

2011. A Kémia Éve – Marie Curie kísérletei

Radnóti Katalin

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Fizikai Intézet

A Curie-család összesen háromszor kapott Nobel-díjat. Marie Curie-nek két alkalommal is odaítélték. Először 1903-ban férjével, Pierre Curie-vel és Henri Becquerellel közösen a radioaktív sugárzás tanulmányozásáért fizikai Nobel-díjat, 1911-ben a rádium és a polónium felfedezéséért, előállításáért és vegyületeinek vizsgálatáért kémiai Nobel-díjat kapott. Az esemény tiszteletére 2011-et az ENSZ a Kémia Nemzetközi Évének nyilvánította. Ez az írás ebből az alkalomból készült és célja röviden bemutatni Marie Curie életét, tanulmányait, úttörő jellegű munkáját és az adott korszakban rendelkezésre álló fizikai ismeretek azon rendszerét, melyekre támaszkodhatott. Marie Curie doktori munkája során közel száz különböző kísérletet, mérést, mérésorozatot végzett el. Az írásban ezek közül néhány eredeti mérési leírás, idézet is bemutatásra kerül.

Maria Salomea Sklodowska Varsóban született 1867. november 7-én. 1883-ban érettségizett a Varsói Lánygimnáziumban, kiváló eredménnyel. Sokáig magántanítónak működött, később nevelőnői állást vállalt vidéken. Szabadidejében matematikai, fizikai, szociológiai és filozófiai tanulmányokat folytatott (1. ábra). Varsói házitánítósága alatt kezdte meg tanulmányait a Varsói Ipari és Mezőgazdasági Múzeum által szervezett kémiai analitikai tanfolyamon unokafivére, Józef Boguski felügyelete alatt, aki korábban a periódusos rendszert megalkotó Dmitrij Mengyelejev orosz kémikus asszisztenseként dolgozott. Itt tett szert azokra a nagyon fontos analitikai kémiai ismeretekre, amelyek segítségével évekkel később sikerült előállítania a polóniumot és a rádiumot.



1. ábra: Maria Sklodowska házitánító 1888-ban

Maria 1891-ben kezdte meg tanulmányait a Sorbonne-on. 1893-ban fizikából, és 1894-ben matematikából szerezte meg diplomáját. Ugyanebben az évben találkozott össze Pierre Curie-vel, aki ekkoriban a Sorbonne fizika-kémia tanszékén volt oktató. Közös tudományos érdeklődésük, a mágnesesség hozta őket össze, mivel ezekben az időkben Maria a különböző acélok mágneses tulajdonságait vizsgálta. 1895 júliusában összeházasodtak.

Marie Curie 1898. elején kezdte el doktori munkáját. Ehhez keresett témát és rátalált Henri Becquerel eredményeire. Időközben férje, Pierre Curie is oly érdekesnek és izgalmasnak találta felesége kutatásait, hogy abbahagyta saját, sok eredményt hozó kutatási témáját és csatlakozott Marie sugárzó anyagainak a tanulmányozásához. [1]

Marie Curie-nek a témából készült disszertációja nagyon rövid időn belül magyarul is megjelent Zemplén Győző fordításában a Matematikai és Fizikai Lapok-ban, a Matematikai és Fizikai Társulat kiadásában Budapesten az 1904. és 1905. évi számokban, öt részletben, majd könyvben is kiadták. Az idézetek zöme ebből származik, megtartva a korszak eredeti helyesírási szabályait.

Milyen ismeretekre lehetett támaszkodni?

Gyakorlatilag készen álltak a klasszikus mechanika, a hőtan és az elektrodinamika törvényei. A kémikusok nagy valószínűséggel állították és sok fizikus is elfogadta, hogy az anyag atomokból áll. El tudták különíteni az elemeket, a vegyületeket és a keverékeket. Rájöttek, hogy az egyes elemek atomjai egymástól tömegükben különböznek, így meghatározták az egymáshoz viszonyított tömegeket, az úgynevezett relatív atomtömegeket, amelyek segítségével Mengyelejev felfedezte a periódusos rendszert, amiben azonban még sok üres hely volt.

A 19. század végére ismertté vált Maxwell elmélete, majd Hertz kísérletei nyomán felfedezték az elektromágneses hullámokat, és hogy a fény is ebbe a családba tartozik. Majd a

század végén további sugárzásokat fedeztek fel, mint például a Röntgen-sugarak, a foszforeszkálás és a fluoreszcencia tanulmányozása következett, a katódsugárzás tanulmányozása révén felfedezték az elektront, ismert volt a csősugárzás. Felfedezték a színképelemzést is, de csak mint az elemek azonosítására szolgáló egyik módszert, „vonalkódot”, amelyet használtak, de azok létrejöttéről nem volt tudomása a kor tudósainak.

