



Hosztafi Sándor

hosztafi.sandor@semmelweis.hu

# Marie Curie doktori dolgozata és az 1903-as fizikai Nobel-díj

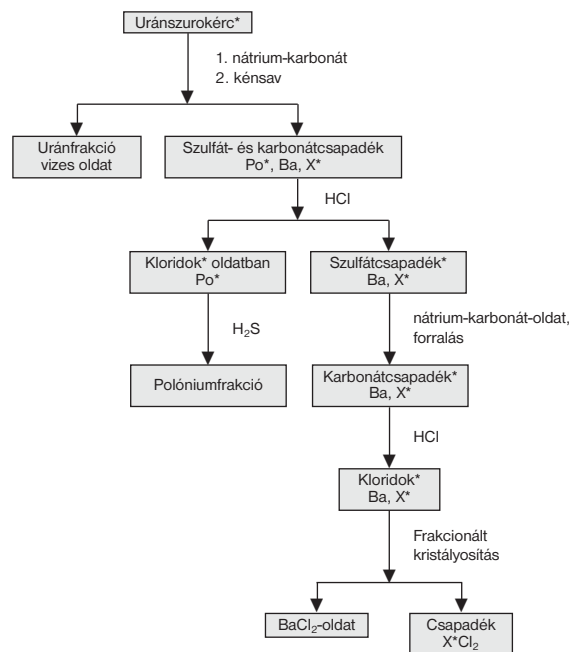
## Második rész

### Egy újabb radioaktív elem: rádium

A polónium izolálásával kapcsolatos frusztráció a Curie házaspár hamar túltette magát, mivel egy újabb felfedezést tett: talált még egy új, erősen radioaktív elemet. A szurokérc lúgos, nátrium-karbonátos feltárásakor a karbonátcsapadékot kénsavval kezelték, és ekkor a szurokércben található bárium szulfátcsapadék formájában levált. Meglepő módon a csapadék intenzív radioaktivitást mutatott, ezért újra leválasztották a bárium-karbonátot. Ennek a radioaktivitása változatlanul intenzív volt, majd sósavas kezeléssel vízoldható bárium-kloriddá alakították és a vizes oldatot szárazra párolták. (Előzetes vizsgálatok szerint az új elem ugyanolyan kémiai és fizikai tulajdonságokkal rendelkezett, mint a bárium, kén-hidrogénnel vagy ammóniával nem adott csapadékot, a szulfát- és karbonátos egyáltalán nem oldódott vízben.) A radioaktív bárium tehát a bárium-klorid és az X elem kloridjának keverékében jelent meg. Mivel a bárium-klorid jól oldódik vízben, viszont vizes alkoholban vagy tömény sósavban rosszabb az oldékonysága, ezért az új elem kloridsóját a bárium-kloridtól frakcionált kristályosítással lehet elválasztani. Miután az új radioaktív elemet a szurokérc báriumfrakciója tartalmazta, megvizsgálták néhány, báriumot tartalmazó ásványt, de egyik sem volt radioaktív. Marie Curie emellett bebizonyította, hogy a természetes bárium-klorid is inaktív: 50 kg bárium-kloridot többször átkristályosított, végül 10 g sót kapott, amely a kondenzátoros mérés szerint inaktív volt.

A radioaktív bárium-klorid vízből történő átkristályosításával viszont gyorsan figyelemre méltó eredményeket értek el. Már az első hidrogén-klorid-só 60-szor aktívabb volt, mint a standard fémurán. A leszűrt kristályokat újra feloldották vízben, majd próbálkoztak az alkoholos kicsapással. A folyamatot többször ismételték, és azt tapasztalták, hogy a kristályos só jóval aktívabb, mint az anyalúgolat. Az újabb átkristályosítások egyre magasabb aktivitású frakciókat eredményeztek (3. ábra). Bebizonyították, hogy az új elem kloridsójának az oldhatósága kisebb, mint a bárium-klorid oldhatósága. Végül olyan preparátumot kaptak, amely 900-szor nagyobb aktivitást mutatott, mint az urán. Ezen a ponton viszont a kísérleteket be kellett fejezni, mivel a szurokérc elfogyott.

