közelítőleg egyenlő nagy és akkora, mint a főpályájuk körátmérője; az ugyanazon mellékkvantum számmal bíró pályáknak pedig paramétere, vagyis a gyújtóponton áthozott legkisebb húrja egyenlő. Az ábrán látható egyenes vonalak (nyilak) azokat az elektronhelyzetváltozásokat tüntetik fel, amelyek közben a finomvonalas színeképen észlelhető fénysugarak keletkeznek. Bohr az elliptikus mellékpályákat nem képzei a térben meghatározott helyzetben, hanem úgy tartja, hogy azok az atommag körül, mint gyújtópont körül a térben állandóan elmozdulnak, amint az a 13. ábrából látható.

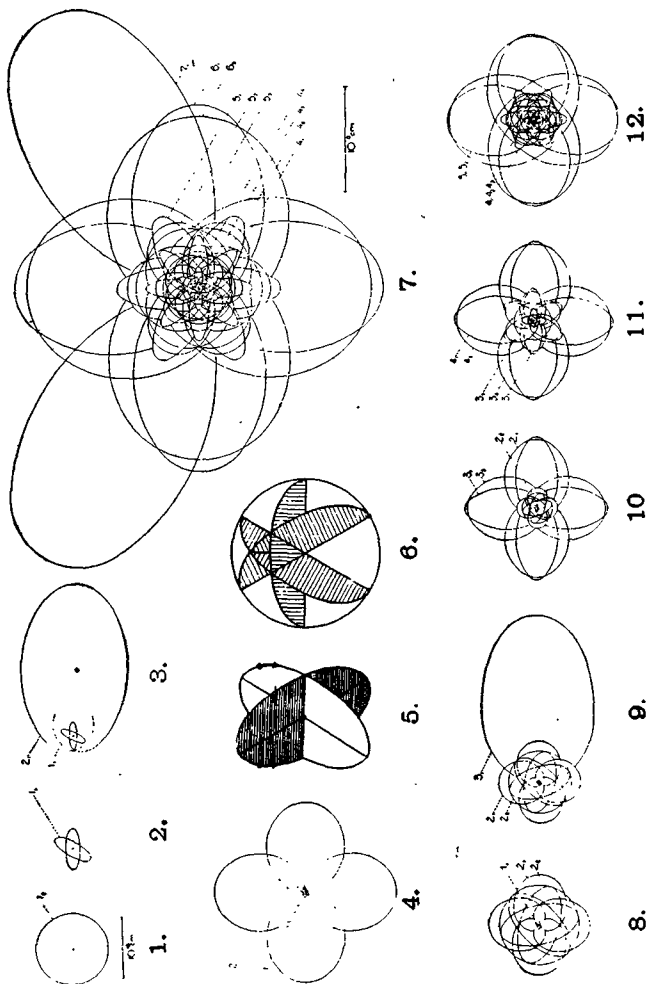
A normális körülmények között levő hidrogénatomban az elektron csak az 1_1 pályán mozog, a többire csak feszült állapotban ideiglenesen kerülhet. A nagyobb atomszámú, tehát több külső elektronnal bíró atomoknál, az atomszám növekedésének megfelelően, egymásután betöltve találjuk az egyes fő- és mellékpályákat. Sőt ugyanolyan méretű pályán több elektron is mozog-

hat egy atomban, ezt azonban nem úgy kell elképzel-
nünk, hogy azok ugyanegy pályán egymásután mozog-
nak, hanem úgy, hogy pályájuk mérete és alakja egyezik,
de a tér különböző részein helyezkedik el.



13. ábra.

Ezeknek a viszonyoknak a megvilágítására a 133. oldalon közölt, *Bohrtól eredő* ábrasorozat szolgál. Ezen az ábrákon egyes elemek atomjainak elektronokkal betöltött elektronpályái vannak feltüntetve úgy, ahogy