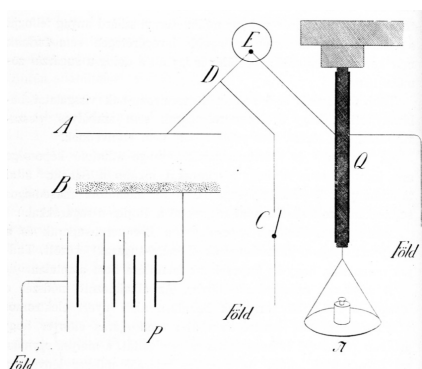
Mérési lehetőségek

A radioaktivitás felfedezését követően az első fontos probléma a különböző mennyiségi összehasonlításokra lehetőséget adó mérési módszerek kidolgozása volt. A sugárzás erősségére például az általa a levegőben okozott elektromos vezetőképesség (ionizáció) mérése alapján lehet következtetni. Marie Curie ezt a módszert alkalmazta.

„Az alkalmazott módszer a levegőnek radioaktív anyagok behatolása alatt nyert elektromos vezetőképességének leméréseben áll, ezen eljárás előnye, hogy gyorsan végezhető és hogy számokat szolgáltat, a melyek egymással összehasonlíthatók.” [2]

Az e célra konstruált „műszer” lényegében egy lemezes kondenzátor volt, és az aktív anyagot az egyik lemezre vitték föl egyenletesen elosztva por alakban. A kibocsátott radioaktív sugárzás vezetővé tette a lemezek közti levegőréteget. A mérési feladat ez után ennek a vezetőképességnek a lemérése volt.

Állandó áramforrás használatával feltöltöttek egy lemezes kondenzátort, majd kompenzálták ennek a feszültségét, amit egy elektrométer jelzett. Ehhez egy piezoelektromos kvarckristályt használtak. Amikor a radioaktív por a lemezek közé került, akkor a kvarckristályt fokozatosan terhelték. Minden pillanatban kompenzáció állt fenn. Így lemérhető volt az ionizált levegőn keresztül a kondenzátoron áthaladó áramerősség, ami minden esetben egy állandónak mondható értékhez közelített. Marie Curie ezt az áramerősséget tekintette a radioaktivitás mértékének. A mért áramerősségek 10^{-11} A nagyságrendűek voltak. Ezt a rendkívül kicsi (pikoamper nagyságrendű) áramok pontos mérésére alkalmas mérőberendezést Pierre Curie készítette. A Curie fivérek (Pierre és Jaques) fedezték fel a piezoelektromosságot 1880-ban. Bizonyos kristályokon (kvarc, kálium-nátrium-tartarát $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) meghatározott tengelyek mentén alkalmazott nyomás elektromos töltések megjelenését okozza a kristály felületén. A következő évben felfedezték ennek fordítottját, az elektrostrikiót: amikor elektromos áramot alkalmaztak a kristályon, az bizonyos tengelyek mentén megváltoztatta méretét. A d piezoelektromos állandó nagyságrendje $(1-100) \times 10^{-12}$ As/N, kvarc esetében $2,25 \times 10^{-12}$ As/N.



2. ábra: Marie Curie készüléke.

Ezzel a módszerrel Marie Curie megmérte egy sor fém, só, oxid és ásvány sugárzó képességét.

A kondenzátor minden esetben légköri nyomáson volt, vagyis állandóak voltak a körülmények. Marie Curie doktori értekezésében bemutatja a műszer rajzát (2. ábra), néhány grafikont, és a különböző, általa vizsgált radioaktív anyagok esetében mért telítési áramerősség értékeket. Ezek alapján megállapította, hogy a radioaktivitás atomos jelenség kell hogy legyen.