Nagyon lényeges volt, hogy az új elem létezését a spektroszkópiai vizsgálatok is igazolták. (Az Akadémia csak így fogadta el az új elem bejelentését és a publikációt.) Eugène Demarçay a radioaktív bárium-klorid spektrumában néhány olyan vonalat talált, melyek nem rendelhetők más ismert kémiai elemekhez. A legintenzívebb vonal hullámhossza 3814,8 Å volt, és a vonal intenzitása nőtt, ha a minta radioaktivitása is magasabb lett. In-



3. ábra. A rádium izolálása

dokoltnak látták, hogy a fenti eredményekre alapozva az új elem az alkáliföldfémek csoportjába sorolható be és két vegyértékű. Az új elemet rádiumnak nevezték el, és először december 18-án található bejegyzés a laboratóriumi jegyzőkönyvben ezzel a névvel. A dolgozat december 26-án jelent meg a *Comptes rendus*-ben, a szerzők P. Curie, M. Curie és G. Bémont voltak [4,5,12]. Demarçay a dolgozatot követő beszámolóban ismertette a spektroszkópiai vizsgálatok eredményét. Marie Curie tudatában volt, hogy az új elemnek meg kell határozni az atomtömegét, valamint tiszta állapotban is elő kell állítani. Az atomtömeg meghatározására a rádium-kloridot ezüst-nitráttal reagáltatta, majd az ezüst-klorid-csapadékot gravimetriásan mérte. Az első mérést az uránnál 227-szer aktívabb preparátummal végezte, és a számított rádium-atomtömeg 142,8 volt, ami arra utalt, hogy a mintában több a bárium, mivel ennek az atomtömege 137,3 [12]. 1899-ben a 600-szoros uránaktivitású preparátumra 146 atomtömeget mért [13]. A következő évben mért érték 174 [14], míg 1902-ben egyre tisztább rádium-kloridot sikerült előállítani, és a 120 mg-os minta már spektroszkópiai vizsgálatok alapján már minimális bárium-kloridot tartalmazott. Az atomtömeget meghatározva Marie Curie a rádiumra  $225 \pm 1$  értéket talált [15]. 1907-ben már 400 mg tiszta rádium-kloriddal rendelkezett, és az atomtömege 226-ot kapott, amely már pontos érték [16]. A 120 mg minta radioaktivitását



Marie Curie  
a laboratóriumban  
Henri Manuel  
felvétele

már a P. Curie-féle piezoelektromos mérlegen már nem lehetett megmérni, óvatos extrapolációval a rádium sugárzásának intenzitására egymilliószoros uránaktivitást számoltak. Később kiderült, hogy a becslés majdnem pontos volt, a tényleges érték  $1,2 \times 10^6$ .

A négy radioaktív elem sugárzásának intenzitását összehasonlították a fényképezőlemez módszerrel is. A polónium és a rádium már egy perc alatt feketedést idézett elő a lemezen, az urán és a tórium esetén néhány órás expozíció volt szükséges. A rádium sugárzása hasonlított a röntgensugárzás azon tulajdonságára, hogy a bárium-tetracianoplatinát komplexet besugározva a komplex fluoreszcenciát mutat. A rádiumpreparátumra vékony alumíniumfóliát tettek, majd ezen helyezték el a komplexet. Sötétben a platinakomplex fluoreszkál, és bár ez gyenge fényforrás, a sugárzás hatására látszólag energiaforrás nélkül működik.

1898 végén a bécsi egyetem professzora, Eduard Süss (Suess) segítségével az osztrák kormány 100 kg szurokércet (amelyből kivonták az uránt) küldött a Curie házaspárnak [4], majd egy évvel később újabb 1000 kg szurokércet küldött. Mindkét szállítmány ingyenes volt, csak a szállításért kellett fizetni, de a fizetést adományokból és alapítványi segítséggel megoldották. A következő években Marie Curie és André Debierne kb. 20 tonna szurokércet dolgozott fel. Az első 100 kg feldolgozását 20 kg-os tételekben oldották meg a főiskola műhelyében, de később a Párizshoz közeli Nogent-ban ipari léptékben megoldották a szurokérc feltárását, és Marie Curie már koncentrált polónium- és rádiummintákat kapott. A gyár tervbe vette a rádium előállítását orvosi célokra, ezért 1904-ben együttműködési szerződést kötött a Curie házaspárral.

