

Előállítás. A rádium, mint említettük, az uránium előállításának mellékterméke, illetve a rádium és egyéb rádióaktív anyagok nagy keresettsége miatt, most már ezek előállítása a főcél és mostanában olyan urániumérczeket és urániumtartalmú ásványokat is földolgoznak, amilyeneket, az uránium előállítására azelőtt nem használtak.

Az uránium vegyületeinek előállítása, mint azt az urániumról szóló fejezetben említettük, a nyersanyag természete szerint, lényegében háromféle eljárással történik. Az egyik eljárás szerint, a nyers anyagot salétromsavban oldják, a második szerint, azt előzetesen káliumhidroszulfáttal olvasztják össze, majd az oldadékot híg kénsavval oldják és végül a harmadik, legegyszerűbb eljárás szerint, az urániumtartalmú ásványt híg sósavban oldják fel. Az elsőnek említett eljárást, leginkább az urániumszurokércz földolgozásánál használják. Miután az urániumszurokércz egyes alkotórészei szulfidok, ezeket a salétromsav részben szulfátokká oxidálja és mivel a rádium szulfátja vízben és savakban oldhatatlan, a rádium, a szurokércznek salétromsavban nem oldódó részletében marad vissza. A joachims-thali szurokércztelepeken ezt az eljárást használják s addig, míg a rádium ismeretlen volt, a salétromsavban oldatlanul^a maradt részt, a bányák környékén, dombokba halmozták össze. A most forgalomban levő rádiumnak jórészt ebből, az ezelőtt félrehányt anyagból állították elő.

A második eljárás szerint a rádium szintén oldatlanul marad vissza.

A harmadik eljárás szerint a rádium, illetve annak egy része, a sósavas oldatba megy át, de amikor azt az uránium megtisztítása céljából, nátriumkarbonát oldatának fölöslegébe öntik, az, az ilyenkor keletkező karbonátos csapadékba jut.

A rádiumnak az urániumtól való elválasztása tehát, már az uránium vegyületei előállításának, illetve tisztításának első szakaszában megtörténik. A rádiumot az uránium vegyületeinek előállításánál keletkezett, oldatlan maradékból állítják elő. E maradék földolgozása ismét, két szakaszra osztható. Az első szakasz, a meglehetősen nagymennyiségű maradékna^k durva megtisztítása, a második hosszadalmasabb szakasz, a rádiumnak, a megtisztított és kloriddá alakított, báriumtól való elválasztása.

A maradék feldolgozásának első szakasza ismét különböző lehet, aszerint, amint a kiindulás a szulfátos vagy karbonátos maradékból történik, de különböző lehet aszerint, amint az tisztább vagy kevésbé tiszta, továbbá különbözhetik, a szulfátok kloridokká való átalakításának módjában is.

E részletkérdéseket mellőzve azt hisszük, hogy a rádium vegyületei előállításának módjáról úgy adunk legtisztább képet, ha egyszerűen azt az eljárást ismertetjük, amelyet e célra Curiené és Debierne dolgoztak ki és amelyet az urániummaradék feldolgozására, a joachims-thali telepeken némi módosítással ma is használnak.

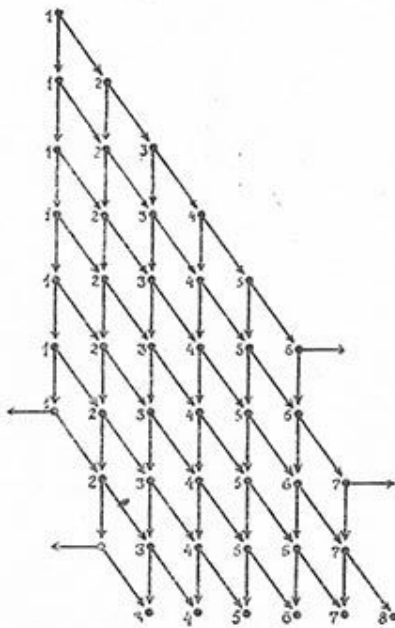
Curiené és Debierne eljárása szerint, a nyers urániumérczmaradékot, amely főtömegében kalcium és ólomszulfátból, kovasavból, aluminiumból és vasoxidból áll, amelyek mellett a szurokércz többi alkotórészei, mint a réz, bizmut, cink, kobalt, mangán, nikkel, vanádium, antimonium, thallium, ritka fõldek, niob, tantal, arzén, bárium stb. is található, legelõször, hosszabb ideig tömény szóda-oldattal főzik, majd a maradékot szûrõn gyűjtik s azt, elõször nátriumkárbonát oldatával, késõbb vízzel jól kimossák. E mûvelettel, az ólom és a kalciumszulfát kárbonáttá alakul át, a kovasav és aluminiiumoxid jórésze, továbbá az ólom egy része feloldódik. A nátriumkárbonát mennyiségét úgy választják meg, hogy a nehezebben átalakítható bárium és ezzel együtt a rádiumszulfát még változatlanul maradjanak. A kimosott csapadékot híg sósavval öntik le, amelyben az átalakult kárbonátok feloldódnak, míg a változatlanul maradt szulfátok és fõl nem tárt egyéb anyagok visszamaradnak. E nagyjából megtisztított maradékkal megismétlik az elõbbi eljárást, de most már fõlõsleges mennyiségû szodát használnak, úgy hogy a maradék teljesen kárbonáttá, illetve a sósavval való leöntés után kloriddá alakul. Ha ezt egyszerre nem érik el, úgy a mûveletet mindannyiszor megismétlik, míg a maradék egész tömege sósavban feloldódik. A nyert sósavas oldathoz most fõlõsleges mennyiségû kénsavat adnak, amikor a rádium és bárium, továbbá a még jelenlevõ ólom szulfátja, kevés hozzátapadt vas és egyéb szennyezésekkel, újból leválik.

Ily módon egy tonna urániumszurokérczbõl mintegy 10—20 kilogramnyi, úgynevezett nyers szulfátot kapnak, amelynek aktivitása körülbelül 30—60-szor akkora, mint a fémurániumé. Ezt újból szóda-oldattal főzik, az átalakult kárbonátokat sósavban oldják s ez oldatot kénhidrogénnel telítik. A kénhidrogénnel nyert csapadékról leszûrt oldatban a kénhidrogént klórgázzal elbontják, majd az oldathoz ammóniát adnak s újból megszûrik. Az ekként megtisztított oldatból a rádiumtartalmú báriumot, nátriumkárbonáttal kicsapják, a csapadékot vízzel jól kimossák, majd sósavban feloldják.

A rádium előállításának e második szakaszát követi annak utolsó, tisztább, de hosszadalmasabb szakasza, a rádiumnak a báriumtól való elválasztása. Az alkalmazott eljárás azon alapszik, hogy a rádiumklorid kevésbé oldódik vízben, mint a báriumklorid. Ha tehát a rádiumtartalmú báriumklorid oldatát csak annyira párologtatjuk be, hogy a bárium-

kloridnak csak egy része kristályosodjék ki, úgy az oldatban volt rádiumkloridnak nagyobb része a kristályokba halmozódik, míg az oldatban, annak csak kisebb része marad vissza. Ha tehát ilyen oldatból, a rádiumtartalmú báriumkloridot részletekben kristályosítjuk ki, a kiválott kristályokat feloldva újabb részleges kristályosításnak vetjük alá, s e műveletet többszörösen, oly módon ismétljük meg, hogy az egyes részletekben kiválott kristályok közül, az egyenlő rádiumtartalmú részleteket összekeverjük, úgy a rádiumkloridot, ha elég anyag állott rendelkezésünkre, hosszadalmas művelet után, de végül is teljesen tisztán kapjuk.

Curie né ez eljárás könnyebb megértésére, az alábbi vázlatot adja:



26. rajz.

Eszerint az urániumércz maradékának megtisztítása után nyert sósavas oldatot (1. sz. oldat) addig párologtatjuk, amíg forrón telített oldatot nyerünk. Miután a báriumkloridból, az oldat forrásának hőmérsékletén 37.6% -nyi, 20° -on meg csak 26.3% -nyi oldódik, ha ez oldatot a szoba hőmérsékletére hűtjük le, úgy abból, a benne oldott báriumkloridnak nem egészen egy harmada kikristályosodik. A kristályokról az oldat egyszerűen leönthető. E kristályokban találjuk az eredeti oldatban volt rádiumnak mintegy négy ötödét, míg annak körülbelül egy ötöde, az oldatban marad. A vázlatban, a függőleges nyilak a kiválott kristályokat, a ferde nyilak a kristályokról leöntött oldatot jelzik. Eszerint az 1. számú oldatból, az 1. számú kristályokat

és a 2. számú oldatot nyerjük. A bepárologtatott 2. számú oldat lehűtésekor kapjuk a 2. számú kristályfrakciót és a hármas számú oldatot. E műveletet egymásután hatszor ismétljük meg. A 6. számú kristályok kiválása után visszamaradt oldat rádiumtartalma, rendszerint már olyan csekély, hogy azt tovább kristályosítani már nem érdemes. Ez eljárással nyert 6 kristályfrakció közül, az elsőben a legtöbb, az utána következőkben fokozatosan kevesebb rádiumot találunk. Ezek közül az 1. számú kristályokat, annyi vízben oldjuk, hogy ismét forrón telített oldatot kapjunk. Ennek kihűlésekor, az újabb 1. számú kristályokat és 2. számú oldatot nyerjük. Ez újabb 2. számú oldatban, forralás közben feloldjuk az előbb nyert 2. számú kristályokat és az oldat lehűtése után kapjuk az újabb 2. számú kristályokat és a hármas számú oldatot. E művelet hétszeri megismétlése után nyert oldat ugyanolyan, mint az előbbi műveletnél, a 6. számú kristályokról leöntött oldat. Ez újabb, és az azokból nyert

kristályfrakciókkal, a leirt műveletet annyiszor ismétlik, míg az egyes műveleteknél nyert kristályok mennyisége olyan kicsiny lesz, hogy azokat nagyobb veszteség nélkül tovább kristályosítani már nem lehet. Megjegyezzük, hogy e műveleteket, akkor, amikor a kristályosítandó anyag mennyisége már kisebb lesz, azzal könnyebbítik, hogy a kristályokat víz helyett, tömény sósavban oldják. A tömény sósav sokkal rosszabban oldja azokat, mint a víz s így a művelet, különösen akkor, amikor a kristályosítandó anyag mennyisége kicsiny, sokkal könnyebbé válik. Azt is ajánlották, hogy ezen eljárás vége felé, a kloridokat bromidokká alakítsák át, mert a rádium- és bárium-bromid oldhatósága közti különbség valamivel nagyobb, mint a kloridoké, de ezt az előnyt ellensúlyozza az, hogy a rádiumbromid viszont, kevésbé állandó, mint a rádiumklorid.