AB lemezes kondenzátor. Az aktív anyag a B lemezen terült el por alakjában. A B lemez magas potenciálra került, míg az A földelt a CD drót segítségével. Az A lemez potenciálját az E elektrométer jelezte. Ha a C kapcsolóval megszakították a földdel való kapcsolatot, akkor az A lemez feltöltődött, ami kitérítette az elektrométert. A kitérés mértéke arányos az áramerősséggel, ennek mértékéül szolgálhat. Előnyösebb volt azonban a mérést úgy végezni, hogy az A lemez töltését kompenzálták úgy, hogy az elektrométer ne térjen ki, erre a Q piezoelektromos kvarckristályt szolgált. Ennek egyik fegyverzete az A lemez, a másik pedig a földhöz volt kötve. A kvarckristályt húzásnak vetették alá úgy, hogy a π tálkába súlyokat helyeztek. A húzás fokozatosan történt, és mérni kellett annak idejét. Tehát adott idő alatt mérték le a kondenzátoron áthaladt töltést, ami az áramerősség. Az áramerősség értéke telítésbe megy. Marie Curie cikkeiben és doktori dolgozatában sok, a fenti eszközzel elvégzett mérés eredményét lehet megtalálni [2] [3].

1. táblázat Telítési áramerősségek

Anyag	Telítési áramerősség 10^{-12} A
Szenet tartalmazó urán	24
Fekete urán-oxid (U_2O_5)	27
Zöld urán-oxid (U_3O_8)	18
Ammónium-, kálium- vagy nátrium - uránátok	12
Uránszurokérc Johanngeorgenstadtból	83
Joachimsthalból és Pzibránból	67
Tórium-szulfát	8

Néhány konkrét mérés

A mérésben alkalmazott kondenzátor lemezeinek átmérője 8 cm, távolsága 3 cm volt. A lemezek között 100 V feszültség volt. A kondenzátoron áthaladó áram abszolút értékét mérte Marie Curie. A következő táblázat az egyes anyagok esetén mért áramerősséget adja meg (1. táblázat).

Az elvégzett munkáról szóló dolgozatában több fontos megállapítás szerepelt.

- Minden megvizsgált uránvegyület aktív volt, és általában annál aktívabb, minél több uránt tartalmazott.
- A tórium és vegyületei is emittálnak ionizáló sugárzást. A radioaktivitás tehát atomi tulajdonság, az urán és a tórium atomok tulajdonsága.
- Egyes uránérczek aktivitása nagyobb, mint a fém uráné és uránoxidé.

Például a csehországi Joachimsthalból származó uránérc fajlagos aktivitása háromszor nagyobb, mint a fém urán

ugyanezen paramétere. Mivel a radioaktivitás atomi tulajdonság, ebből következik, hogy egy érc aktivitása csak akkor lehet nagyobb, mint a tiszta uráné, ha az érc más radioaktív elemet is tartalmaz. Ezzel a megállapítással Marie Curie felfedezte az urán radioaktív bomlástermékeit. Persze a bomlási sorok megértéséhez még várni kellett néhány évet. [3]

Egyik korai közleményében így írt a jelenségről:

„Ezért úgy gondoljuk, hogy az uránszurokércből általunk kivont anyag olyan fémeket tartalmaz, amelyet eddig még nem írtak le, és analitikai tulajdonságai hasonlóak a bizmut tulajdonságaihoz. Ha ennek az új fémnek a léte igazolást nyer, javasoljuk, hogy polóniumnak nevezzék el egyikünk hazájának neve után.” [4]

Marie Curie állítása igazolására előállította a khalkolit $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ nevű uránásványt mesterségesen is, amint arról disszertációjában írt. Tapasztalatait a következőkben foglalta össze:

„Az így előállított khalkolit aktivitása teljesen normális, összetételének megfelelő.”

„Azóta igen valószínűvé lett, hogy a szurokércz, a khalkolit és autunit nagy aktivitásának oka abban keresendő, hogy igen kis mértékben valami nagyon radioaktív anyagot tartalmaznak...” [2]

A rádium előállítása

A rádium felfedezéséről és előállításáról Marie Curie a következőképp számolt be az első ezzel kapcsolatos írásában:

„Az általunk felfedezett új radioaktív anyag kémiai tulajdonságait tekintve, a szinte teljesen tiszta báriumhoz hasonlít.”

„Az első anyagok, amelyeket klór-hidrát formájában kaptunk, a fém uránénál 60-szor nagyobb radioaktivitást mutattak (a radioaktivitás intenzitását a levegő vezetőképességének nagyságából határoztuk meg, egy kondenzátoros berendezésben). Ezeket a kloridokat vízben feloldottuk, és egy részét alkohollal leválasztottuk. Az így kicsapódott rész sokkal aktívabbnak mutatkozott, mint az oldatban maradt rész. Ezt a módszert alkalmazva és a műveletet többször egymás után elvégezve, egyre aktívabb kloridokat kaptunk. Az utolsó klorid frakció, amit kaptunk, 900-szor aktívabbnak bizonyult, mint az urán.”