A Curie házaspár a továbbiakban, a két új radioaktív elem felfedezésének bejelentése után, a rádium és a polónium sugárzásának fizikai tulajdonságait vizsgálta. 1899 végén számoltak be a *Comptes rendus*-ben az indukált radioaktivitásról [17]. Az erősen sugárzó rádium mellett a cink- és az alumíniumlemez radioaktív lett, de ez az aktivitás különbözött a rádium radioaktivitásától. Végeztek olyan kísérleteket is, amikor a nagy aktivitású bárium-kloridot tartalmazó rádium-klorid-oldat aktivitását megmérték, majd az anyagot leforrasztott üvegcsőbe zárták. Ekkor az aktivitás fokozatos növekedését tapasztalták. Ugyanekkor egy német kutató, F. Dorn szintén megfigyelte, hogy a rádium bomlásakor keletkező radioaktív gáz a rádiumemanáció, amelyről később kiderült, hogy a radon 222 tömegszámú izotópja, felezési ideje 3,8 nap. A Curie házaspár ez esetben nem ismerte fel, hogy új radioaktív elemmel van dolga.

Rutherford az indukált radioaktivitáshoz hasonló jelenséget észlelt a tóriumugárzás vizsgálata során, amit gerjesztett radioaktivitásnak nevezett [4]. Rutherford rájött, hogy a tórium bomlásakor keletkező gáz, a tóriumemanáció okozza a gerjesztett radioaktivitást. A kémikus Soddyval együttműködve megállapították, hogy az emanáció a nemesgázok közé tartozik, és a gáz cseppfolyós levegővel lehűtve cseppfolyósítható. A tóriumemanáció a radon 220 tömegszámú izotópja, a felezési ideje 54,5 másodperc. 1899-ben a Curie házaspár vizsgálatai szerint oxigéngázt besugározva rádium-kloriddal ózon képződik [18]. Ez a kísérlet volt a radiokémiai reakció első példája. A következő évben a rádium sugárzását vizsgálták: a kevésbé áthatoló rész (alfa-sugárzás) a mágneses térben nem mutat elhajlást, de a nagyobb penetrációjú részt (béta-sugárzás) a mágneses tér eltéríti, a sugarak negatív töltésűek [19]. Marie Curie vizsgálatai szerint a polónium csak alfa-sugarakat bocsát ki, ezeket a mágneses tér nem téríti el [20].

## A doktori dolgozat

Marie Curie 1903 májusában nyújtotta be doktori dolgozatát „Recherches sur les substances radioactives” címmel a Sorbonne-on, a Faculté des Sciences de Paris dékánjának [3,21,22]. A doktori védés június 12-én volt, a doktori bizottság elnöki tisztét Gabriel Lippmann fizikaprofesszor (fizikai Nobel-díj, 1908) látta el, a bizottsági tagok Honoraire Bouty fizikaprofesszor és Henri Moissan kémiaprofesszor (kémiai Nobel-díj, 1906) voltak. A sikeres védés után a dolgozat nyomtatásban is megjelent, és még 1903-ban a *Chemical News* magazinban közzétették az angol fordítást is. A dolgozat magyarul Zemplén Győző fordításában jelent meg a *Mathematikai és Fizikai Lapokban* 1904-ben (4–5. és 7–8. füzet) és 1905-ben (1., 2–3. és 6. füzet), öt részben. (A dolgozat elérhető a világhálón: magyarul lásd az Arcanum digitalizált folyóiratait.) A bizottság értékelése szerint Marie Curie felfedezései a legfontosabb eredmények, melyeket egy doktori disszertációban bemutattak. Marie Curie lett az első nő, aki doktori fokozatot szerzett Franciaországban.

## Fizikai Nobel-díj, 1903

A Svéd Királyi Tudományos Akadémia a fizikai és a kémiai Nobel-díjakra Svédországból és külföldről várja a jelöléseket. A radioaktivitással kapcsolatos eredmények elismerése már 1902-ben felmerült, és 1903-ban a fizikai Nobel-bizottság is ebben a témában várt jelöléseket, mivel itt születtek forradalmi jelentőségű eredmények a fizikában és a kémiában. 1903 januárjában négy francia akadémikus, Henri Poincaré (matematikus), Éleuthère Mascart (fizikus), Jean Darboux (matematikus) és Gabriel Lippmann (kémikus, kémiai Nobel-díj, 1908) Henri Becquerelt és Pierre Curie-t jelölte fizikai Nobel-díjra, Marie Curie neve fel sem merült [3,23,24]. Valamennyien ismerték a Curie házaspár munkáját, és tudták, hogy az az új elemek felfedezése Marie Curie munkáján alapult. (Lippmann Marie Curie doktori védésén a bizottság elnöke volt, de az Akadémián szintén ő volt az, aki 1898 tavaszán bemutatta Marie Skłodowska-Curie első közleményét.) A jelölés olyan megállapítást tartalmazott, mely szerint P. Curie egyedül vizsgálta az urán- és tóriumércet, és a rádiumot egyedül fedezte fel.