Az ily módon nyert kristályfrakciók rádiumtartalma, elsősorban az eredetileg feldolgozott nyersanyag mennyiségétől és rádiumtartalmától függ, továbbá az egyes kristályfrakciók sorszámától. Ha tiszta rádiumkloridot akarnak nyerni, úgy e célra több tonnányi urániumsurokérczet kell feldolgozni. Ilyenkor a részletekben feldolgozott anyag kristályosításakor nyert egyenlő rádiumtartalmú frakciókat összegyűjtik, s újabb kristályosításnak vetik alá. Meg kell jegyeznünk, hogy tiszta rádiumvegyületből csak keveset állítanak elő. A forgalomba jutó rádiumvegyületek rendszerint, egy súlyrész rádiumklorid, és két súlyrész báriumklorid keveréke. Az ilyen rádium-báriumklorid ára, természetesen annak rádiumtartalmától függ, s ezt sugárzása alapján állapítják meg.¹ Meg kell még jegyeznünk, hogy egy tonna joachimsthali szurokérczben, 20—25 czentigramm rádium (elem) van.

A fémrádium előállítására, Curiené és Debierne közlése szerint, ugyanazon eljárás használható, amelyet Guntz, a fémbárium előállítására használt. Curiené és Debierne e célra, körülbelül 0.10 g rádiumkloridnak vizes oldatát, higanykatóddal és platiniridiumanóddal elektrolizálták. A kapott rádiumamalgámot vascsónakba öntve, azt kvarc csőben helyezték el, és ezt, a higany legnagyobb részének elpárolgásáig, hidrogénáramban 400^o-ra, majd légüres térben 700—800^o-nyi hőmérsékletre hevítették. E hőmérsékleten, a higany utolsó nyoma is elpárolgott, s az eleinte keletkezett hidrid is elbomlott. A hidrid elbomlásakor a fémrádium egyrésze szétszóródott és a kvarc csövet erősen megátadta.

Sajátságai. A fémrádium, Curiené és Debierne leírása szerint, 700—800^o körül olvad, s viselkedése teljesen hasonló a földfémek viselkedéséhez. A vizet amazokhoz hasonlóan erősen bontja, és a keletkezett

¹ Ha egyszerűen X gramm rádiumról beszélünk vagy írunk, az alatt valamely rádium-, vagy rádiumos báriumvegyület olyan mennyisége értendő, amelyben a rádium (elem), adott mennyisége van.

hidroxid a vízben feloldódik. A levegőn gyorsan oxidálódik. A fém-rádium, miként a vegyületei, maga is aktív s aktivitása idővel növekedik. A fémrádiumból is, miként a vegyületeiből, rádium-emanáció keletkezik.

A rádium vegyületeiben, miként a földfémek, kétvegyértékű. A rádiumklorid $RaCl_2$, a rádiumbromid $RaBr_2 \cdot 2H_2O$ és a rádium-nitrát vízben jól, de a megfelelő báriumvegyületeknél rosszabbul oldódik. A rádiumkarbonát és -szulfát, gyakorlatilag vízben oldhatatlanok. A rádium vegyületei, a bárium vegyületeihez teljesen hasonlóan viselkednek, azzal a különbséggel, hogy a rádium vegyületei vízben általában kevésbé jól oldódnak, mint emezek. A rádium vegyületei közül a rádiumklorid, ha tiszta, hosszabb ideig változatlan marad. A bárium-tartalmú rádiumklorid azonban, saját sugárainak hatására, rövid idő alatt megváltozik. Az ilyen kristályok, előállításuk után színtelenek, de már néhány óra leforgása alatt megsárgulnak. A rádiumbromid, a -kloridnál kevésbé állandó. A vízben oldható rádiumvegyületek, állás közben, részben oldhatatlan vegyületekké alakulnak át, ezeket csak híg savakban tudjuk feloldani. A rádiumos oldatot egyébként is célszerű gyengén megsavanyítani.

A tiszta rádiumvegyületek a színtelen Bunsen-lángot bíborvörösre festik. A rádium vegyületeinek színe, a földfémek vegyületeinek színekéhez hasonló.

A rádium atómsúlyát, a nemzetközi atómsúlytáblázatokba, Hönigschmied-nek 1912. és 1913. években megejtett vizsgálatai alapján, 216-nak vették föl.

Rádióaktív viselkedése. A rádium és vegyületei, csak α - és igen lassú β -sugarakat lövellnek ki. Az újonnan előállított rádiumvegyületek α -sugárzása fokozatosan nő és ezek mellett β - és γ -sugarak is jelentkeznek. E sugarak a rádium bomlási termékeitől erednek, amelyek, a rádiumvegyületei átkristályosításával ismét eltűnnek.

A rádium α -sugárainak hatótávolsága, (15⁰-ú és 760 mm nyomású levegőben) 3,3 centiméter. A tiszta és újonnan előállított vagy átkristályosított rádiumvegyületekben mindig kimutatható lassú β -sugarak eredetéről, mivel az uralkodó elmélet szerint, az egynemű rádióaktív anyag, egyidőben csak α - vagy β - és γ -sugarakat lövellhet ki, a nézetek eltérők. Egyesek lehetségesnek tartják, hogy a rádium, a rádium C-hez hasonlóan, kétféle átalakulást szenved. E föltevés szerint, a fő átalakulást α -sugárzás kíséri, ennek terméke a rádium-emanáció és emellett a rádium tört része, lágy β -sugárzás közben, egy eddig még ismeretlen anyaggá alakulna át. Más felfogás szerint, e lágy β -sugarak, egyszerűen az α -sugarak ütközése következtében keletkező másodlagos sugarak, vagy szabaddá tett elektronok volnának.

A rádium rádióaktív állandóit, hosszú életkora miatt, közvetlenül megállapítani nem tudjuk; annak közvetett úton való megállapítását többen megkísérelték. Így *B o l t w o o d* meghatározta, hogy ismert mennyiségű urániumot tartalmazó ásványból leválasztott és rádiumtól megtisztított ionium, az idő egysége alatt mennyi rádiumot termel. Ez adatokból, a rádium bomlási félidejét, $T = 2000$ évnek számította. *K e t t m a n n*, ugyanilyen eljárással 1800 évnek találta. *Rutherford* és *Geiger*, az egy gramm rádiumnak, az idő egysége alatt kilövellt α -részecskéinek számából, a rádium bomlási félidejét 1850 évnek számították és végül ugyanazt, az egy gramm rádiummal egyensúlyban lévő rádium-emanáció mennyiségéből (0.6 mm^3) számítva, 1750 évnek kapjuk.

Ez adatok meglehetősen eltérnek egymástól, s ezért kerek számban a rádium

átlagos életkorát	$\Theta = 2500$ év,
bomlási félidejét	$T = 1750$ év,
„ együtthatóját	$\lambda = 4 \times 10^4 \times \text{év}^{-1}$ -nek

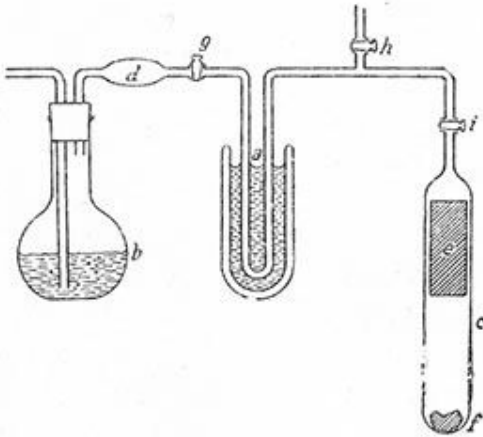
vevesszük.

Rádium-emanáció. A rádium közvetlen átalakulási terméke a rádium-emanáció. A rádium-emanáció gázalakú anyag, s így a rádiumtól könnyen elválasztható. Szilárd rádiumvegyületek, a belőlük keletkezett emanáció nagyobb részét magukba zárva, visszatartják. A vegyületekbe zárt rádium-emanáció egyrésze, ha azokat megnedvesítjük, részben felszabadul, de teljesen csak akkor szabadul fel, ha a szilárd vegyületet megolvasztjuk, vagy ha azokat feloldjuk, s oldatukon keresztül sok levegőt hajtunk át. A rádium-emanáció kiűzését, az oldat forralásával elősegíthetjük. Bár a rádium-emanációnak mindig csak igen csekély mennyisége keletkezik, annak jelenlétét, erős α sugárzó tehetsége folytán, könnyen kimutatjuk. A rádium-emanáció önálló gázalakú anyag-voltát bizonyítja egyebek között az is, hogy a vele elkeveredett gázoktól elválasztható, megsűrűsíthető, sőt forráspontja is megállapítható. A rádium-emanáció fizikai állandóinak megállapítását, annak rádióaktív viselkedése nagyban elősegíti, sőt e nélkül azok legtöbbjét, képtelenek volnánk meghatározni, mert e gázból oly rendkívül kis mennyiség áll rendelkezésünkre, hogy a közönséges gázok fizikai állandóinak megállapítására használt módszerek legtöbbje, nem használható.

A rádium-emanáció sűrűségét, először *Rutherford* és *Soddy* állapította meg. *Rutherford* és *Soddy* egyik irányú kísérletét, már néhány milligramm rádiumból nyert rádium-emanációval könnyen megismételhetjük. E kísérletre a következő egyszerű készüléket használhatjuk. Vékonyabb üvegből készült **U**-alakú cső (27. rajz) (a) egyik szára kétfuratú dugóval ellátott lombikkal (b), a másik szára szélesebb,

alul beforrasztott üvegcsővel (*c*) közlekedik. A lombikban van a rádiumos oldat s a dugó két furata egy, az edény fenekéig érő és egy, a dugó alatt végződő üvegcsővel van ellátva. E rövidebb üvegcső és az U-cső közé, az áthaladó gázok megszáritására, foszforpentoxiddal beporozott, üveggyapottal lazán megtöltött tekét (*d*) igtatunk. A (*c*) üvegcső felső részébe, kristályos cinkszulfiddal bevont lapot (*e*); aljára, villemit kristályt helyeztek. A (*c*) üvegcsövet, az U-csővel összekötő cső (*h*), csappal ellátott elágazása, légszivattyúval közlekedik. A készülék, egyes részeinek elzárására, még két (*g*, *i*) csappal van ellátva.