IX. táblázat.

	1_1	$2_1 2_2$	$3_1 3_2 3_3$	$4_1 4_2 4_3 4_4$	$5_1 5_2 5_3 5_4 5_5$	$6_1 6_2 6_3 6_4 6_5 6_6$	$7_1 7_2$
1 H	1						
2 He	2						
3 Li	2	1					
4 Be	2	2					
5 B	2	2 (1)					
10 Ne	2	4 4					
11 Na	2	4 4	1				
12 Mg	2	4 4	2				
13 Al	2	4 4	2 1				
18 A	2	4 4	4 4				
19 K	2	4 4	4 4	1			
20 Ca	2	4 4	4 4	2			
21 Sc	2	4 4	4 4 1	(2)			
22 Ti	2	4 4	4 4 2	(2)			
29 Cu	2	4 4	6 6 6	1			
30 Zn	2	4 4	6 6 6	1			
31 Ga	2	4 4	6 6 6	2 1			
36 Kr	2	4 4	6 6 6	4 4			

37 Rb	2	4 4	6 6 6	4 4	1		
38 Sr	2	4 4	6 6 6	4 4	2		
39 Y	2	4 4	6 6 6	4 4 1	(2)		
40 Zr	2	4 4	6 6 6	4 4 2	(2)		
— —	—	—	—	—	—		
47 Ag	2	4 4	6 6 6	6 6 6	1		
48 Cd	2	4 4	6 6 6	6 6 6	2		
49 In	2	4 4	6 6 6	6 6 6	2 1		
— —	—	—	—	—	—		
54 X	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4		
55 Cs	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4	1	
56 Ba	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4	2	
57 La	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4 1	(2)	
58 Ce	2	4 4	6 6 6	6 6 6 1	4 4 1	(2)	
59 Pr	2	4 4	6 6 6	6 6 6 2	4 4 1	(2)	
— —	—	—	—	—	—	—	
71 Cp	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	4 4 1	(2)	
72 —	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	4 4 2	(2)	
— —	—	—	—	—	—	—	
79 Au	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	1	
80 Hg	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	2	
81 Tl	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	2 1	
— —	—	—	—	—	—	—	
86 Em	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	
87 —	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	1
88 Ra	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	2
89 Ac	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4 1	(2)
90 Th	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4 2	(2)
— —	—	—	—	—	—	—	—
118?	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	8 8 8 8	6 6 6	4 4

az Bohr elméletének megfelel és ahogy azt egy síkban szemléltetni lehet. A 134. és 135. oldalakon közölt Bohr közleményéből átvett XI. táblázat azt tünteti fel, hogy az egyes elemek atomjaiban milyen pályán hány elektron kering.

Az ábrasorozat 1. rajza a hidrogénatom szerkezetét ábrázolja. A 2. rajz a héliumatom szerkezetének képe. Ennél, mint az rajzból is kitűnik, ugyanolyan pályán két elektron kering, de nem azonos pályán, hanem két, egymás síkját derékszög alatt metsző körpályán. Ez az 5. rajzból tűnik ki tisztábban. Ez az elhelyezkedés, Bohr szerint, az atomnak rendkívül nagy stabilitást ad és innen ered a héliumatom nemesgázjellege. A 3. kép a lithiumatom modellje. Itt megtaláljuk ugyanazt a két elektront, amit a héliumatomban is, azonkívül van még egy, a 2_1 pályán helyetfoglaló elektron is; ez adja meg a lithiumatomnak az egyvegyértékű alkálifém jellegét. A 4. kép a szénatom, a 8. kép a neonatom modellje. Amint látható, a neonnál a 2_1 és 2_2 pályán négy-négy elektron kering. A 2_2 körpályán itt amint a 6. rajz mutatja szerint a négy elektron nem azonos körpályán, hanem egy megfelelő gömbfelületen egyenletesen eloszolva mozog olyanképen, mint a héliumatomban a két elektron. A 9. rajz a nátriumatom modellje. Itt ismét föltűnik az a jellemző egyedülálló, nagy pályán keringő, külső elektron, amely a lithium modelljénél is jellemző volt és mutatja, hogy a nátrium is az egyvegyértékű alkálifémek közé tartozik. Szerkezete egyébként a neonéhoz teljesen hasonló. A 10., 11., 12. kép az argon-, krypton- és xenonatom modellje. Ezeknél a legkülső pályán mindig négy-négy elektron mozog és ez az elhelyezkedés adja, Bohr szerint, épen

a nemesgázok jellemző stabilitását és ez magyarázza kémiai affinitásuk hiányát. Ezeknek képe már rendkívül komplikált, úgy hogy ezeken csak a legkülső elektronok pályái vannak teljesen ábrázolva, a belsőbbekből már csak egy-egy pálya van az ábrán, míg a legbelső csak jelezve vannak. Még komplikáltabb a 7. kép, amely a 88 külső elektronnal bíró rádiumatom elektronpálya-viszonyait igyekszik szemléltetni. Ezen is szembeötlő a rádium kétvegyértékűségének megfelelő két külső elektron.