„M. Demarçay talált a spektrumban egy olyan vonalat, amely egyik ismert elemre sem jellemző. Ez a vonal szinte alig látszik, ha az uránnál 60-szor nagyobb aktivitású kloridot vesszük, azonban a dúsított kloridnál, melynek aktivitása 900-szor nagyobb az uránénál már jól kivehetővé válik. Tehát e vonal intenzitása a radioaktivitással nő, amiből arra következtethetünk, hogy a vonal az anyagunk radioaktív részétől származik.” [3]

Az idézetből látható, hogy Marie Curie teljes mértékben tisztában volt kora új kémiai ismereteivel, a periódusos rendszer jelentőségével, az analitikai kémia elválasztási szabályaival. Az egyre nagyobb koncentrációban előállított új anyag aktivitás változásának vizsgálatát mintegy újfajta nyomjelzéses módszerként kezdte el alkalmazni az akkor már ismert színképlemezés mellett.

Az új elemek

Marie Curie dolgozatában leírja megdöbbentő tapasztalatát a polóniummal kapcsolatban, miszerint aktivitása csökken, ami a többi esetben nem volt megfigyelhető. Ez számunkra már természetes, hiszen tudjuk azt, hogy a felezési idők igen tág határok közt változnak, de akkor még ismeretlen volt ez a jelenség. A Marie Curie által előállított polónium 210-es

izotóp felezési ideje 138,4 nap, és a sor utolsó tagja. Megemlíti azt is, hogy voltak, akik kételkedtek benne, hogy ténylegesen új elemről lenne szó, a jelenséget inkább valamiféle indukált hatásnak tulajdonították.

Az a tény is furcsa lehetett Marie Curie számára, ami a rádium esetében bármely vegyülete előállításánál megfigyelhető volt, hogy aktivitása hónapokon keresztül növekszik, majd a végső „öt-hatszor akkora, mint a kezdetbeli érték”. Ezzel kapcsolatban több mérésorozatot is végzett. Számunkra már természetes ez a tény is, hiszen a rádium bomlástermékei is radioaktívak, melyek a frissen előállított vegyületekben még nincsenek benne.

Marie Curie megjegyezte, hogy az áramerősség méréséhez használt kvarckristály terhelése maximum 4000 g lehetett. Míg az urán esetében csak grammokra volt szükség a terheléshez, ebben az esetben már három nagyságrenddel nagyobb terhelést kellett alkalmaznia. Sőt ekkora értékek esetében már nem is használhatta azt a módszert, hogy a teljes kondenzátorlemeznyi területre szétteríti a vizsgálandó anyagokat.

Marie Curie komplett kémiai analízist végzett, megállapította a rádium relatív atomtömegét (atomsúlyát), mivel ez volt a kor szokása új elemek felfedezésénél, és vizsgálta vegyületeit.

„Kémiai tulajdonságai alapján a rádium az alkáliföldek fémjei közé sorolható.”

„A rádiumsók sötétben mind világítanak.

Kémiai tulajdonságaikat tekintve, a rádiumsók mindenben hasonlóak a báriumokhoz. A rádiumchlorid azonban kevésbé oldható, mint a báriumchlorid, a nitrátoknak vízben való oldhatósága, úgy látszik, nem nagyon különböző.

A rádiumsók állandó önkéntes hőkibocsátás forrásai” [2]

A radioaktív sugárzás tulajdonságai

Disszertációjában Marie Curie részletesen kitért a radioaktív sugárzás tulajdonságainak vizsgálatára a különböző anyagok esetében. A kor szokásos vizsgálati eljárása volt a fényképezőlemezen okozott nyomok vizsgálata. Ezzel kapcsolatban a következőket írta:

„Az urán, a tórium, a polónium, a rádium és ezek vegyületei a levegőt elektromos vezetővé teszik és a fotolemezeken nyomot hagynak. Mindkét hatás sokkal erősebb a polónium és a rádium esetében, mint az uránnál és a tóriumnál. A rádiummal és a polóniummal már fél perces exponálási idő után kielégítő nyomokat kapunk a fotolemezeken; míg az urán és a tórium esetében ugyanolyan eredmény eléréséhez több órára van szükség.” [2]

Marie Curie vizsgálta a különböző forrásokból származó és különböző típusú sugárzások hatótávolságát levegőben, illetve különböző vastagságú fémlemezek segítségével, mellyel azok energiája arányos. Megállapította, hogy a sugárzás a vastagsággal exponenciálisan gyengül.