A kísérlet megkezdésekor mind a három csapot kinyitjuk, és az U-alakú csövet, cseppfolyós levegőbe mártjuk. Ezután a lombikon és a (*g*) és (*h*) csapokon, a vízszivattyú felé haladó, lassú levegőáramot indítunk meg. A rádiumos oldaton áthaladó levegő a rádium-emanációt

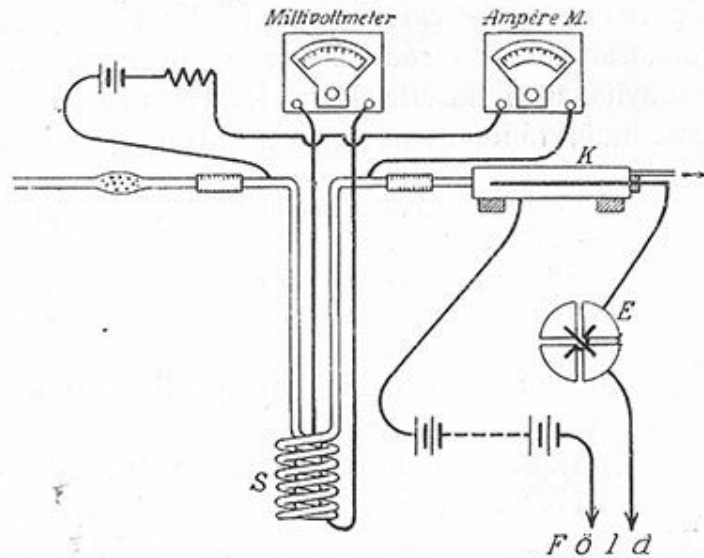


27. rajz.

magával ragadja, s ez, a cseppfolyós levegővel hűtött U-csőben lecsapódik. Néhány percz mulva a (*g*) csapot elzárjuk, a levegőt, az egész készülékben megritkítjuk, ezután a légszivattyúval közlekedő (*i*) csapot is elzárjuk és a kísérleti helyiséget elsötétítjük. Ilyenkor az egész készülék sötét, ha nagyobb mennyiségű rádiumot használunk a kísérlethez, úgy az U-csőnek az a része, ahol az emanáció megsűrűsödött, gyengén világít. Ha a cseppfolyós levegőt eltávolítjuk, az emanáció, a cső fölmelegedésével elpárolog, a készülékben elterjed, és a mint a szélesebb (*c*) csőbe ér, először a cinkszulfid, majd a villemit is, élénken kezd világítani. Ha most a (*c*) cső alsó részét hűtjük le, úgy a villemit világítása élénkül, a cinkszulfid pedig halványodik, s néhány óra mulva ez utóbbinak világítása teljesen megszűnik, jelölül annak, hogy az emanáció, az üveg lehűtött, alsó részén és a villemiten sűrűsödött. Ezt bizonyítja az is, hogy ha ilyenkor a cseppfolyós levegőt eltávolítjuk, a cinkszulfid világítása újra megkezdődik. A cinkszulfid néhány órányi utóvilágításának oka, hogy a rádium-emanációból szilárd, α sugárzó rádióaktív lerakódás keletkezik, amely a cinkszulfidet bevonja s míg el nem bomlik, még jó ideig világításra ingerli.

E kísérletet, némi módosítással, Rutherford és Soddy, a rádium-emanáció párologási hőmérsékletének meghatározására is fölhasználták. A készüléket, melyet e célra használtak, az alábbi 28. rajz tünteti föl.

E készülék lényegében ugyanolyan, mint az előbb leirt, azzal a különbséggel, hogy az ott alkalmazott U-alakú csövet egy rézből készült (S) spirális cső, a cinkszulfidot és willemitet magábazáró üvegcsövet pedig, (E) elektrométerrel összekötött, henger alakú fémkondenzátor (K) helyettesíti. Ezenkívül, a rézcső elektromos teleppel, ampèreméterrel és millivoltmérrel van összekötve, amelyek a rézcső elektromos ellentállásának mérésére s ez alapon, a hőmérséklet meghatározására szolgálnak. A rézcső, elektromos mórttal kevert cseppfolyós etilénbe van mártva, amelyet, a kísérlet tartama alatt, cseppfolyós levegővel hűtöttek. A készüléken keresztül, a kondenzátor felé lassú és egyenletes, elektrolitesen előállított oxigén vagy hidrogén gázáram halad, amely a rádium-emanációt magával ragadja. A 28. rajzon, egyszerűség kedvéért, az emanációt szolgáltató edényt elhagytuk. Mindaddig, míg a rézcső, a cseppfolyós levegő hőmérsékletére van lehűtve, az emanáció abban kondenzálódik, s abból a kondenzátorba semmi sem jut. Rutherford és Soddy, a cseppfolyós levegő eltávolítása után megfigyelték azt a hőmérsékletet, amelynél az oxigén- és hidrogéngázáram különböző sebessége mellett, az emanáció első nyoma és azt, amelynél az összes rádium-emanációnak fele jutott a kondenzátorba.



28. rajz.

Rutherford és Soddy adatainak rövid kivonatát, az alábbi táblázat tünteti föl:

Az átvezetett gáz	A gázáram sebessége	T_1	T_2
hidrogén	0.25 cm ³ másodpercenként	-151.3	-150
"	0.32 " "	-153.7	-151
"	0.92 " "	-152	-151
"	1.38 " "	-154	-153
"	2.3 " "	-162.5	-162
oxigén	0.34 " "	-152.5	-151.5
"	0.58 " "	-155	-153

A táblázatban T_1 , a hőmérsékletet jelenti, amelynél az emanáció első nyoma, T_2 , amelynél az összes rádium-emanáció fele jutott a ké-

szülékbe. Ez adatok alapján, Rutherford és Soddy, számításba véve azt az időt, mely alatt az áramló emanáció, a csőből a kondenzátorba jutott, a rádium-emanáció párolgási hőmérsékletét -152° és -154° közé esőnek állapították meg. E számításnál, a fönti táblázatnak, a másodpercenként $2-3 \text{ cm}^3$ sebességű hidrogén gázárammal nyert adatát számításon kívül hagyták, mert tapasztalatuk szerint az ilyen, és ennél nagyobb sebességű gáz, már nem hűl le a spirális hőmérsékletére.

A rádium-emanáció $152-154^{\circ}$ közé eső kondenzálási és párolgási hőmérséklete, noha a kísérlet közönséges nyomású gázáramban folyt le, nem tévesztendő össze, a rádium-emanáció, közönséges értelemben vett (egy légköri nyomás melletti) forráspontjával, mert hiszen, a rádium-emanáció saját (parciális) nyomása, a mellette lévő gázok nyomásához képest, rendkívül csekély volt; amit Rutherford nagyobb mennyiségű, gondosan tisztított rádium-emanációval végzett kísérleteinek adatai is bizonyítanak. E kísérletekben Rutherford, a különböző hőmérsékletekre hűtött rádium-emanáció gőznyomását mérte. E kísérletek szerint a:

— 65 C ^o -ra lehűtött rádium-emanáció gőzének nyomása	76	cm
— 78 " " " " " "	25	"
— 101 " " " " " "	5	"
— 127 " " " " " "	0.9	"

vagyis a rádium-emanáció forráspontja (760 mm barométerállás mellett), 65 C° .

Rutherford kísérleteit Gray W. és Ramsay megismételték s kísérleteik végeredményét, az alábbi adatok, melyekben a hőmérséklet abszolút fokokban, a nyomás milliméterekben van kifejezve, tüntetik föl.

Nyomás mm-ben	Hőmérséklet abs. hőfokokb.	Nyomás mm-ben	Hőmérséklet abs. hőfokokb.	Nyomás mm-ben	Hőmérséklet abs. hőfokokb.
500	202.6 ^o	5,000	262.8 ^o	30,000	346.0 ^o
800	212.4	10,000	290.3	35,000	356.0
1,000	217.2	15,000	307.6	40,000	364.4
2,000	234.5	20,000	321.7	45,000	372.9
4,000	255.3	25,000	334.5	47,450	377.5 (kritikus hő)

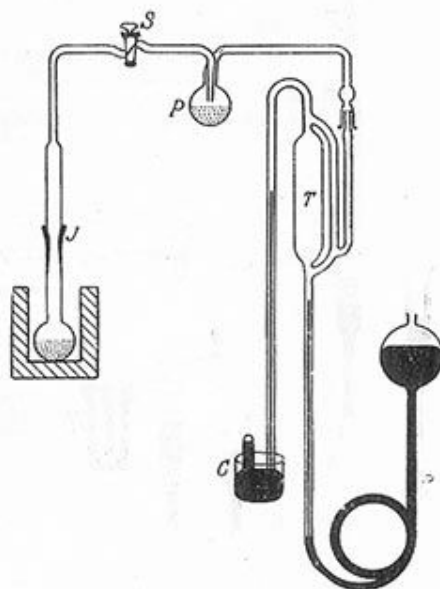
Ez adatokból számítva, a rádium-emanáció forráspontja (760 mm higanynyomás alatt) -62 C° (211 abs.^o) kritikus hőmérséklete $+104.5 \text{ C}^{\circ}$ (377.5 abs.^o) és kritikus nyomása 47.450 mm = 62.4 légköri nyomás.

Gray és Ramsay, kísérleteik folyamán, mikroszkóp segítségével, megfigyelték a különböző hőmérsékleten megszűrösödő rádium-emanáció színváltozását s azt tapasztalták, hogy a közönséges hőmérsékleten cseppfolyosódó emanáció majdnem színtelen, alacsonyabb hőmérsékleten ellenben, a lecsapódott emanáció, különböző színváltozásokat

szerved. E színjátékból, mely -71 C° -nál hirtelen fényessé válik, azt következtetik, hogy a rádium-emanáció olvadáspontja -71 C° körül van.