Miután a jelölések titkosságát feloldották, a dokumentum autentikus voltát több kutató kétségesnek találta. Franciaországból Becquerel és a Curie házaspár jelölést kapott a patológus pro-



fesszor Charles Bouchard-tól, viszont a professzor együttműködött a házaspárral a rádium orvosi alkalmazásával kapcsolatban, azaz jól ismerte munkájukat. A német fizikus Emil Warburg szintén Becquerelt és a Curie házaspárt jelölte, bár volt egy másik jelöltje is, Lord Rayleigh. A fizikai Nobel-bizottság elkönyvelte Becquerel és Pierre Curie jelölését, és augusztusban egy svéd akadémikus, Gösta Mittag-Helfer levélben értesítette Pierre Curie-t a jelölésről. Curie válaszlevelében hangsúlyozta, hogy eredményei közösek a feleségével, az új elemek felfedezésében Marie Curie hozzájárulása nagyon fontos volt, említette a rádium-klorid kristályosítását, a rádium spektroszkópiai jellemzését és a pontos atomtömeg meghatározását. Elküldte Marie Curie doktori dolgozatát is, hogy továbbítsák a fizikai bizottságnak. Curie hangsúlyozta, nem akarja befolyásolni a bizottság döntését, de ha a feleségét mellőzik, ez őt rendkívül kellemetlen helyzetbe hozná, nem csak szakmai szempontból [23]. A fizikai bizottság ezután levelet küldött Poincarénak, és kérte a véleményét Marie Curie jelöléséről. Poincaré egyetértett a jelöléssel, javaslata szerint a díj felét Becquerelnek, a másik felét megosztva a Curie házaspárnak ítélnék oda. Poincaré rámutatott, bár a Curie házaspár eredményei sokkal részletesebbek és előremutatóbbak, viszont az urán sugárzását Becquerel fedezte fel, ő a téma kezdeményezője és a projekt elindítója. A Svéd Királyi Tudományos Akadémia a végső döntést a Royal Society előadói ülése után hozta meg. A Royal Society meghívta a Curie házaspárt az ülésre, és felkérte Pierre Curie-t a Faraday-előadás megtartására. Pierre Curie előadásában hangsúlyozta, hogy az eredményeik közösek, a kémiai vizsgálatokat és az új elemek izolálását a felesége végezte. A Royal Society mindkettőjüket Humphry Davy-éremmel tüntette ki, melyet minden évben a legfontosabb kémiai felfedezésért adományoznak. A Svéd Akadémia ezek után döntött véglegesen: a díj felét Becquerelnek, a másik felét megosztva a Curie házaspárnak ítélték [23,24].

1903. november 14-én a Svéd Királyi Tudományos Akadémia titkársága értesítette táviratban a Curie házaspárt, hogy a fizikai Nobel-díj felét közösen kapják. A táviratban meghívták a házaspárt a december 10-i Nobel-ünnepségre és -díjátadásra. A stockholmi díjátadó ünnepségen csak Becquerel tudott részt venni, Pierre Curie kérte a halasztást, oktatási elfoglaltság és Marie Curie betegsége miatt. Madame Curie egy öt hónapos terhesség után elvetélt, és ebből lábadozott. A díjátadó ünnepség után Becquerel megtartotta saját Nobel-előadását, a Curie házaspár Nobel-diplomáját a francia nagykövet vette át és továbbította Párizsba.

Becquerel Nobel-díjának indoklásaként elismerték rendkívüli szolgálatait, amelyeket a spontán radioaktivitás felfedezésével tett. A részletes indoklásban említik, hogy Becquerel először a foszforeszcenciát mutató uránsók és a napfény kölcsönhatását vizsgálta, és ekkor fedezte fel véletlenül, hogy az uránsók spontán kibocsátanak egy sugárzást, amely a becsomagolt fényképezőlemez megfeketíti. Az új uránsugárzás hasonló a röntgensugarakhoz. Az indoklásban az a különös, hogy Becquerel közleményeiben láthatatlan uránsugárzásokat említ, a radioaktivitás elnevezés először a Curie házaspár közleményében jelenik meg.