Vizsgálta azt is, hogy az egy adott anyagból kilépő különböző típusú sugárzások (alfa, béta és gamma) számaránya miként változik az összeshez viszonyítva. Sok ilyen mérésorozat is található az értekezésben. Például a következő mérésorozatban egyes rádiumvegyületek aktivitását vizsgálta az uránhoz képest. A mérés a 2. ábrán vázolt készülékkel történt a telítési áram meghatározásával. α -val jelölte a sugárzó anyag aktivitását, egységül az uránt választva. Egy 0,01 mm vastagságú alumíniumlemezen áthaladó sugárzás százaléka (2. táblázat):

Ezzel a módszerrel az alfa részecskéket szűrte ki, melyek természetesen százalékosan azonosak voltak a minta aktivitásától függetlenül. Ez napjainkban számunkra teljesen triviális, de abban az időben még ismeretlen volt a radioaktív sugárzás mibenléte, keletkezési mechanizmusa. Ezért az ilyen jellegű mérések, méréssorozatok nagyon fontosak voltak.

Néhány esetben Marie Curie megpróbálta értelmezni is a tapasztaltakat. Mint jelen cikk elején olvasható, az atomok létezését abban az időben még nem minden tudós fogadta el, így fontos megállapítás volt az, hogy a spintariszkópban megjelenő fényfelvillanásokat egyértelműen atomi folyamatként értelmezte.

2. táblázat Alumíniumlemezen áthaladó sugárzás százaléka

Vegyület	a	%
Rádiumos bárium-klorid	57	32
Rádiumos bárium-bromid	43	30
Rádiumos bárium-szulfát	10000	32

Megállapította, hogy a túltelített vízgőz lecsapódik a sugárzás hatására, mivel a részecskék kondenzációs magként szerepelnek. Ez a tény képezte a későbbi Wilson kamra működésének alapját. „A rádium hatása alatt könnyen előidézhető a túltelített vízgőz lecsapódása, tökéletesen úgy, mint Röntgen- vagy katódsugarak hatása alatt.” [2]

Méréssorozatot végzett különböző folyadékok esetében, hogy ezekben is okoz-e a sugárzás ionizációt, nem csak a gázokban. Telítési áramokat mért széndiszulfid, petroléter, benzín stb. esetében.

Leírta a termolumineszcencia jelenségét. Magyarítani nem tudta, mindössze annyit jegyez meg, hogy bizonyos kémiai vagy fizikai változás következhet be.

Megállapította, hogy a hőmérséklet széleskörű változása nem befolyásolja a radioaktivitás jelenségét.

Leírta, hogy 1 mól rádium óránként annyi hőt fejleszt, mint amennyi 1 g hidrogén elégetésekor felszabadul!

Vizsgálta azt is a cikk elején leírt kísérleti berendezésben, ha különböző vastagságban teríti szét a különböző vizsgálandó uránvegyületeket, miként változik az ionizációs áram erőssége, amely szintén érdekes tapasztalat lehetett.

„Az alkalmazott urániumréteg vastagságának befolyása csekély, feltéve, hogy a rétegzés folytonos. Ime néhány idevágó kísérleti adat:” (3. táblázat)

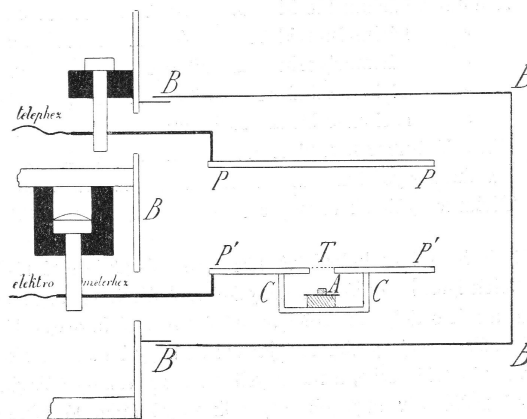
3. táblázat Az uránréteg vastagsága és a telítési áram

	A réteg vastagsága (mm)	I (pA)
Urániumoxid	0,5	27
Urániumoxid	3,0	30
Ammoniumuranát	0,5	13
Ammoniumuranát	3,0	14

„Ebből ara következtethetünk, hogy az anyag maga, a mely az urániumsugarakat kiadja, igen erősen abszorbeálja ezeket, minthogy a mélyebb rétegekből kiinduló sugarak már nem tudnak jelentékeny hatásokat létesíteni.”