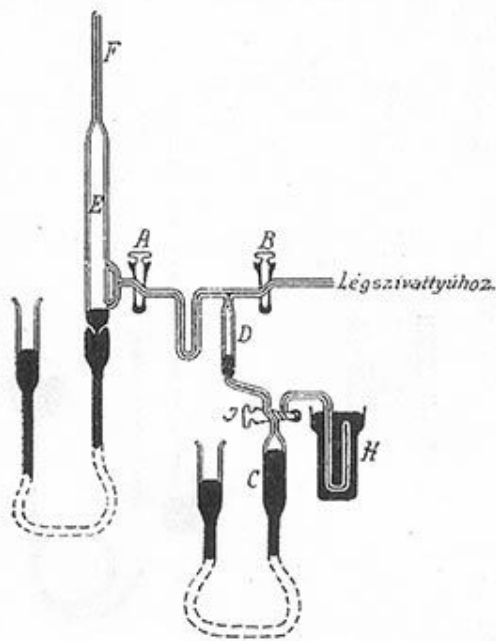
Rutherford, a leirt és egyéb kísérletek céljára, a rádium-emanáció megtisztítására, az alábbi két rajzban föltüntetett készülékeket használta. A 29. rajzon föltüntetett készülék, a rádiumos oldat befogadására szánt kis lombikból és egy azzal légzáróan összekötött, Töpler-féle légszivattyúból (T) áll. A rajzon P -val jelölt teke, a gáz szárítására félig foszforpentoxiddal volt megtöltve, a készülék C -vel jelölt része, kis gázbürettát jelez. A készüléket, a rádiumoldat betöltése után, légüresre szivatják s azután az (S) csapot elzárják. A rádium és bomlási termékeinek pozitív töltésű α - és negatív töltésű β -sugarai, a vizet hidrogén és oxigén gázra bontják. E gázok mellett,

kis mennyiségű hélium, továbbá széndioxid és szénmonoxid keletkezik, mert a rádióaktív-sugarak hatására az oxigén a (J) köszörülés és (S) csap tömítésére használt zsiradékot oxidálja, miért is a kapott gázban, az oxigén viszonyos mennyisége mindig kisebb, mint amilyenek azt a vízben találjuk. Rutherford állítása szerint, 25 milligramm rádium vizes oldatából, hetenként, körül belül 30 cm^3 gáz keletkezik. Ha ebből kellő mennyiség gyűlt össze, úgy az (S) csapot megnyitják s a szivattyúban lévő higanyt, a higanyos teke sülyesztésével lebocsátják, amikor a lombikban lévő gáz egyrésze a szivattyúba jut. Ezt, az (S) csap bezárása után, a higanyos teke emelésével, a (C) gázbürettába szorítják át. E művelet többszöri megismétlése után, a nyomás kisebbedése következtében, a rádiumos oldat hevesen forni kezd, ami a benne oldott emanáció és egyéb gázok eltávozását elősegíti, úgy hogy ily módon, az oldatban volt és a fölötte összegyűlt gázoknak majdnem teljes mennyisége a gázbürettába vihető át. A gázbürettában, villamos szikra átütésére, a szénmonoxid széndioxiddá és a hidrogén nagyobb része vízzé ég el. Az ily módon kis térfogatra összezsugorodott gázkeveréket, mely most már főtömegében széndioxidból, rádium-emanációból és héliumból áll, a 30. rajzon föltüntetett készülékbe szivatják át, e készülék, a kísérlet elején légüres s minden része higanyval van megtöltve. A gáz átszivatása oly módon történik, hogy a gázbürettát, a (H) higanykádba merített, U-alakúra meghajlított üvegcső nyitott végére borítják. Ilyenkor a gáz, a (J) csap alkalmas fordítása és a (C) edénynyel össze-



29. rajz.

kötött higanytartály sülyesztése után, a (C) edényben gyülik össze. Innen a gáz, a csapok alkalmas fordításával és a higanytartályok emelésével és sülyesztésével, a (B) és (A) csapok között lévő, U-alakú csöbe szorítható át. Ezt cseppfolyós levegővel hűtik, amikor a rádium-emanáció, a nedvesség és a széndioxid lecsapódnak. Ezután a légszivattyúval, az (A) és (J) csap elzárásával és a (B) csap kinyitásával, az ezen hőmérsékleten nem sűrűsödő hidrogén és héliumgázt eltávolítják. Majd a (B) csapot elzárják, a cseppfolyós levegőt eltávolítják, és a higanyt (D) edényben annyira sülyeszti, hogy az elpárolgó emanáció, a (D) edényben lévő széndioxid és nedvesség elnyerésére szolgáló kalciumoxid és foszfor-

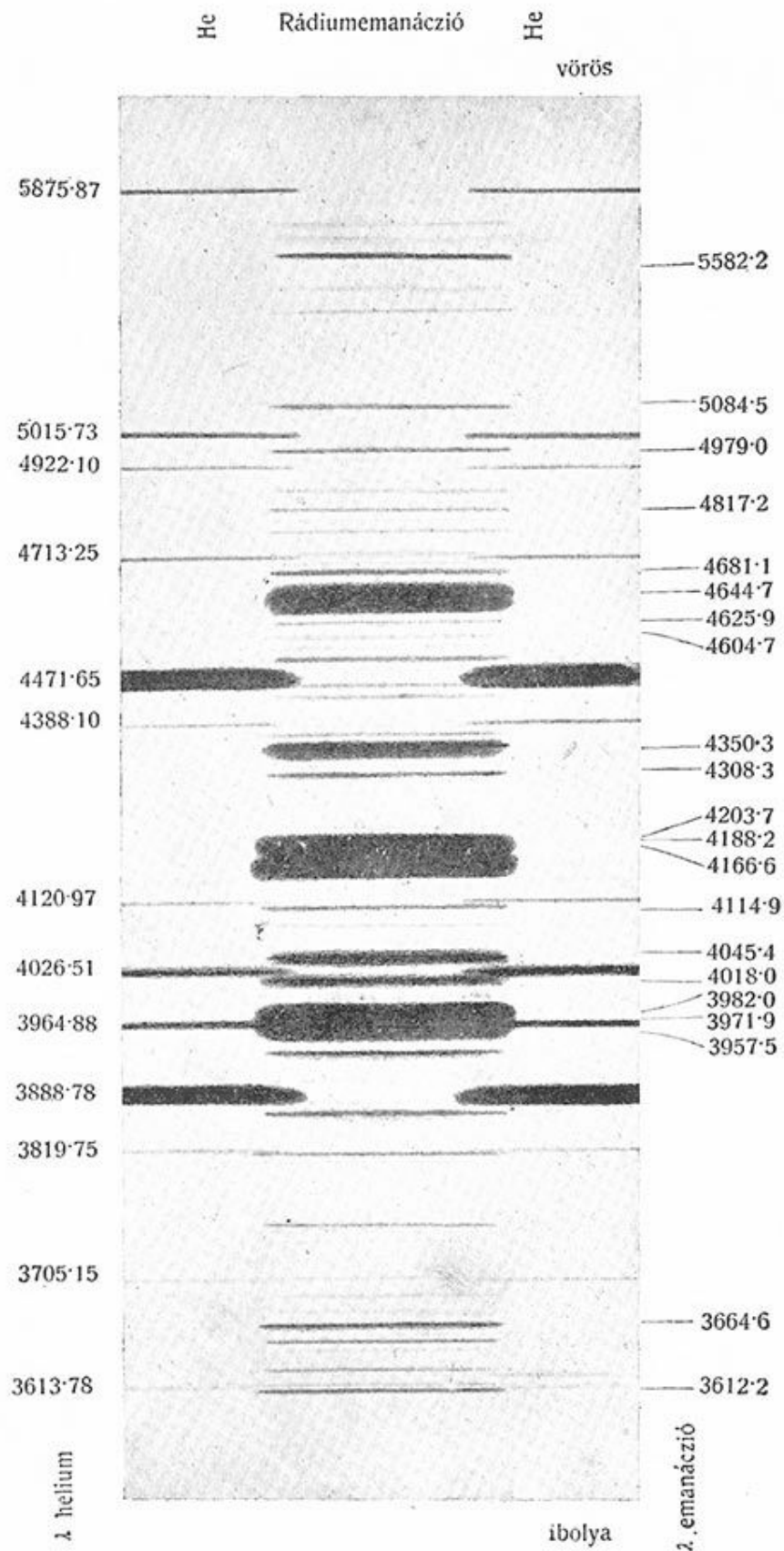


30. rajz.

pentoxiddal érintkezzék. Ezután, hogy a hidrogént és héliumot még biztosabban eltávolítsák, a gázt újból az U-edénybe szorítják, azt ismételtelen lehűtik és a légszivattyút újból működésbe hozzák, majd a cseppfolyós levegő eltávolítása és a lecsapódott emanáció elpárolgása után, azt az (E) edénybe szorítják át. Az emanáció, az (E) edény felső végére forrasztott vékony kapillárisban, kis tér fogatra szorítható össze. Ha a kapilláris csövekbe elektródokat forrasztanak, úgy az, az emanáció színeképének vizsgálatára is alkalmas. A készülék ez utóbbi részét, a különböző kísérleti célokra, különbözőképpen alakítják át.

A rádium-emanáció színeképét először, 1904-ben Ramsay és Collie figyelték meg és 1908-ban Rutherford és Royd ezt lefényképezték (31. kép.) A kép középső részén, az emanáció színeképe látható, a kép két oldalán, összehasonlításképpen, a hélium színeképe van. A kép két oldalán jegyzett számok, a megfelelő vonalak hullámhosszát adják meg.

A rádium-emanáció színeképe, tisztán és jól, csak közvetlenül megtisztítása után látszik. Állásközben az mindinkább gyengül, egy hónap múltán teljesen eltűnik s helyette, a hélium színeképe tűnik föl. A hélium, a rádium-emanáció és bomlási termékeinek kilövellte α -részecskékből keletkezik. Hogy a hélium tényleg, a kilövellt α -részecskékből keletkezik, és nem az emanáció alakul át, egész tömegében azzá, Rutherford és Royds, a következő kísérlettel bizonyították be. A készülék (32. rajz) főrésze egy 1,5 cm hosszú, igen vékonyfalú, kapilláris cső (A), amely



31. kép.

egy vastagabb falú kapilláris csőre (*B*) van forrasztva. A kis cső falvastagsága olyan volt, hogy az α -részecskéket átbocsássa, de a levegő nyomásának ellentálljon. Leírásuk szerint, e cső falvastagsága $\frac{1}{100}$ milliméter volt. E csövecskébe nagyobb mennyiségű, megtisztított rádium-emanációt szorítottak és alulról higanyval zárták el. E cső szélesebb üvegcsőbe (*T*) volt beferrasztva, amelynek felső részére kapillárist (*V*) s ebbe, a gáz színképeinek vizsgálatára, elektródokat forrasztottak. A külső csövet légüresre szívták s alulról higanyval zárták el. A külső csőben, a higany színvonalát emelni vagy süllyeszteni, s így az abban idővel összegyűlt gázt, a felső kapilláriscsőbe sűríteni lehet. Rutherford és Royds leírása szerint, a spektrálcsővön átbocsátott szikrákon, a hélium sárga vonala, két nappal az emanációnak a készülékbe bocsátása után tűnt föl és hat nappal ezután, a hélium egész színképe már jól látható lett. Hogy a hélium tényleg, a belső csőben lévő emanációból, a vékonyfalú üvegen át lövellt α -részecskék révén került a külső csőbe, bizonyítja, hogy az abba helyezett cink-szulfidon, az α -sugarakra jellemző villogás látható volt. Azt, hogy az igen vékonyfalú üvegcsövecskén át nem diffundálódhatott a hélium, azzal bizonyították, hogy ha az emanációt eltávolítva, annak helyébe héliumot bocsátottak, ekkor a külső csőben, hetek mulván sem tudták a hélium jelenlétét kimutatni.