Az elemek optikai színeképe és Röntgen-színeképe, az optikai színeképek elektromos és mágneses térben való viselkedése (Starck-jelenség, Zeemann-jelenség), az elemek tulajdonságainak periodikus változása voltak azok a jelenségek, amelyek egységes megmagyarázására Bohr atomelméletét megalkotta és ezen az alapon szerkesztette meg az elemek természetes rendszerének azt a táblázatát (l. 138. oldalon), amellyel a Mendeleejff-rendszer még megmaradt rendellenességeit és a kis és nagy periodusok föllépésének kérdését megoldhatónak vélte. Ennek a csoportosításnak a legnagyobb sikerét abban látja Bohr, hogy segítségével az azelőtt ismeretlen 72. rendszámú elemről, amelyet eddig a ritkaföldek fémek közé tartozónak véltek, megállapíthatta, hogy az minden valószínűség szerint a zirkonhoz hasonló tulajdonságú test és ezt a következtetését Hevesy és Coster igazolták is. Hevesy és Coster zirkonásványokban a zirkon mellett jelentékeny mennyiségben megtalálták a 72. rendszámú elemet, amelyet Hafniumnak neveztek el.

Az eddigiek szerint az optikai színeképeket a legkülső elektronok viselkedése okozza. Bohr ezeket az

elektronokat világítóelektronoknak nevezi. Ugyanezek az elektronok okai egyúttal az atomok kémiai jellegének és kémiai viselkedésének is. Ha egy vagy több elektron lehasad az atomról, akkor az egy vagy több vegyértékű ionná válik. Az atomoknak molekulákká való csoportosulása oly módon történik, hogy a vegyértékelektronok a csoportosult atomok közös vonzókörébe kerülnek és részben az egész molekula körül keringenek. Bohr és munkatársai ezzel magyarázzák azt, hogy a molekuláknak sávos, míg az atomoknak vonalas színeképük van. A nagyobb atomszámú elemek színeképének komplikált voltát pedig azzal magyarázza, hogy ezekben komplikáltabb szerkezetüknél fogva a világító elektronok is komplikáltabb erőviszonyok hatása alatt állanak, mint az egyszerűbb szerkezetű atomokban.

Az a Röntgen-sugárzás, amely Röntgen-spektrummá bontható szét, a katódsugaraknak, vagyis nagysebességű elektronoknak bombázó hatására keletkezik az antikatód anyagában. A bombázóelektronok óriási sebességgel áthatolnak az antikatódot alkotó atomokon, eközben az atom *belső* elektronjaiból egyeseket kiemelve helyükből, magukkal ragadnak. Ezek a külső pályák elektronjaiból pótlódnak és eközben Röntgen-sugárzás lép fel. Az illető atom egyúttal ionizálódik is. Ez a magyarázata annak, hogy a Röntgen-színekép sokkal egyszerűbb, mint az optikai színekép, hiszen keletkezésénél csak az egyszerűbb elrendezésű *belső* elektronoknak van szerepük. A legkomplikáltabb szerkezetű atomok Röntgen-színeképeiben fellépő vonalak rezgésszámai is kiszámíthatók a Balmer-formulával, ha azon egy egészen egyszerű bővítést végzünk. A formulát csak

$$\nu = K \cdot N^2 \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

alakban kell írni. N itt az atom rendszámát jelenti.

Az alapjában egyszerű Röntgen-színképeknél is komplikáltabbak valamivel a nagyobb atomszámú elemek színképei, mint a kisebb atomszámúakéi. A K-val jelzett vonalakon kívül az atomszám növekedésével fokozatosan föllépnek az L, M, N, O jelzésű vonalak is. Bohr elmélete szerint a K-vonalak akkor keletkeznek, ha a katódsugár hatása az 1 főkvantumszámú pályáról emel ki egy elektront; a L-vonalak akkor keletkeznek, ha a 2 főkvantumszámú pályáról bombáz ki egy elektront az atomból a katódsugár. A 3. főkvantumszámú pályáról kiragadott elektron idézi elő a M-vonalakat a Röntgen-spektrumban stb.