A fizikai bizottság a díjat a Curie házaspár esetében annak elismeréseként javasolta, amit a Henri Becquerel professzor által felfedezett sugárzási jelenségekkel kapcsolatos közös kutatásaik során tettek. A részletes indoklásban kiemelték, hogy a Becquerel által felfedezett radioaktív sugárzás arra ösztönözte Marie és Pierre Curie-t, hogy tovább vizsgálják ezt az új jelenséget. Számos vegyületet és ásványt vizsgáltak abból a célból, hogy mutat-e radioaktivitást. Miután kiderült, hogy a szurokérc radioaktivitása jóval felülmúlja az urán aktivitását, feltételezték, hogy a szurok-

érc újabb radioaktív elemeket tartalmaz. A szurokércből sikerült két új kémiai elemet, a polóniumot és a rádiumot izolálni, és mindkét elem aktivitása jóval felülmúlja az urán aktivitását.

A Nobel-díj felét, 70 670 svéd koronát 1904 január elején kapta meg a házaspár. Pierre Curie és Marie Curie 1904-ben sokat betegeskedtek, Madame Curie decemberben megszülte második gyermekét, Ève Curie-t. 1905 januárjában Pierre Curie értesítette a Svéd Akadémia titkárságát, hogy előreláthatóan hónapokon belül el tudnak utazni Stockholmba. Az előadást júniusban Pierre Curie tartotta meg „Radioactive substances, especially radium” címmel.

A Nobel-díj elnyerése után, 1904-ben Pierre Curie-t egyetemi tanárnak nevezték ki a Sorbonne-on, az Általános Fizikai Intézetben azzal az ígérettel, hogy a házaspár kap majd egy jól felszerelt laboratóriumot is, de néhány évig ez csak ígéret maradt. Marie lett a kutatási igazgató, majd Pierre Curie tragikus halála után, 1906-ban megkapta az egyetemi tanári kinevezést, és ő lett az intézet vezetője. Ugyancsak megbízást kapott előadások tartására, így ő lett az első nő, aki egyetemi előadásokat tartott a Sorbonne-on.

1910 novemberében Marie Curie jelöltette magát akadémikusnak, ami jelentős ellenszenvet váltott ki a sajtóban. A másik jelölt Eduard Branly volt, a Franciaországban használt drótnélküli táviró feltalálója, és 1910 novemberében jelölték a megüresedett akadémiai helyre. A szavazáson Madame Curie két szavazattal kevesebbet kapott 1911 tavaszán; ennek hatására élete végéig gyakorlatilag bojkottálta az akadémiai folyóiratokat.

## A felfedezések nemzetközi hatása

A Curie házaspár eredményei a kutatók körében jelentős érdeklődést váltottak ki [4], és egyre több kutató foglalkozott a radioaktivitás vizsgálatával. Ezek közül is ki kell emelni Ernest Rutherford (kémiai Nobel-díj, 1908) vizsgálatait. Rutherford 1898 őszi Oxfordban vizsgálta az urán és a tórium sugárzását a Curie házaspár által alkalmazott kondenzátoros mérésekkel, azaz a levegő vezetőképességét mérte. Megállapította, hogy a radioaktív sugárzás, az áthatolóképesség alapján, két komponensből ( $\alpha$  és  $\beta$ ) áll. Dolgozata 1899 januárjában jelent meg, ekkor Rutherford egyetemi tanári állást kapott Montrealban, a McGill Egyetemen. Itt munkatársaival (R. B. Owen, F. Soddy) tovább tanulmányozta a tórium radioaktív sugárzásának fizikai tulajdonságait. Az eredmények – a radioaktív bomlás matematikai leírása, a felezési idő bevezetése, egy új radioaktív elem, a radon-220 felfedezése (tóriumból), az  $\alpha$ - és  $\beta$ -bomlás során létrejövő transzmutáció, azaz új elemek keletkezése a radioaktív bomlás során – mérföldkönek számítanak az atomok szerkezetének vizsgálatában.