32. rajz.

A rádium-emanáció, közvetlenül a rádiumból keletkezik. A rádium és rádium-emanáció átlagos életkorának ismeretében kiszámíthatjuk, hogy a rádium adott mennyiségével, a rádium-emanációnak milyen mennyisége van egyensúlyban. Ezen adatot kísérletileg többen is megállapították, az első kísérletektől eltekintve, amelyek a számítottnál nagyobb adatot adtak, Rutherford, Debierne, továbbá Gray és Ramsay kísérleteinek középértékéből, az egy gramm rádiummal egyensúlyban lévő rádium-emanáció gáztérfogata, (0° -on, 760 milliméter barométer állás mellett) $0,6$ köbmilliméternek adódik. Ez adat egyezik a számítottal.

A rádium-emanáció atómsúlyának megállapítását is többen kísérelték meg. A legtöbben az emanáció diffúziójának sebességét igyekeztek megállapítani, s abból számították a gáz molekulásúlyát. E kísérletek legtöbbje szerint, a rádium-emanáció molekulásúlya 100-nál kisebb. E szám azonban sehogysem egyezik a rádium-emanáció, elméletileg számított molekulásúlyával. Ugyanis, ha a rádium-emanáció, a rádiumból oly módon keletkezik, hogy a rádium egy atómja, egy héliumatóm kilövellése közben rádium-emanációvá alakul át, úgy ez utóbbinak atómsúlya 222 lesz. A rádium-emanációval végzett kísérletek azt mutatják, hogy az,

chemiai hatásokra nem szenved változást, ebből és egyéb körülményekből azt következtetik, hogy az, az argon-csoportba tartozó gázokkal rokon, tehát egy atómos gáz, ennél fogva molekulásúlyának is 222-nek kell lennie.

Az említettekkel ellentétben Gray és Ramsay, a rádium-emanáció sűrűségét közvetlenül, oly módon határozták meg, hogy ismert térfogatú gáz súlyát mérték meg. Gray és Ramsay, öt kísérlet adatából, a rádium-emanáció atómsúlyát: 227, 226, 225, 220, 218, középértékben 223-nak találták. Gray és Ramsay kísérleteiket, külön e célra készített kvarcz mikromérleggel végezték, és a mért emanáció súlya, $1/1000$ milligrammnál kevesebb és az emanációt magábazáró üvegcső súlya pedig, 30 milligramm körül volt.

A rádium-emanációt víz, kismértékben oldja. A rádium-emanáció oldhatóságát többen vizsgálták s azt tapasztalták, hogy ennek oldhatósága, mint a gázoké általában, a hőmérséklet emelkedésével csökken. A rádium-emanáció oldhatóságát, mivel azt rendszeren, csak sok levegővel elkeveredve nyerhetjük, nem határozhatjuk meg oly módon, mint a gázokét. A rádium-emanáció oldhatóságának meghatározása oly módon történik, hogy ismert mennyiségű emanációtartalmú levegőt, megmért mennyiségű és meghatározott hőmérsékletű vízzel rázogatnak, majd az egyensúly beállta után, meghatározzák a vízben oldott és a fölötte lévő levegőben visszamaradt rádiumemanáció mennyiségét.

Jelöljük v_1 -el a rázóedényben lévő levegő, v_2 -vel az ugyanabban lévő víz térfogatát. Legyen e_1 az egyensúly beállta után a levegőben és e_2 a vízben talált emanáció mennyisége, úgy e_1/v_1 és e_2/v_2 értékek, arányosak a levegő, illetve a vízben lévő rádium-emanáció töménységével és

$$\frac{e_2/v_2}{e_1/v_1} = \frac{e_2 v_1}{e_1 v_2} = \alpha$$

lesz a rádium-emanáció eloszlási hányadosa:

A rádium-emanáció eloszlási hányadosát (víz és levegő között), különböző hőmérsékleten, legutóbb 1911-ben Boyle R. W. határozta meg. Adatait, az alábbi táblázatban közöljük:

Hő- mérséklet	Eloszlási hányadosa α	Hő- mérséklet	Eloszlási hányadosa α
0 C°	0.507	20.3	0.250
4.3	0.424	26.8	0.206
5.7	0.398	31.6	0.193
10.0	0.340	34.8	0.176
14.0	0.303	39.1	0.160
17.6	0.280		

Boyle szerint, az eloszlási hányados tag határok között független, a víz fölött lévő gáz nyomásától és minőségétől.

Tömény sóoldatok a rádium-emanációt rosszabbul, az organikus oldószereknek legtöbbje azonban jobban oldja. Ez Boyle és Ramstedt E. kísérleteinek néhány adatából is kitünik.

O l d ó s z e r	Eloszlási hányados α		
	18° C	0° C	-18° C
glicerin	0·21	—	—
anilin	3·80	4·45	—
abszolút alkohol	6·17	8·28	11·4
aczeton	6·30	7·99	10·8
etilaczetát	7·35	9·41	13·6
paraffinolaj	9·20	12·60	—
benzin	12·82	—	—
xylol	12·75	—	—
toluol	13·24	18·40	27·0
kloroform	15·08	20·50	28·5
éter	15·08	20·90	29·1
hexan	16·56	23·40	35·2
szénkéneg	23·04	33·40	50·3

A petróleum is igen jól oldja a rádium-emanációt, ezért találnak a forrásokból előtörő petróleumban, tekintélyes mennyiségű rádium-emanációt.

A szilárd anyagok közül a kihevített faszén, különösen a kokuszszén, nagymennyiségű rádium-emanációt sűrít meg a felületén.

Egyrészt a rövidség kedvéért, másrészt, mivel a Mendelejev-táblázatban, önálló hely jelölhető ki a részére, ajánlották, hogy a rádium-emanációt röviden, csak *niton*-nak nevezzük. Ez elnevezés eddig, nem igen hódított.

A rádium-emanáció csakis α -sugarakat lövell ki. α -sugarainak hatótávolsága (15°-on 760 milliméter barométerállás mellett) 4·16 cm.

A rádió-emanáció rádióaktív állandóit Curiené és Rutherford, több kísérlet középértékéből, egymással egyezően, a következőknek találták:

átlagos életkora	$\Theta = 5·56$ nap
bomlási félideje	$T = 3·56$ nap
„ együtthatója	$\lambda = 2·85 \times 10^{-6}$ sec. ⁻¹

A rádiumtól elválasztott rádium-emanáció állandóan fogy és viszont az emanációjától megfosztott rádiumos készítményben, ha azt zárva tartjuk, a rádium-emanáció ismét felhalmozódik. Ha a rádium-emanációval kísérletezünk, úgy e körülményt számításba kell vennünk. A számítás, a fönti adatok alapján

$$\frac{I_t}{I_0} = e^{-\lambda t}$$

képletet végezhetjük. Az alábbi táblázatban, melyet a számítás megkönnyítése czéljából, eredetileg Curiené állított össze, miután

$$I_t = I_0 [e^{-\lambda t}]$$

a fejen $e^{-\lambda t}$ -vel jelölt rovatban közölt számok, a rádiumtól elválasztott rádium-emanáció azon törtmennyiségét adják, amely az elválasztástól számított t idő múlva még bomlatlanul maradt. A fejen $1 - e^{-\lambda t}$ -vel jelölt rovatban közölt számok, a rádiummal egyensúlyban levő rádium-emanációnak azon törtmennyiségét adják, amely az emanációtól megfosztott készítményben, t idő múlva újra keletkezett. Pl. az alábbi táblázat szerint, ha $t = 6$ óra, úgy $e^{-\lambda t} = 0.9632$ és $1 - e^{-\lambda t} = 0.0368$. Eszerint, ha pl. 3 milligramm rádiumot tartalmazó oldatból, a vele egyensúlyban volt emanációt kiűzzük 's elkülönített edényben fogjuk föl, úgy a kiűzéstől számított 6 óra múlva, az emanációt tartalmazó edényben, csak 0.9632×3 millicurie-emanáció lesz, az oldatot tartalmazó edényben pedig, 0.0368×3 millicurie-emanáció újra képződött.

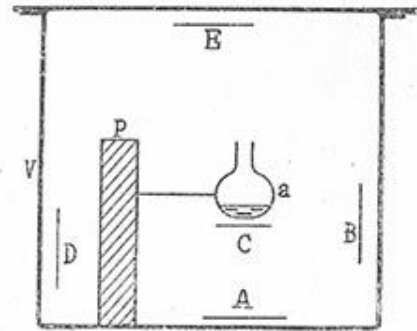
t	$e^{-\lambda t}$	$1 - e^{-\lambda t}$	t	$e^{-\lambda t}$	$1 - e^{-\lambda t}$
0 óra	1.0000	0.0000	7 nap	0.2837	0.7163
1 "	0.9925	0.0075	8 "	2369	7631
2 "	9851	0149	9 "	1979	8021
3 "	9777	0223	10 "	1653	8347
4 "	9704	0296	11 "	1381	8619
5 "	9632	0368	12 "	1153	8847
6 "	9560	0440	13 "	0963	9037
7 "	9489	0511	14 "	0805	9195
8 "	9418	0582	15 "	0672	9328
9 "	9347	0653	16 "	0561	9439
10 "	9277	0723	17 "	0469	9531
11 "	9208	0792	18 "	0392	9608
12 "	9139	0861	19 "	0327	9673
13 "	9071	0929	20 "	0273	9727
14 "	9003	0997	21 "	0228	9772
15 "	8936	1064	22 "	0191	9809
16 "	8869	1131	23 "	0159	9841
17 "	8803	1197	24 "	0133	9867
18 "	8737	1263	25 "	0111	9889
19 "	8672	1328	26 "	(2) 928	9907
20 "	8607	1393	27 "	(2) 775	9923
21 "	8543	1457	28 "	(2) 647	9935
22 "	8479	1521	29 "	(2) 541	9946
23 "	8416	1584	30 "	(2) 452	9955
1 nap	8353	1647	40 "	(3) 747	9993
2 "	6977	3023	50 "	(3) 123	9999
3 "	5827	4173	60 "	(4) 204	—
4 "	4868	5132	70 "	(5) 337	—
5 "	4066	5934	80 "	(6) 558	—
"	3396	6604	90 "	(7) 992	—

Az utolsó számjegyeknél, a zárójel közzé helyezett számok, a tizedes pont után következő és a közölt számokat megelőző 0-ák számát jelentik.¹

Mint a közölt táblázatból láthatjuk, 1 hónap leforgása alatt, a rádiumtól elválasztott rádium-emanáczióknak már csak mintegy 0·45%-a maradt elbomlatlanul s ugyanannyi idő alatt, az attól megfosztott rádiumos oldatban, annak 99·6%-a alakult vissza.