„Urániumvegyületeknél az abszorpció ugyanaz, akármilyen vegyületet alkalmazunk, a mi azt a véleményt kelti bennünk, hogy a különböző vegyületek ugyanoly természetű sugarakat bocsátanak ki.” [2]

Marie Curie a polónium behatóbb tanulmányozásából rájött, hogy csak alfa sugarakat bocsát ki (az általa előállított 210-es izotóp, mely egyben a sorozat utolsó radioaktív tagja), így az alfa sugarak vizsgálatára különösen alkalmas a 3. ábrán látható készülékkel.



3. ábra: A polónium alfa sugárzásának vizsgálata

PP és P'P' kondenzátorlemez, melyek a BBBB földelt fémládába voltak elhelyezve. A T egy fémháló és az A aktív anyag CC fémdobozban volt elhelyezve. Az A mintára így különböző lemezeket lehetett elhelyezni különböző távolságokban és vizsgálni az áthaladó sugárzás százalékát.

Egyik méréssorozat esetében 0,01 mm-es alumíniumlemez(ek) hatását vizsgálta (4. táblázat):

4. táblázat Alumíniumlemezen áthaladó sugárzás százaléka

AT távolság (cm)	3,5	2,5	1,9	1,5	0,5
Egy lemez által átbocsátott sugarak százaléka	0	0	5	10	25
Két lemez	0	0	0	0	0,7

Sőt, elvégezte a kísérletsorozatot olyan polónium készítménnyel is, amelyik már 3 éve készült, és mint írja, aktivitása erősen lecsökkent. Megállapította az volt, hogy akkor is hasonló százalékos eredményeket kapott. Ez számunkra ismét csak természetes, hiszen az alfa részecskék energiája minden esetben azonos, de ezt a tényt csak az ilyen és hasonló vizsgálatok eredményeképp lehetett kimondani.

Megállapította, hogy a sugárzás egyenes vonalban terjed – a sugárzás útjába tett test árnyéka éles, melyhez sok fotófelvételt készített.

Vizsgálta a sugárzás távolságfüggését is pontszerűnek tekinthető forrás esetében és megállapította, hogy az $1/R^2$ – es. Ehhez az alábbi méréssorozatot végezte, majd a 3. oszlopban látható egyszerű számítást (5. táblázat).

A természetben szép számmal megtalálható instabil atommagok által kibocsátott α -, β - és γ -sugárzások mágneses tulajdonságainak tanítása során az ő doktori értekezésében szereplő ábrát (4.ábra), vagy ahhoz nagyon hasonlókat bemutatni a témával foglalkozó tankönyvekben. A leírás szerint az ABC fényképezőlemezre az R rádiumot egy P ólomtömbbe vájt kis mélyedésbe elhelyezve és annak

környezetében erős homogén mágneses teret létesítve, amely a rajz síkjára merőleges, a preparátumból kiinduló sugarak különválnak.

A mágneses mezőbe az indukcióvonalakra merőlegesen érkező töltött testek körpályán mozognak a Lorentz erő hatására.

Marie Curie dolgozatában utalt arra is, hogy míg az α -részecskék energiája meghatározott érték, addig a β -részecskék esetében ez közel sincs így. Ezt jelzi az ábrán is, hiszen a β -sugarak mágneses mezőben való eltérülésének érzékeltetésére több különböző sugarú körvet rajzolt.

„A β -sugarak ugyanúgy terelődnek el, mint a katódsugarak és a rajzsíkban kör alakú görbékbe mennek át, melyek sugara tág határok közt ingadozik.”

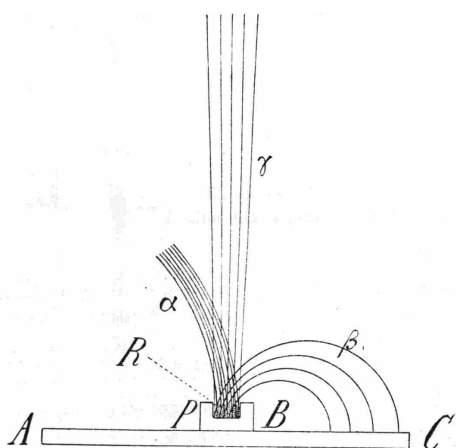
„valóságos folytonos spektrum” [2]

5. táblázat A távolságfüggés

d (cm)	i	$(i \times d^2) \times 10^{-3}$
10	127	13
20	38	15
30	17,4	16
40	10,5	17
50	6,9	17
60	4,7	17
70	3,8	19
100	1,65	17

Az értekezésében olvasható Walter Kaufmann (1871-1947) vizsgálata, aki a béta részecskéket és a katódsugárzást is tanulmányozta. A β -részecskék vizsgálatához szükséges rádiumot a Curie házaspártól kapta. Marie Curie dolgozatának bevezetőjében leírta, hogy több fizikusnak küldtek mintákat kifejezetten azért, hogy minél többen foglalkozhassanak a radioaktivitás témakörével, és kialakulhasson az új tudományterület.