Arra a kérdésre, hogy miképpen történhetik meg egyes elektronoknak és α -részecskéknek az atomokon való áthaladása, Rutherford számokkal ad feleletet. Ő az α -részecskéknek gázmolekulákon való áthaladásakor, de különösen a nitrogénatommal szemben tanúsított viselkedésükből azt következtette, hogy az elektron sugara 10^{-13} cm körüli érték lehet. A hidrogén magjának sugarát ennél még kisebbnek tartja, a nitrogén magjának átmérőjét pedig közelítőleg 10^{-12} cm-nek adja meg. A nitrogénatom átmérőjét ezzel szemben 10^{-8} cm-nek számítja. Bohr elmélete alapján a nagyobb atomszámú elemek atomátmérőjének ennél még jóval nagyobbaknak kell lenni. Azaz az atommag átmérője a kisebb térfogatú atomoknál 10.000-szer, a nagyobbaknál 100.000-szer kisebb, mint az egész atom átmérője, tehát az atommag és a körülötte keringő elektronok

között (az elektronok és atommagok méreteihez képest) nagy, szabad tér van és ez magyarázza meg, hogy az α -részecskék és az elektronok az atomon képesek áthaladni. Az atom, Bohr szerint, úgy képzelhető el, mint egy bolygórendszer, azzal a különbséggel, hogy benne a tömegek vonzása elenyészően kicsiny a működő elektromos erőkhöz képest. Ez okozza, hogy egy α -részecskének vagy elektronnak az atomon való áthaladása, abban az esetben, ha nem talál atommagot, csak csekély és csak ideiglenes változást idéz elő az atomban, mert egy olyan bolygórendszerben, amelyben a tömegvonzás az uralkodó erő, egy külső, idegen tömeg megjelenése sokkal nagyobb és maradó változást idézne elő.

Már említettük, hogy az izotopok kémiai tulajdonságai az előzőekben kifejtett atomelmélet szerint azért nem különböznek egymástól, mert az atommagnak csaknem egyáltalán nincs befolyása az atom kémiai viselkedésére; ezt főképp a külső elektronok szabják meg. Az izotopok tehát, noha atomsúlyuk különböző kémiaiilag még sem különbözhetnek egymástól.

Különbség az izotopoknál csak az atomok tömegében van s ezért csak tömegük különbözőségén alapuló módszerekkel különböztethetők meg és ismerhetők föl egymás mellett. Ezen alapszik Aston és Demster módszere és különbségeket kell észlelni a gáz- vagy gőzalakba hozott izotopok áramlási sebességében is. Bohr szerint, az izotopelemek színképének is egyezniük kell egymással, miután az atom szerkezetét főként az elektromos erők szabályozzák, a tömegek vonzása emellett elenyészően kicsiny; miután azonban, Bohr számítása szerint, a tömegvonzás még sem hanyagolható el tel-

jesen, igen finom műszerekkel az egyes vonalak némi eltolódását kell észlelni. Leírások szerint a rádióaktív ásványokból nyert ólommal való vizsgálatoknál ilyen kis eltolódást találtak is.



Föntiekben megismertettük, főbb vonásaiban, az elemekről és az atomok belső szerkezetéről felállított legújabb elméleteket. A kép, mely ezekből élénk tárul, tetszetős. Ez elmélet segítségével sok olyan fizikai és kémiai jelenségnek magyarázatát tudjuk adni, sőt képesek vagyunk, segélyükkel olyan jelenségek miként való befolyását matematikailag is levezetni, amelyeket azelőtt épen csak ismertünk, vagy részben nem is ismertünk, de az ismerteknek is, mint például az optikai színeképek miként való keletkezésének elfogadható magyarázatát adni nem tudtuk. Ez elméletek alapján, közös okra visszavezetve, egységesen tudunk magyarázni sok oly jelenséget, melyek azelőtt egymástól függetleneknek látszottak.

Ezelőtt 25—30 évvel még tudományos, de még inkább félig tudományos közleményekben, az alkimistákról szólva, dőreségnek bélyegezték azok törekvését, hogy a nem nemes fémeket arannyá akarták átválttatni, hivatkozván *modern* tudásunkra, mely szerint ez képtelenség és most — nem régiben — napilapjaink a tudomány legújabb vívmányaként hozták, hogy egy német vegyésznek sikerült a higanyt arannyá átalakítani.