A rádium rádióaktív lerakódása. A rádium-emanációból rövidéletű, szilárd rádióaktív anyag keletkezik, mely az emanációt magába záró edény falára rakódik le. A rádióaktív lerakódás keletkezését, először Curiené észlelte s indukált rádióaktivitásnak nevezte el. Hogy a rádióaktívlerakódás az emanációból és nem a sugarak hatására keletkezik, Curiené az alább leírt kísérlettel bizonyította be. Rádiumoldatot tartalmazó nyitott lombikot (33. rajz *a*)

tágasabb, fedett üvegedényben (*V*) helyezte el. A lombiktól oldalt, vastagabb ólomlemezt (*P*) és annak különböző helyein, különböző anyagokból készült lemezeket (*A*, *B*, *C*, *D*, *E*) helyezte. E lemezek aktivitását, néhány nap múlva megvizsgálva azt tapasztalta, hogy azok aktivitása független attól, hogy azokat a sugarak mennyire érték; így például az ólomlemeztől védett (*D*) lemez aktivitása, közelítőleg ugyanolyan volt, mint a sugarak hatásának leginkább kitett (*E*) lemez, független a lemezek minőségétől, de függ a lemez felületétől és a lemez körüli szabad tér nagyságától. Ugyanezt Rutherford oly módon bizonyította be, hogy a thoriumvegyületekkel (melyekből az emanáció könnyebben válik szabaddá) szembe helyezett lemez aktív lett, ha azonban a thoriumvegyület vékony alumíniumlemezzel volt lefedve, úgy hogy az emanáció a lemezt nem érthette el és így nem is aktiválódott.



33. rajz.

A rádióaktívlerakódás keletkezésekor pozitív elektromos töltéssel bír. Ezért, ha az emanációt, nagyfeszültségű elektromos telep pozitív sarkával összekötött fémedénybe zárjuk, amelybe, az elektromos telep negatív sarkával összekötött fémrúd nyulik, úgy a rádióaktívlerakódás főmege, e fémrúdra rakódik le.

A rádióaktívlerakódás keletkezésekor pozitív elektromos töltéssel bír. Ezért, ha az emanációt, nagyfeszültségű elektromos telep pozitív sarkával összekötött fémedénybe zárjuk, amelybe, az elektromos telep negatív sarkával összekötött fémrúd nyulik, úgy a rádióaktívlerakódás főmege, e fémrúdra rakódik le.

¹ Ha $e^{-\lambda t}$ értékét, a táblázatban nem közölt, valamely közbeeső időre akarjuk ismerni, úgy azt egyszerűen, a táblázatban közölt, két megfelelő érték szorzása útján kapjuk meg, így pl.: 12 óra múlva $e^{-\lambda t} = 0\cdot9136$ és 5 nap múlva $e^{-\lambda t} = 0\cdot4066$, tehát 5 nap és 12 óra múlva, $e^{-\lambda t} = 0\cdot9139 \times 0\cdot4066 = 0\cdot3716$.

Ha a rádium rádióaktívlerekódásával bevont test sugárzásának változását vizsgáljuk, úgy azt tapasztaljuk, hogy e változás nem fejezhető ki egyszerű kitevős egyenlettel, s hogy a sugárzás változása más lesz, ha a bevont test rövidebb vagy hosszabb ideig volt kiteve a rádió-emanáció hatásának és más lesz, ha az α - vagy a β - vagy γ -sugárzás változását figyeljük meg. Ennek oka az, hogy a rádióaktív lerakódás nem egyenmű. Ugyanis a rádium-emanáció közvetlen bomlási terméke a rádium A, ebből rádium B és emeből rádium C keletkezik. Ezek közül:

a rádium A α -sugarakat lövell ki és bomlási félideje 3 percz,

a rádium B lágy

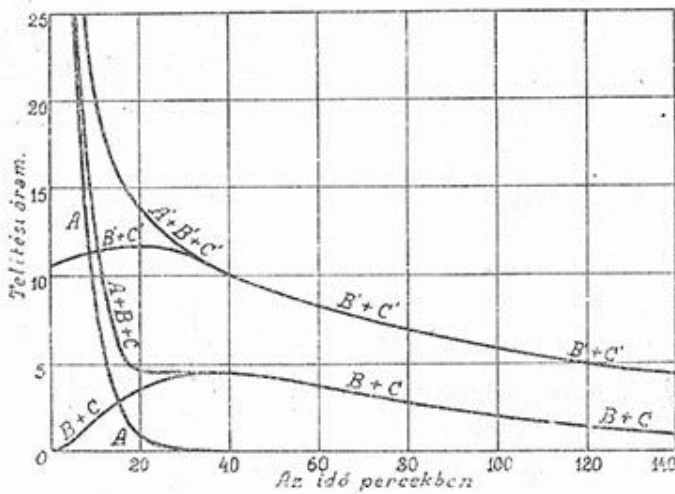
β - és γ -sugarakat lövell ki és bomlási félideje 26·8 percz,

a rádium C α -, β - és γ -sugarakat lövell ki és bomlási félideje 19·5 percz.

Ha fémlemezt vagy fémsodronyt csak igen rövid időre teszünk ki a rádium-emanáció hatásának, majd megfigyeljük a sugárzása okozta telítési áram változását, úgy, miután az α -sugarak erős ionizáló tehetsége mellett, a β - és γ -sugarak ionizáló tehetsége elenyészik, azt tapasztaljuk, hogy a kezdetben észlelt, meglehetősen nagy áram, közelítőleg a rádium A bomlási sebességével arányosan, rohamosan csökken és hozzávetőleg húsz percz alatt minimumánál egy ideig állandósul, esetleg gyenge növekedést mutat, majd körülbelül negyven percz multán ismét csökkenni kezd és két-három óra multán e változás körülbelül arányos lesz a rádium B bomlási sebességével, azaz, ez időtől kezdve az aktivitás félóránként (pontosan 26·8' alatt) csökken felére.

Ha a rádióaktív lerakódással bevont lemezre, hosszabb ideig hatott az emanáció, úgy ez némileg másként viselkedik; amennyiben a telítési áram változását feltüntető görbe kezdete, szintén rohamos csökkenést mutat, de nem ér el minimumot, hanem annak első szakasza fokozatosan megy át, az imént leirt görbéhez hasonló harmadik szakaszba.

E viselkedést a fönti, Rutherford-tól eredő 34. rajz teszi érthetővé. A rajzon az A-val jelölt görbe, a rádium A α -sugárzása okozta telítési áram változását szemlélteti. E rajz természetesen csak számítás eredménye és azt mutatja, hogy miként változnék a rádium A



34. rajz.

α -sugárzása okozta telítési áram, ha annak bomlási végterméke inaktív volna.

A $B+C$ -vel jelölt görbe már kísérletileg is ellenőrizhető. Ilyen görbét kapunk, ha a rádium-emanáció hatásának rövid ideig kitett testet, vastagabb ólomlemezsel burkolunk és az azon átjutó γ -sugarak okozta telítési áram változását figyeljük meg. Az ólomburkon ugyanis a rádium A és rádium C α -sugarai, valamint a rádium B lágy β - és γ -sugarai nem jutnak át. A megfigyelés kezdetén rádium C még nincs a lemezen, tehát a rádium C kilövelte, az ólomlemez átjárni képes γ -sugarak okozta vezetőképesség 0 . A lemezen fokozatosan több és több rádium C keletkezik, ezért az áram kezdetben mindaddig, amíg a három anyag közti egyensúly be nem áll, nő, ezután mindaddig, amíg még észlelhető mennyiségű rádium A van jelen, eleinte lassabban és végül, a három anyag közül leghosszabb életű rádium B bomlási sebességével arányosan csökkenni fog. Ugyanilyen természetű, a rádium B -ből keletkező rádium C α -sugárzása okozta telítési áram változása alapján, elméletileg megszerkesztett görbe is, azzal a különbséggel, hogy az α -sugárzás okozta telítési áram jóval nagyobb, mint γ -sugárzás okozta áram. A rajzon látható $B+C$ -vel jelölt görbét, elméletileg az α -sugárzás alapján szerkesztették meg. Az $A+B+C$ -vel jelölt görbe és az ahhoz csatlakozó $B+C$ görbe második része, a rádium-emanáció hatásának rövid ideig kitett test, α -sugárzása okozta telítési áram, ténylegesen észlelhető változását mutatja.

Ha valamely testre hosszabb ideig hatott rádium-emanáció, úgy azon már a megfigyelés elején, a rádium A mellett, rádium B és rádium C is van jelen. A rajzon $B'+C'$ -vel jelölt görbét, a $B+C$ -vel jelölt görbéhez hasonlóan szerkesztették, de azzal a különbséggel, hogy a megfigyelés kezdetén már jelenlévő rádium C sugárzására is tekintettel voltak. Az $A'+B'+C'$ -vel és a $B'+C'$ -vel jelölt görbének, ehhez csatlakozó folytatása, a telítési áram, ilyen esetben tényleg észlelhető változásának képét adja. A rajzban a görbék kiindulópontja és azok első része, miután azok, a megadott résznek, közelítőleg egyenes folytatásai, helykimélés céljából is elmaradtak. Megjegyzendő, hogy a telítési áram változását és így az abból szerkesztett görbe képét, az elmondottakon kívül, némileg még a mérőkészülék alakja és méretei is befolyásolják, ugyanis a rádium A α -sugarainak hatótávolsága valamivel kisebb, mint a rádium- C α -sugaraié s ezért e kétféle sugarak, a különböző méretű készülékekben, különböző mértékben ionizálják a levegőt.