Kaufmann azt állapította meg, hogy a β -sugárzás a katódsugárzáshoz hasonló természetű, ellenben a fajlagos töltésre (e/m , ahol e részecske töltése, m pedig a tömege) más értéket kapott (6. táblázat).



4. ábra: ábra. A mágneses mező hatása a radioaktív sugárzásra.

6. táblázat A katódsugarak fajlagos töltésének változása sebességük függvényében.

e/m elektromágneses egységben	v cm/s - ban
$1,865 \times 10^7$	$0,7 \times 10^{10}$ katódsugaraknál
$1,31 \times 10^7$	$2,36 \times 10^{10}$ rádiumsugaraknál
$1,17 \times 10^7$	$2,48 \times 10^{10}$
$0,97 \times 10^7$	$2,59 \times 10^{10}$
$0,77 \times 10^7$	$2,72 \times 10^{10}$
$0,63 \times 10^7$	$2,83 \times 10^{10}$

Kaufmann mérésének leírása 1901-ből Marie Curie interpretációjában:

„...a rádiumsugaraknak igen vékony kévét elektromos és mágneses tér egyidejű hatásának vetette alá, a két tér homogén, irányuk ugyanaz volt (merőleges a sugár eredeti irányára). A sugárzó forrással ellentett oldalra, a terek határán túl, az eredeti sugárirányra merőlegesen elhelyezett fényképező lemezen hagyott benyomás egy görbe, melynek minden pontja az eredeti összetett sugárkéve egy-egy sugarának felel meg. A legnagyobb áthatoló képességű és legkevésbé eltérített sugarak azok, a melyeknek sebessége a legnagyobb.” [2]

Az összetartozó adatok kiszámítása, a számítás menete a következőképp írható le mai jelöléseinkkel:

Az elektromos mező hatása:

$$E \cdot e = m \cdot a$$

innen

$$a = \frac{E \cdot e}{m}$$

beírva

$$s = \frac{a}{2} t^2 = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{v^2 \cdot m}{2 \cdot E \cdot e}$$

innen

$$\frac{e}{m} = \frac{v^2}{2 \cdot E \cdot s}$$

ahol E a kondenzátorban lévő elektromos mezőt jellemző elektromos térerősség, az a mező hatására létrejött gyorsulás, s a kondenzátorlemezre merőleges elhajlás, v pedig a kiválasztott sugárkévében lévő β -részecskék sebessége.

A mágneses mező hatása:

$$e \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad \text{innen} \quad \frac{e}{m} = \frac{v}{B \cdot R}$$

ahol B a mágneses mezőt jellemző indukcióvektor nagysága, R pedig a mező hatására kialakuló körpálya sugara.

Mindkét esetben kifejeztük e/m értékét, amelyek adott kéve esetében azonosak, így ezt felírva

$$\frac{v^2}{2 \cdot E \cdot s} = \frac{v}{B \cdot R} \quad \text{innen} \quad \text{a sebesség} : v = \frac{2 \cdot E \cdot s}{B \cdot R}$$

majd az adott sebességhez tartozó e/m érték is meghatározható.

„Ebből az következnék, hogy a részecske m tömege a sebesség növekedésével növekszik. „[2]

szól Kaufmann és Marie Curie interpretációja. Einstein ezzel foglalkozó cikke 1906-ban jelent csak meg, melyben a mennyiségi viszonyok is szerepelnek. Einstein azonban nem tudott a fent említett mérésekről, pedig azok már akkor magyar nyelven is megjelentek!

A radioaktivitás felfedezését követően komoly feladat volt a keletkező részecskék energiájának pontosabb meghatározása. A rádium és a polónium felfedezését követően a Curie házaspár különböző módokon próbálta ezt megtenni. Az első adatok az α -részecskékre vonatkoztak. A mágneses eltérésekből, és egyéb, mint például a kalorimetrikus mérések alapján látszott, hogy a kémiai reakciók energiáival összehasonlítva óriási energiák szabadulnak fel a radioaktív folyamatok során.

Az könnyen észrevehető volt, hogy a rádiumvegyületek mindig kissé melegebbek, mint a környezetük. Ha egy ilyen vegyületet kaloriméterbe helyeztek, megállapítható volt, hogy minden gramm rádium kb. 588 J hőt fejleszt óránként. Ezt az értéket elosztva a keletkező α -részecskék számával, meg lehet határozni egy részecske energiáját. A bomlások számának a meghatározása egy úgynevezett spintariszkóp segítségével történt.