Az említett újságközleményeknek alapja A. Miethe charlottenburgi műegyetemi tanárnak a «Die Naturwissenschaften» című német folyóirat 1924. évi július hó 18-án kelt számában megjelent közleménye. E köz-

lemény szerzője ultraibolya sugarakkal kísérletezve, azt tapasztalta, hogy az azok előállítására használt higany-ívlámpák, ha azokat túlterheli, gyorsan elfeketednek.

E jelenség okát keresve, régi lámpákból összegyűjtött, mintegy 5 kilogramm higany lepálása után nyert, körülbelül fél gramm maradékot megvizsgálva, abban *sok mindenféle szennyezés mellett* kevés aranyat is talált. E körülményre figyelmes lévén, újabb lámpákkal megismételte kísérleteit, több esetben, bár csak különösen érzékeny módszerekkel aranyat tudott kimutatni a higanyban, melyben a kísérlet előtt arany kimutatható nem volt.

Miethe, saját maga által is előlegesnek jelzett közleménye nem eléggé alapos, hogy az aranynak higanyból való képződését bebizonyítottnak lássuk, de egyébként is ez most még sokkal inkább részletkérdés, sem hogy ez bennünket, az elmondottakkal kapcsolatban foglalkoztasson, csak azért említettük fel ezt, mivel Miethe közleményének alábbi, szószerint fordított kitételére kívánunk néhány megjegyzést tenni:

«E tapasztalat — írja Miethe — ezelőtt 10 évvel alig keltett volna feltűnést. Akkor még az elemek átalakulásának lehetősége az emberi tévedések lomtárába került volna. Ma azonban már nem szabad a tapasztalatokat figyelmen kívül hagynunk. Ma már az az alábbi egyenletek egyikével magyarázathatjuk azt:

Hg (atomsúlya 201) — He (atomsúlya 4) = Au (atomsúlya 197)
Hg (atomsúlya 201) — 4 H (atomsúlya 1) = Au (atomsúlya 197).»

Legelőször is, nem állja meg a helyét az állítás, hogy hasonló tapasztalat ezelőtt 10 évvel, nem részesült volna kellő figyelemben, mert bármely komoly

kutató, ha valami váratlant tapasztal, akár van valamilyen elmélet, amellyel azt magyarázni tudja, akár nincsen, kutatni fogja annak okát. Téves az az állítás is, hogy az elemek átalakulását ezelőtt 10 évvel még lehetetlennek tartottuk, mert Rutherford és Soddy elmélete, mely a radioaktív jelenségeket atombomlással magyarázza, jóval előbb 1902-ben született. De téves az az állítás akkor is, ha a 10 évet elírásnak vesszük s helyette 20—25 évet értünk, mert mint már említettük, már a radioaktivitás fölfedezése előtt is voltak olyan tapasztalataink, amelyek azt mutatták, hogy az atomok még összetett testek lehetnek és hogy e régi tapasztalatainkat nemcsak most, az új elméletek születésekor kapartuk elő a feledés homályából, hogy az elemek elbonthatatlanságáról való hit nem volt olyan általános, mint azt Miethe állítja, bizonyítja egy magyar tudós, Lengyel Bélának, 1889-ben megjelent tankönyvéből vett alábbi idézet. «Az ezidőszerint ismert elemek, vagy egyszerű testek száma felül van hatva non. Pontosán azért nem adjuk számukat, mert az ujonnan fölfedezettek között vannak olyanok, melyekről minden kétséget kizárólag még nem tudjuk, hogy valóban elemek-e. Egyébiránt általánosabb szempontból vévén a dolgot, meglehetősen közönyös is, hogy 70 vagy 80 elem ismeretes ezidőszerint; közönyös pedig azért, mert nincs ok feltenni, hogy a természetben előforduló testek képzésére épen 70 vagy 80 elem lenne szükséges; sőt ellenkezőleg föltehetjük több jogosultsággal, hogy a valódi elemek száma jelentékenyen kisebb s hogy nincsen kizárva az, hogy a jelenleg elemeknek tartott testeket idővel lehetséges lesz mint összetetteket felismerni.»