A kismennyiségű rádióaktívlakódással bevont testek sugárzása okozta telítési áram, körülbelül egy nap alatt annyira lecsökken, hogy már alig, vagy egyáltalán nem tudjuk mérni. Ha azonban nagyobb mennyiségű rádium-emanációból, hosszabb idő alatt keletkezett rádióaktívlakódás okozta telítési áram változását figyeljük, úgy azt tapasztal-

taljuk, hogy az nem csökken le teljesen nullára, csak minimumot ér el és azután fokozatosan, lassú emelkedést mutat. Ennek oka, hogy a rádium *C* átalakulási terméke, a rádium *D*, csak igen lágy β - és γ -sugarakat lövell ki, amelyek ionizáló tehetsége olyan csekély, hogy az anyagot kezdetben sugártalannak tartották, amihez hozzájárult, az előbbiekhöz viszonyított, aránytalanul hosszú életkora (bomlási félideje 16·5 év). Ez a szintén csak csekély ionizáló tehetséggel bíró β - és γ -sugarakat lövellő, ötnapos bomlási félidejével bíró, rádium *E*-vé alakul át és csak az ebből keletkező rádium *F* lövell ki, a levegőt erősebben ionizáló α -sugarakat. A rádium *F* bomlási félideje 136 nap.

Az utóbb említett három rádióaktív anyag közül, a rádium *D* életkora aránytalanul hosszabb, mint az előbb említett három anyagé, de a rádium *E* és rádium *F* életkora is jóval hosszabb amazokénál, ezért ezeket együttvéve, a rádium hosszúéletű rádióaktív lerakódásának, míg a rádium *A*, rádium *B* és rádium *C*-t együttesen, a rádium rövidéletű lerakódásának mondjuk. E megkülönböztetést azért is használjuk, mivel a zárt edényben tartott rádiumvegyületek, egy hónap lefolyása alatt, gyorsan bomló termékeivel, körülbelül egyensúlyba jutnak, még a lassan bomló termékei, csak hosszú idő múlva, lassan halmozódnak föl azokban. A rádiumvegyületek addig, míg gyorsan bomló termékeikkel egyensúlyban nincsenek, nem is kerülnek forgalomba, mert azok rádiumtartalmát, γ -sugárzásuk alapján határozzák meg. Ha közönségesen, a rádium γ -sugárzásról beszélünk, azalatt, az azzai egyensúlyban lévő rádium *C* ki-lövellte γ -sugarakat kell értenünk. Régibb rádiumkészítményeknél ezekhez, kismértékben a rádium *E* γ -sugara is hozzájárulnak.

Rádium A. A rádium *A*, rádium-emanációból keletkező, szilárd anyag. *M a k o w e r* tapasztalta, hogy platinasodronyra rakódott rádium *A*, ha kifeszített sodronyt, villamos árammal 800—900^o-nyi hőmérsékletre hevíti s ezt fémcsővel veszi körül, úgy a rádium *A*, a sodronyról, a cső belsejére szublimálódik. Ebből azt következteti, hogy a rádium *A* szublimálási hőmérséklete 800—900^o közé esik. Mások e hőmérsékletet magasabbnak találták. *S c h r a d e r*, az aktinium rádióaktív lerakódásaival végzett hasonló kísérleteket s azt tapasztalta, hogy azok klórgázban sokkal alacsonyabb hőmérsékleten szublimálnak, mint levegőn vagy hidrogéngázban. Ezekből, valamint a rádium rádióaktív lerakódásaival végzett kísérleteiből azt következteti, hogy a rádium *A* fönt megadott és általában a rádióaktív lerakódások eddig közölt, úgynevezett szublimálási hőmérséklete, nem felel meg a színrádióaktív anyag szublimálási hőmérsékletének, hanem, ha a kísérletet, levegő jelenlétében végezzük, úgy talált szublimálási hőmérséklet, a megfelelő anyag valamely oxidjának szublimálási hőmérséklete volna, ha a szublimálást klórgázban végezzük, úgy a kapott alacsonyabb adat, a klorid szublimálási hőmérsékletét adná.

A rádium *A*, rádióaktív állandó:

átlagos életkora	--- --- ---	$\Theta = 4.4$ percz.
bomlási félideje	--- --- ---	$T = 3$ percz,
„ együtthatója	--- ---	$\lambda = 3.78 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$

A rádium *A*, mint említettük, 4.75 centiméter hatótávolságú α -sugarakat lövell ki. Miután a rádium *A* a rádium-emanációból, egy α -sugár kilépése mellett keletkezik, atómsúlyát 218-nak számítják.

Rádium *B*. A rádium *B* szublimálási hőmérsékletét, levegőben Curie és Duane 600^o-nak találták. Soddy szerint, ha egy, a rádium rádióaktív lerakódásával bevont sodronyt 630^o-ra hevítünk és azt, hengeralakúlag meghajtott lemezzel körül vesszük, úgy arra tisztán rádium *B* szublimál, amely kezdetben, csak lágy β - és γ -sugarakat lövell ki, de amint rádium *C*-vé alakul, fokozatosan α -sugarak is jelentkeznek. Ha ilyen sodronyt, lemezzel vesszünk körül, úgy a lemezen, egy idő múlva a rádium *B* jelenlétét, akkor is megállapíthatjuk, ha a sodronyt egyáltalában nem is hevítettük. Ebből eleinte azt következtették, hogy a rádium *B*, kismértékben már közönséges hőmérsékleten is szublimál. Hahn és Meitner e jelenséget azzal magyarázzák, hogy a rádium *A* átalakulásakor keletkezett α -sugarak a tér minden irányában haladnak s meg lehetős mozgási energiával bírnak. Ha a rádium *A*, valamilyen szilárd testhez tapadt, úgy a szilárd test felé lövellt α -sugarak, miután útjukban akadályra találnak, az ellenhatás következtében, a képződött rádium *B*-t fogják eltaszítani. Hogy a rádium *B*-nek, közönséges hőmérsékleten való, látszólagos szublimálásának ez az oka, azzal is bizonyítják, hogy ez a jelenség csak addig tart, amíg rádium *A* van a sodronyon. Amint ez elbomlott, a rádium *B* látszólagos szublimálása megszűnik. E jelenséget egyébként, minden α -sugárzó anyag bomlási termékével megfigyelhetjük. Hahn és Meitner és mások, e jelenséget föl is használták, az α -sugárzó anyagok bomlási termékeinek elválasztására és az erre alapított eljárást, *tasztási módszernek* (*Rückstossverfahren*) nevezték el.

A rádium *B*-t, mint említettük, kezdetben olyan rádióaktív anyagnak tartották, mely sugárzás nélkül alakul át. Először Schmidt H. W. mutatta ki, hogy ez igen lágy β -sugarakat lövell ki (a sugarak felét 0.09 milliméter vastag alumíniumlap elnyeli), amelyek mellett kis számú, kemény β -sugarat is találni. Moseley és Makower vizsgálatai szerint, a rádium *B* igen lágy γ -sugarakat is lövell ki.

A rádium *B* rádióaktív állandói, Curiené vizsgálata alapján:

átlagos életkora	--- --- ---	$\Theta = 38.7$ percz,
bomlási félideje	--- --- ---	$T = 26.8$ percz,
„ együtthatója	--- ---	$\lambda = 4.33 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$

Föltételezett atómsúlya 214.

zett anyag föltételezett atómsúlya 206 és ezt a számot az ismert elemek közül, leginkább az ólom atómsúlya (207·2) közelíti meg, azt *következtette*, hogy a rádium bomlási végterméke az ólom. Noha a következtetést, kísérletileg eddig bebizonyítani nem sikerült, e nézet ma is tartja magát. A most uralkodó fölfogás szerint, a rádium C_2 szintén ólomá alakul át, noha annak föltételezett atómsúlya 210 és csak β -sugarakat lövell ki, tehát a belőle keletkezett anyag atómsúlyának ugyanilyennek kell lennie. Hogy a rádium átalakulási végterméke számított és az ólom tényleg talált atómsúlya közti különbséget miként magyarázzák, azt a könyv utolsó fejezetében fogjuk megismertetni.

A rádium meleg termelése. Nemsokára a rádium fölfedezése után tapasztalták, hogy a rádiumvegyületek, környezetüknél mindig melegebbek és hogy úgy a rádium, mint a többi rádióaktív anyagok, állandóan hőt fejlesztenek. A rádium hőfejlesztő tehetségét többen mérték s a kapott értékek kezdetben kisebbek voltak; később, amint a rádiumvegyületeket mindjobban meg tudták tisztítani, tisztítottságuk arányában, hőfejlesztőképességük is növekedett. Némiképpen változnak a kísérleti adatok aszerint is, amint a rádiumot egyszerűen üvegcsőbe zártan vagy még ólomlemezbe burkoltan helyezték a kaloriméterbe. Ugyanis, miként kísérletileg is kimutatták, a rádióaktív anyagok termelte meleg, főként onnan ered, hogy a kilövellt sugarak akadályokba ütközve, azok mozgási energiája, meleggé alakul. Miután az α -részecskék tömege aránytalanul nagyobb, mint a β -részecskéké, a termelt meleg legnagyobb része az α -sugaraktól ered; és mivel az α -sugarakat, már a közönségesen használt üvegcső fala is visszatartja, a termelt meleg legnagyobb részét már akkor észlelhetjük, ha a vizsgálandó anyagot egyszerűen üvegcsőbe zártan helyezzük a kaloriméterbe, ha a vizsgálandó készítményt vastagabb ólomlemezrel burkoljuk, úgy a keletkező meleg, miután az ólom a β -sugarakat is és a γ -sugarak egyrészét elnyeli, valamivel nagyobb lesz.

Meyer St. és Hess, akik a Hönigschmid-től gondosan megtisztított és az aktivitás mérésére, nemzetközileg egységgül elfogadott és Bécsben őrzött vízmentes rádiumkloridkészítmények hőfejlesztő tehetségét mérték, azt találták, hogy egy gramm, a gyorsan bomló termékeivel ($Ra + RaEm + RaA + RaB + RaC$) egyensúlyban lévő rádium, oly kísérleti berendezés mellett, amely az összes α - és β -sugarakat és a γ -sugaraknak mintegy 18%-át visszatartja, óránként 132·3 gramm kalóriameleget fejleszt, s ebből az egy gramm rádium, óránkénti összes hőfejlesztő tehetségét, tehát a nem abszorbeált γ -sugarak kinetikai energiáját is beleszámítva, 137 gramm kalóriányinak számították. Rutherford és Robinson adatai szerint, egy gramm rádium (gyorsan bomló termékeivel egyensúlyban) óránkénti hőfejlesztő képessége 135 gramm kalória.