A radioaktivitás kutatása a német kutatókat is ösztönözte, már 1899-ben komoly eredményeket értek el. Eugen de Haen, akinek üvegyára volt, az uránszurokércből kivonta az uránt, és a visszamaradt ércből kinyerte a rádiumot, majd az erős aktivitású preparátumot eladásra ajánlotta. A gyár létesítményei és felszerelése akár 100 kg szurokérc feldolgozását is lehetővé tették. A kémikus Friedrich Oskar Giesel szintén vegyi gyárban dolgozott, és miután értesült a polónium felfedezéséről, uránásványokból kísérlete meg a polónium izolálását [4]. Ezek a kísérletei nem voltak sikeresek, viszont elkülönített egy anyagot, melynek a kémiai tulajdonságai a báriumhoz hasonlítottak. Giesel preparátuma sokkal aktívabb volt, mint a párizsi kutatóké, de az eredményei publikálásával kivárt, és 1898 decemberében tudta meg, hogy a Curie házaspár megelőzte a rádium felfedezésének a bejelentésével. Giesel szintén az ebben a vegyi gyárban előállított bárium-



rádium-koncentráttal dolgozott, valamint a kloridsók helyett a bromidsókat használta frakcionált kristályosításra, ami előnyösebb volt. Nagyon valószínű, hogy a német kutató hamarabb rendelkezett tiszta rádiummal, mint a Curie házaspár. Giesel már 1899 nyarán eladásra kínálta a rádium-bromid-preparátumot.

Willy Marckwald 1900-ig kizárólag szerves kémiával foglalkozott. Eredményei kiemelkedők a heterociklusos vegyületek kémiájában, nevéhez fűződik a kinetikus rezolválás módszerének a kidolgozása, valamint a sztereoselektív szintézisek vizsgálata. 1900-tól érdeklődése az uránszurokérc radioaktív komponenseinek vizsgálata felé fordult. 1902-ben egy új radioaktív elem felfedezését közölte az uránmentes szurokérc bizmutfrakciójából, melyet radiotellúrnak nevezett. Nagy radioaktivitású bizmut-oxikloridot ( $\text{BiOCl}$ ) kapott, melyből elektrolízissel nyerte ki az aktív anyagot, míg a bizmut az oldatban maradt. Marckwaldnak tehát sikerült a bizmut és a radioaktív anyag elválasztása, amit a Curie házaspár a sikertelenség miatt félbehagyott [4]. A német professzor megállapította, hogy az új radioaktív elem nagyobb elektronegativitású, mint az antimon, ezért szerinte a periódusos rendszerben nem az antimon-bizmut csoportba sorolandó, hanem a kén-tellúr csoportba. 1902 decemberében Marie Curie reagált a *Physikalische Zeitschrift* folyóiratban Marckwald azon vádjaira, hogy a Curie házaspár tulajdonképpen radioaktív bizmutot izolált, és sosem bizonyították, hogy ez új elem. Felsorolta vizsgálataik eredményeit, és rámutatott, hogy a polónium erősen radioaktív, bár a rádiumnál gyengébb, fizikai tulajdonságait tekintve ugyanúgy viselkedik, mint a rádium, de lényeges különbség, hogy a polónium csak alfa-sugárzó. Példaként említette még a platina-cianokomplex fluoreszcenciáját, és meg volt győződve, hogy Marckwald is a polóniumot izolálta. Emellett volt még egy komoly ellenérve Marckwald eredményeivel kapcsolatban, ugyanis a német kutató azt állította, hogy a radiotellúr radioaktivitása állandó. Marie Curie ezzel szemben azt tapasztalta, hogy polóniumpreparátumai fokozatosan csökkenő aktivitást mutatnak. Marie Curie ezek után, hogy bizonyítsa igazát, megmérte a polóniumpreparátum felezési idejét, amely 140 napnak bizonyult. A pontos érték 139,8 nap. Marckwald végül 1905-ben korrigálta hibás megfigyelését: a felezési időre 139 napot mért. A következő évben visszavonta a radiotellúr elnevezést, és ő is javasolta a polónium nevet. Ugyanakkor ragaszkodott korábbi állításához, hogy a polónium a tellúrral mutat rokonságot, nem a bizmuttal. Ezt Marie Curie makacsul ellenezte, a polóniumot a bizmutcsoportba sorolta. Amikor az 1920-as évek elején bevezették a kémiai elemekre a rendszám fogalmát, ami a periódusos rendszer besorolásának az alapja, ezt a tévedését igyekezett elfelejteni.