Mint a fönti idézet igazolja, az atomok oszthatatlanságába vetett hit, nem volt olyan általános, miként azt az újabb elméletek leírásával kapcsolatosan sokan említik. Tény az, miként most is vannak, ezelőtt is voltak olyanok, akik egy-egy elméletbe annyira beleélték magukat, hogy azt megdönthetlen valóságnak veszik. Priestleyről, az oxigén egyik fölfedezőjéről írják, hogy annyira híve volt a flogiszton-elméletnek, hogy azt Lavoisier ellenkező felfogásával szemben, melynek alapját jórészen az ő fölfedezése adta, körömszakadtáig védte s az elmélet megdőlésekor inkább megvált tanszékétől, de az újabb felfogást magáévá tenni nem tudta. Az elmélet pedig nem egyéb, mint egy magyarázat, mint Bohr maga is mondja saját elméletéről, egy az emberi elgondolás megkönnyítésére szolgáló, analógiák alapján megszerkesztett kép. Az elmélet, természeténél fogva, nem azt mondja, hogy amit tanít az úgy van, csak azt, hogy azt úgy magyarázhatjuk.

A természeti jelenségek megérthetésére szükségünk van, több jelenséget közös szempontból magyarázó elméletre. Egy elmélet akkor is jó szolgálatokat tesz nekünk s maradandó fölfedezésekre vezethet, ha azt egy vele homlokegyenest ellenkező felfogás váltja fel. Kémiai felfogásunk mostani alapja teljesen ellenkezője annak, amit a flogiszton-elmélet tanított s a flogiszton-elmélet mégis 150 évig tartotta magát, ez elmélet számos fölfedezésnek volt szülő oka s ha ez elmélet nem lett volna, bizonyára kémiai tudásunk ma nem állna mai fokán.

Annak idején, amikor internacionális kongresszuson a ma is használatos elektromos mértékegységeket

megállapították, az elektromos jelenségeket a fluid-elmélettel magyarázták. A fluid-elmélet lényegileg a vezetékekben áramló víz analógiáján épült fel. Az elektromos feszültség a nyomással, a kapacitás a tartályban lévő víz mennyiségével, az elektromos ellentállás a vízvezeteki csövek ellentállásával azonos fogalmak s ez alapján készültek a ma is használatos elektromos mérőműszerek. Azóta a fluid-elméletet az elektron-elmélet váltotta fel. Akkor azt mondták, hogy a pozitív elektromosság hiánya a negatív elektromosság. Akkor azt mondták, az elektromosság a pozitív polus felől vándorol a negatív polus felé s ma csak negatív töltésű elektronokról tudunk, az áramlást az elektronok eltolódásával magyarázzuk s annak ellenére, hogy a fluid-elmélet megdőlt, hogy felfogásunk úgyszólván az ellenkezőjére változott, ma is azokkal a műszerekkel dolgozunk laboratóriumainkban és mérjük az elektromos áramot lakásunkban, amelyeket a fluid-elmélet alapján szerkesztettek.

Nem szabad elfelednünk, hogy a természettudós nem törvényeket szab a természetnek, csak a természet titkait kutatja. Az emberi tudás véges, a természet megalkotása azonban végtelenül tökéletes. Az ember csak emberileg tud gondolkozni. Az ember a rejtettebb, a szövevényesebb természeti jelenségeket csak úgy tudja megérteni, ha azokat kevésbé rejtett, az ő gondolatvilágához közelebb fekvő jelenségekkel hasonlítja össze. Egy-egy elmélet, bármily tökéletesnek látszik az, különösen akkor, ha csak felületesen ismerkedünk meg azzal, mindig hiányos. Minden újabb elmélet, ismereteinknek minden lépésnyi újabb fejlődése a kérdéseknek, az újabb problémáknak egész seregét ve-

tik fel. Rutherford és Soddy, Aston, Bohr és munkatársaiknak fáradozása nagy lépésben vitték előre tudásunkat s mégis Bohr maga mondja egy előadásában, hogy fölösleges hangoztatnia, hogy elmélete milyen kezdő stádiumban van még, hogy mekkora azon kérdéseknek száma, melyek még feleletre várnak. Más szóval Bohr is a rég ismert igazságot hangoztatja, hogy minél többet tudunk, annál jobban látjuk, mennyivel több az, amit még nem tudunk. Minél jobban belemerülünk a természet titkainak kutatásába, annál jobban látjuk, milyen végtelen tökéletességgel van a nagy természet még a legapróbb részleteiben is megalkotva és tanulmányai közben a természettudós sem juthat más következtetésre, mint a költő, amikor azt mondja: Isten, kit a bölcs lánge sze föl nem ér.