Az a melegmennyiség, amit egy gramm rádium óránként fejleszt, összehasonlítva az egyes chemiai folyamatoknál fejlődő melegmennyiségével, meglehetősen kicsiny. De a reakcióhőkről közölt adatok azt a melegmennyiséget adják meg, amely aközben válik szabaddá, amikor valamely anyag adott egész tömegében egy másik anyaggá átalakul. Ha a rádiumnál is, az egyóra alatt fejlesztett meleg mennyisége helyett, azt a meleg mennyiséget számítjuk ki, ami annak teljes átalakulása közben válik szabaddá, úgy az fölülmulja, még a legnagyobb reakcióhőt is.

Az 51. és 52. oldalon közölt számítás szerint egy gramm rádium teljes átalakulásakor, kerek számban 3×10^9 grammkalóriányi meleget fejleszt.¹ Miután egy gramm szén elégésénél, kerek számban 8×10^3 grammkalóriányi meleg keletkezik, a rádium átalakulásánál keletkezett meleg mennyisége, a szén elégésénél keletkezett meleg mennyiségét,

$\frac{3210^9}{8 \times 10^3} = 375,000$ -szer mulja fölül, vagyis egy gramm rádium,

teljes átalakulása közben annyi meleg fejlődik, mint amennyi kerek számban 4 métermázsza szén elégésekor válik szabaddá. Ezen összehasonlítás ne téveszsen meg bennünket. A rádium hőtermelő tehetségének gyakorlati jelentősége, már azért sem lehet, mert egy gramm rádiumnak az ára, körülbelül 600,000 korona, s így még ha módunkban volna, hogy a rádiumban rejlő energiát épp oly könnyen szabaddá tegyük s vele éppen úgy rendelkezni tudjunk, mint a szén kötött energiájával, úgy ez összehasonlíthatatlanul drágább volna, mint a szénből nyert energia.

Előnyösebb ez az összehasonlítás, ha az urániumban rejlő energiát hasonlítjuk össze, a szénből fölszabadulható energiával. Már egyszerű meggondolással is rájöhethünk, hogy az urániumban rejlő energiának, miután a rádium az urániumból keletkezik, nagyobbak kell lennie, mint amennyit a rádiumban találunk. Az uránium azonban sokkal lassabban

¹ Ha a rádium teljes átalakulásakor keletkezett meleg mennyiségéről szólunk, úgy ezalatt azt a meleg mennyiségét kell értenünk, amelyet a rádium és annak összes rádióaktív bomlási termékei (*Ra + Ra Em + Ra A + Ra F*), együtt fejlesztenek. A fönti számításnak alapját az a kísérleti alap képezte, hogy egy gramm rádium óránként 135 grammkalóriányi meleget fejleszt. De, mint említettük, ez csak a gyorsan bomló rádióaktív termékeivel egyensúlyban lévő rádiumra vonatkozik. Azt, hogy az összes bomlási termékeivel egyensúlyban lévő rádium milyen meleg mennyiséget fejleszt, eddig, miután ilyen rádiumos készítmény még nem áll rendelkezésünkre, kísérletileg megállapítani nem lehet. Számításaink szerint, ez az érték körülbelül 20%-kal nagyobb a közölnél. A fönti számításunk tehát, alapjában véve hibás, illetve a számítás alapjául vett érték, mintegy 20%-kal kisebb a ténylegesnél. De akkor, amikor e számítási módot ismertettük, még nem szóltunk a rádium egyes bomlási termékeiről, s ezért a könnyebb megérthetőség kedvéért, a számítás alapjául egyszerűen, a kísérletileg talált értéket vettük, s miután a fönti számítást erősen kikerekített számokkal végeztük, azt ugyancsak az egyszerűség kedvéért, az ott kapott számértékkel folytattuk.

alakul át, mint a rádium, ezért az időegység alatt, az urániumból sokkal kevesebb energia szabadul föl, mint a rádiumból. Az uránium hőfejlesztő tehetségét, éppen azért bajos kísérletileg megállapítani, de közelítőleg ki tudjuk számítani. Mint említettük, a rádióaktív anyagok hőtermelőtehetsége főként az α -sugarak mozgási energiájából ered. Tudjuk, hogy az uránium és átalakulási termékei (ideszámítva a rádiumot és bomlási termékeit), együttesen 8 α -sugárcsoportot lövellnek ki. Az egyes α -sugárcsoportok hatótávolságát ismerve, közelítő pontossággal kiszámíthatjuk, az urániumból és a vele egyensúlyban lévő rádiumból felszabaduló meleg mennyiséget. Rutherford számítása szerint, egy gramm rádiummal egyensúlyban lévő uránium, óránként 7.2×10^{-5} grammkalória meleget fejleszt. E melegmennyiség ugyan nagyon kicsiny, de ha az uránium rendkívül hosszú életkorára vonatkoztatjuk; úgy egy gramm urániumból, egész tömegének inaktív anyaggá való alakulása közben felszabaduló meleg mennyisége, kerek számban 5×10^9 grammkalóriányi, tehát kerek számban 6 métermázsa szén elégésénél keletkezett meleg mennyiségével egyenlő. Ezek szerint az urániumban rejlő energiamennyiség, tekintve, hogy az urániumnak tekintélyes mennyisége található földünkön, a szén égésekor nyert energiának hatalmas versenytársa lehetne, ha tetszésünk, helyesebben szükségünk szerint tehetnők szabaddá; de az eddigi tapasztalataink szerint, a rádióaktív folyamatokat sajnos, sem gyorsítani, sem hátráltatni nem tudjuk.

A rádium és a föld melege. E fejezet elején közölt táblázatokból, ha a működő vulkánok lávájában és a jelenkorú tengeri ülledekekben talált rádium mennyiségétől eltekintünk¹ s az adatok középértékét a földkéreg átlagos rádiumtartalmaként elfogadjuk, úgy a földünk felületét borító kőzetek átlagos rádiumtartalmaként, egy gramm kőzetre számítva 2.6×10^{-12} g-t kapunk. A rádiumnak ezen mennyiségével, kerek számban $2.6 \times 10^{-12} \times 3 \times 10^{-6} = 7.8 \times 10^{-6}$ g uránium áll egyensúlyban. De Rutherford számításai szerint, 1 g (rádiummal egyensúlyban levő) uránium óránként 7.2×10^{-5} grammkalóriányi meleget fejleszt, ennél fogva az urániumnak, föntebb közölt mennyisége, órán-

¹ A lávában és a tengerfenéki iszapokban, mint a táblázatokból kitűnik, aránylag több rádiumot találnak, mint a velük egyenlő összetételű, régebbi korú kőzetekben. Ennek oka az lehet, hogy e kőzetekben a rádium még nincs egyensúlyban, a bennük levő urániummal. Ugyanis a tapasztalat azt mutatja, hogy ha valamilyen ősi kőzetet külső hatás megbolygat s az helyét változtatja, úgy az azokban levő rádium aránylag könnyebben vándorol, mint az uránium. Lehetséges, hogy ez az oka a most is keletkező ülledekek és lávák nagyobb rádiumtartalmának. Ezek rádiumtartalma tehát most még nagyobb, mint a mennyi a bennök levő urániumnak megfelel. Miután az említett adatokból kiinduló számítás alapját, a rádiummal egyensúlyban levő uránium képezi, a számításból a láváról, és az ülledekről közölt adatokat kihagytuk.

ként $7.8 \times 10^{-6} \times 7.2 \times 10^{-5} = 5.6 \times 10^{-10}$ grammkalóriányi meleget fejleszt.

Joly vizsgálatai szerint a föld kérgének átlagos thoriumtartalma — a kőzetek egy grammjára számítva — 1.2×10^{-5} gramm. Egy gramm (átalakulási termékeivel egyensúlyban lévő) thorium Rutherford számítása szerint, óránként 2.5×10^{-5} grammkalóriányi meleget fejleszt, ennél fogva a thorium fent közölt mennyisége $2.5 \times 10^{-5} \times 1.2 \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-10}$ s így az 1 g kőzetben átlagosan talált uránium és thorium összes mennyisége, óránként $5.6 \times 10^{-10} + 3 \times 10^{-10} = 8.6 \times 10^{-10}$ grammkalóriányi meleget fejleszt. Ha a föld felületét borító kőzetek átlagos fajsúlyát 2.7-nek vesszük, úgy e kőzetek egy köbcentiméterében talált uránium és thorium óránként termelte meleg $8.6 \times 10^{-10} \times 2.7 = 2.3 \times 10^{-9}$ grammkalóriányi lesz.

A bányászok és geológusok tapasztalata szerint, a föld belseje felé haladva, annak hőmérséklete, átlagosan 35 méterenként 1° -kal emelkedik. Ez adatból a földkéreg hőgrádiense, vagyis hőmérsékletének emelkedése, a mélység felé haladva, centiméterenként $T = 1/3500 = 0.00029^\circ$.

Azon melegmennyiséget, Q -t, amelyet a földfelületének minden négyzetcentimétere, másodpercenkénti kisugárzása következtében veszít,

$$Q = TK$$

egyenlettel számíthatjuk ki, ahol K , a földet borító kőzetek átlagos hővezetőtehetségét jelenti. Számítalan mérés középvértéke szerint $K = 0.004$. Tehát a földünkfelületének minden cm^2 -e, másodpercenként $2.9 \times 10^{-4} \times 4 \times 10^{-3} = 1.16 \times 10^{-6}$ és óránként 4.2×10^{-3} grammkalóriányi meleget veszít.

A földkérgében talált rádióaktív anyagok, állandóan meleget termelnek. Ezzel szemben a föld, hőszugárzás következtében, meleget veszít. Hogy e két folyamat egymást kiegyenlítse, elegendő, hogy a földkéreg rádium-, uránium- és thoriumtartalma $\frac{4.2 \times 10^{-3}}{2.3 \times 10^{-9}} = 18 \times 10^5$ centiméter = 18 kilométer mélységig, a számításunk alapjául szolgáló mennyiségnek megfeleljen.

A fentiekhez hasonló következtetésre jutottak: Elster és Geitel, Himstedt, Strutt, Joly és mások. Joly, akitől a számítási menetet átvettük, a maga végezte kísérleti adatokra támaszkodva, a kőzetek átlagos rádiumtartalmát valamivel kisebbnek veszi, mint amennyinek mi azt megadtuk s számítása szerint körülbelül 20 kilométer mélységig kell a földkéreg rádium- és thoriumtartalmának, olyannak lennie, mint amilyenek, közvetlenül a föld felületén találta. Megjegyzendő, hogy a thorium kis mennyiségeinek, mennyiségi meghatározása, miként azt, a thoriumról szóló fejezetben, részletesebben ki fogjuk fejteni, sokkal nehezebb feladat, mint a rádium mennyiségének meghatározása,