Curie és Debierne 1910-ben közölték, hogy több tonna szurokérc feldolgozása után ténylegesen izolálták a polóniumot [25]. A fentebb említett üzem (Nogent) 200 g polóniumkoncentrátumot adott át Marie Curie-nek; ez az urán aktivitását 3500-szor múlta felül. Ebből a koncentrátumból Curie és Debierne folytatta a polóniumfrakció további tisztítását, és néhány mg aktív anyagot kapott, amely 1-2% polóniumot tartalmazott, ez kb. 0,1 mg polóniumnak felelt meg. Ekkor az analízis a minta spektrumában hét új vonalat azonosított, ezek közül a következő három egyértelműen a polóniumhoz rendelhető: 4642 Å halvány, 417,5 Å elég erős, 3913,6 Å halvány.

### Kémiai Nobel-díj, 1911

Marie Curie férje halála után átvette az előadásokat a Sorbonne-on, valamint folytatta a kutatómunkát. A polónium izolálása [25]

és a rádium pontos atomtömege mellett publikálta a fémrádium előállítását, illetve a fém fizikai tulajdonságainak (olvadáspont, sűrűség) meghatározását. A rádiumot a rádium-klorid higanykatódos elektrolízisével, majd az amalgám lepárlásával nyerte [26]. Említeni kell még, hogy a rádiumemanációt cseppfolyós levegővel sikerült cseppfolyósítani, és kimutatta, hogy az emanáció kémiailag inert gáz, amely nem lép reakcióba alkálifémekkel vagy izzított platinával [27,28]. A gázt a nemesgázok közé sorolta. 1910-ben a Bureau International des Poids et Mesures (Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal, Sèvres) felkérte Marie Curie-t, hogy készítse el a nemzetközi rádiumstandardot. Marie Curie 21,99 mg tiszta rádium-kloridot bocsátott a hivatal rendelkezésére. A Radiológiai Kongresszus definiálta a radioaktív sugárzás egységét, amit curie-nek (Ci) neveztek el: 1 curie a radon azon mennyisége, amely 1 gramm rádiummal van egyensúlyi állapotban. Az újabb mértékegység az aktivitás a becquerel (Bq), amely a radioaktív bomlások számát adja meg másodpercenként. A két egység átszámítása:  $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ .

1910-ben Madame Curie megjelentetett egy kétkötetes könyvet *Traité de radioactivité* címmel, melyben elsősorban a saját és a férjével közös eredményeiket foglalta össze. A fémrádium előállítása a nemzetközi tudományos életben nagyfokú elismerést és presztízst jelentett Madame Curie számára, ez hamarosan kiderült a nemzetközi konferenciákon.

Az első fizikai Solvay-konferencián (1911. október 30. – november 3., Brüsszel) a résztvevők között Nobel-díjasokat (Lord Rayleigh, E. Rutherford, H. Lorentz, J. van der Waals) és leendő Nobel-díjas fizikusokat (A. Einstein, W. Nernst, M. Planck) is találunk. Madame Curie bár előadást nem tartott, több professzorral szakmai kapcsolatot sikerült kialakítania. Einsteinnel gyakran leveleztek, míg Rutherford régi ismerőse volt, nemcsak a Pierre Curie-vel való levelezés miatt, mivel Rutherford 1903-ban elment Párizsba Marie Curie doktori védésére, és részt vett a védést követő ünnepségen.

Az 1911-es kémiai Nobel-díjra elsőként Svante Arrhenius (kémiai Nobel-díj, 1903) jelölte Madame Curie-t egy új radioaktív elem, a rádium felfedezéséért és a fémrádium előállításáért [23]. A francia matematikaprofesszor, Gaston Garboux szintén őt jelölte a kémiai Nobel-díjra. Jelölést kapott még a 1911-es kémiai Nobel-díjra Walther Nernst, Alfred Werner és Richard Willstätter – néhány évvel később mindhárman elnyerték a kémiai Nobel-díjat.

Az indoklás szerint a kémiai Nobel-díjat Madame Curie a kémia fejlődéséhez nyújtott szolgálatai elismeréseként a rádium és a polónium felfedezéséért, a rádium izolálásáért, valamint a figyelemre méltó elem természetének és vegyületeinek tanulmányozásáért kapta.