SZENT ISTVÁN KÖNYVEK

Katolikus kultúrát fejleszteni, *katholikus tudományt* terjeszteni és népszerűsíteni, ez a hivatása a *Szent-István-Társulatnak*, ez a hivatása a kiadásában megjelenő **Szent István könyveknek**.

A **Szent István könyvek** sorozata az emberi tudás minden ágát fel akarja karolni. A **Szent István könyvek** a tudomány mai színvonalán mozognak. Oly stílusban óhajtuk a könyveket megjelentetni, amely alkalmassá teszi őket arra, hogy minden művelt egyén érdeklődéssel olvashassa. Viszont súlyt helyezünk arra, hogy a **Szent István könyvek** mindegyike a katolikus világnézetnek legyen beszédes hirdetője.

Ily módon — reméljük — elérjük azt a célt is, mely e könyvek kiadásánál szemünk előtt lebegett: az olvasni vágyó katolikus közönségnek oly műveket nyújtani, amelyek kielégítik igényeiket anélkül, hogy veszélyeztetnék hitüket, sőt amelyek alkalmasak arra, hogy a tudás és műveltség eszközeivel is megerősítsék őket vallásos meggyőződésükben és világnézetükben.

Természetesen e programmi megvalósítása nagyban függ attól, hogy a kath. közönség felkarolja-e, támogatja-e nagylelkűen e vállalatot. A Szent-István-Társulat igen nagy anyagi áldozatokkal indítja útjára a **Szent István könyvek** sorozatát, a nagy közönségtől függ, hogy a könyvek eljussanak oda, ahova szánva vannak.

A SZENT ISTVÁN KÖNYVEK sorozatából megjelentek:

1. *Zubriczky Aladár dr.*: Jézus élete és a vallástörténet. (Elfogyott.)
2. *Wolkenberg Alajos dr.*: A teozófia és antropozófia ismertetése és bírálata.
- 3—4. *Wolkenberg Alajos dr.*: Az okkultizmus és spirítizmus multja és jelene. (Elfogyott.)
- 5—6. *Balanyi György dr.*: A szerzetesség története.
- 7—8. *Alszegehy Zsolt dr.*: A XIX. század magyar irodalma.
9. *Miskolczy István dr.*: Magyarország az Anjouk korában.
10. *Palau-Timkó Jordán*: Krisztus útján. A katolikus tevékenység főelvei.
11. *Quadrupani-Babura László dr.*: Útmutatás jámbor lelkek számára.
12. *Prohászka Ottokár*: Elbeszélések és utirajzok. (Elfogyott.)
13. *Triklál József dr.*: Természetbölcsélet.
14. *Bognár Cecil dr.*: Értékelmélet.
15. *Prohászka Ottokár*: A bűnbocsánat szentsége.
16. *Babura László dr.*: Szent Ágoston élete.
17. *Lepold Antal dr.*: Szalézi szent Ferenc válogatott levelei.
18. *Áldásy Antal dr.*: A kereszteshadjáratok története.
19. *Marosi Arnold dr.*: Átörökítés és nemzetvédelem.
20. *Zoltvány Irén dr.*: Erotika és irodalom.
21. *Horváth Sándor dr.*: Aquinói szent Tamás világnézete.
22. *Balogh Albin dr.*: Művelődés Magyarország földjén a magyar honfoglalás előtt.
23. *Marczell Mihály dr.*: A katolikus nevelés szelleme.
- 24—25. *Motz Atanáz dr.*: A német irodalom története.
26. *Babura László dr.*: Szent Ambrus élete.
27. *Márki Sándor dr.*: II. Rákóczi Ferenc élete.
28. *Kiss Albin dr.*: A magyar társadalomtan története.
29. *Szabó Zoltán dr.*: A növények életmódja.
30. *Weszelszky Gyula dr.*: A rádium és az atomelmélet.
31. *Balanyi György*: Assisi szent Ferenc élete.