A spintariszkóp egy kis méretű doboz, amelynek az alját belülről cink-szulfiddal vonták be, míg a másik oldalára egy lencsét helyeztek. A lencse és a cink-szulfid felület közé egy tüt helyeztek, amelyre kis mennyiségű radioaktív anyagot vittek fel. A tőről a cink-szulfid felületre került α részecskék a nagyítón keresztül megfigyelhető scintillációt, fényfelvillanást hoznak létre. Figyelembe kell venni azt is, hogy a rádium bomlása során három olyan bomlási termék, leányelem is felhalmozódik, amelyek szintén α -részecskéket bocsátanak ki. A rádium bomlási sorában keletkező α -részecskék energiája körülbelül $1,1 \cdot 10^{-12}$ J.

A korabeli kutatók megdöbbenek az imént kiszámolt energiák láttán. Hiszen a kémiai reakciók esetében elemi átalakulásonként csak 10^{-18} J nagyságrendű energia szabadul fel átlagosan.

A radon és bomlástermékei (emanációk)

A Curie házaspár munkája közben azt tapasztalta, hogy abban a helyiségben, ahol a radioaktív anyagokkal dolgoztak,

minden mintha radioaktívvá vált volna. Kérdés, hogy mi lehetett ez, netán a többi anyag is radioaktívvá vált? A válasz az, hogy mindhárom sorozat esetében a bomlások során keletkezik a radonnak valamelyik izotópja, mint azt mi ma már tudjuk. Ezeket nevezték emanációnak, a kifejezés jelentése: kipárolgás. Ezeknek a gázoknak különböző a felezési ideje. Mint gáz, a diffúzió során eljut a laboratórium legkülönbözőbb részébe, ahol a felületekre tapadhat és e közben tovább bomlik. Vagyis a sorban a következő radioaktív izotóp keletkezik. A jelenség vizsgálatához Marie Curie a következő kísérleteket végezte el:

„Rádiumos oldat beforrasztott edénybe van zárva, felnyitjuk az edényt, az oldatot csészébe töltjük és megmérjük aktivitását.” (7. táblázat)

7. táblázat Nyitott edény

Aktivitása közvetlenül az áttöltés után	67
Két óra múlva	20
Két nap múlva	0,25

„Rádiumos báriumchlorid oldat, mely szabad levegőn állott, üvegcsőbe töltünk, a csövet leforrasztjuk és a cső sugárzását lemérjük.” (8. táblázat)

8. táblázat Zárt edény

Aktivitás közvetlenül a leforrasztás után	27
2 nap múlva	61
3 nap múlva	70
4 nap múlva	81
7 nap múlva	100
11 nap múlva	100

Az első esetben a radon eltávozhat, a másodikban nem, így ott megjelennek a bomlási sor további tagjai, ezért nő az aktivitás.

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy Marie Curie úttörőmunkát végzett a radioaktív anyagok és a radioaktív sugárzás igen beható és alapos tanulmányozása terén, megállapításainak jelentős része ma is helytállónak bizonyult. Munkássága nyomán egy új tudományág jött létre, amely napjainkban is sok érdekes új felfedezéssel, illetve alkalmazási lehetőséggel szolgál.

Irodalomjegyzék

- [1] Curie, Eva (1962): *Madame Curie*. Gondolat Könyvkiadó. Budapest.
- [2] Sklodowska Curie, Marie (1904): *Radioaktív anyagokra vonatkozó vizsgálatok (fordította: Zemplén Győző) Franklin-Társulat, Budapest, 1906.* (Eredeti. Mme S. Curie 1904-es könyve, amely az 1903-as doktori disszertációján alapult.)
- [3] Vértes Attila (Szerk.) (2009): *Szemelvények a nukleáris tudomány történetéből*. Akadémiai Kiadó.
- [4] Curie, P., Curie, Mme P. (1898a) *Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende, Compt. Rend., 127, 175.* (Az uránszurokérc egyik radioaktív anyagáról.)
- [5] Curie, P., Curie, Mme P., Bémont, G (1898b) *Suer une nouvelle substance fortement radio-active, contenues dans la pechblende, Compt. Rend., 127, 11215.* (Beszámoló egy új, erősen radioaktív anyagról, amely az uraninitben található.) <http://www.kfki.hu/chemonet/hun/olvaso/histchem/viz/curie.html>