Miután Marie Skłodowska Curie és Pierre Curie bejelentették a két új radioaktív elem, a polónium és a rádium felfedezését, Marie Curie folytatta az új elemek vizsgálatát, és 1910-ben sikerült előállítani a fémrádiumot, valamint szurokércből tiszta állapotban kinyerte a polóniumot és spektruma alapján igazolta az új elem létezését. Az új elemek és vegyületeik tulajdonságait részletesen tanulmányozta, és a radioaktív vegyületek fontos sugárforrássá váltak mind a tudományos kísérletekben, mind az orvostudományban, ahol daganatok kezelésére használják őket.

### Marie Curie Nobel-előadása

Az újonnan felfedezett elemek radioaktivitásának felismerése után a radioaktivitás kutatása jelentősen fejlődött, és új tudományág jött létre. Madame Curie kiemelte, hogy szerinte az új tudomány



mányág legkiemelkedőbb képviselője Ernest Rutherford, akit a Svéd Akadémia megérdemelten tüntetett ki az 1908-as kémiai Nobel-díjjal.

Az új tudományág 15 évvel Becquerel felfedezése óta jelentős fejlődést mutatott mind a fizika, mind a kémia területén, és ebből a szempontból döntő a rádium felfedezése. Az előadás időpontjában kb. 30 új elemet (izotópot) ismertek, melyeket nem lehetett volna izolálni vagy jellemezni kémiai módszerekkel. A sugárzást kibocsátó elemek kémiai átalakulásokon mennek át, és ekkor hélium is képződik, melyet kísérletileg először a rádium bomlásakor mutattak ki. A rádium izolálása tehát az új tudományág létrejöttének sarokköve volt, és a rádium a radioaktivitást kutató laboratóriumokban a leghasznosabb és leghatékonyabb eszköz lett.

Marie Curie az előadásban ezután bemutatta doktori értekezésének fontosabb eredményeit, a tórium radioaktivitásának a felfedezését, valamint az új kémiai elemek, a polónium és a rádium izolálását uránszurokércből. Már az első közleményében kiemelte, hogy az urán és a tórium sugárzása atomi tulajdonság, bármelyik vegyületük aktív. A szurokércben a rádium elenyésző koncentrációban van jelen, egy tonna szurokércből 10–20 kg radioaktív bárium-szulfát (a só aktivitása 30–60-szorosa az urán aktivitásának) nyerhető ki, majd ebből frakcionált kristályosítással 0,1–0,2 gramm rádium-klorid vonható ki. A kristályosítás hosszadalmas folyamat, a teljesen tiszta rádiumsó előállítására több mint ezer átkristályosítást alkalmazott. A rádium tisztaságát a spektroszkópiai vizsgálatok is igazolták.

Ezután ismertette a rádium atomtömegének pontos meghatározását a rádium-kloridból keletkező ezüst-klorid-csapadék gravimetriás mérésével. A pontos atomtömeg 226. A Mengyelejev-féle periódusos rendszerben a rádiumot az alkáliföldfémek oszlopában a bárium alatt helyezte el, a két elem kémiai tulajdonsága nagyon hasonló. A rádiumsók folytonos energiakibocsátása mérhető a kibocsátott hőben, amely Pierre Curie mérése alapján 118 kalória per gramm rádium óránként. Madame Curie beszámolt a fémrádium rádium-klorid higanykatódos elektrolízisére épülő előállításáról. A képződő amalgamból hidrogén-atmoszférában a higany ledesztillálható és visszamaradt a fém rádium.

A másik felfedezett kémiai elem, a polónium izolálásával kapcsolatos nehézségeket is említette, mivel a polónium koncentrációja a szurokércben ötezerszer kisebb, mint a rádiumé. Több tonna szurokérc feldolgozása után olyan polóniumkoncentrátumot sikerült kinyerni, melyből a spektrum új vonalai egyértelműen igazolták az elem létezését.

A radioaktív bomlás elméletével kapcsolatban Rutherford és Soddy eredményeit ismertette. Sikertült igazolni (Ramsay és Soddy), hogy a rádium sugárzásakor képződő alfa-részecskék pozitív töltésű héliumatomok. Ez a megfigyelés is igazolja Rutherford és Soddy elméletét a radioaktív atomok transzmutációjáról. A négy radioaktív elemnek (urán, tórium, rádium és aktínium) eltérő bomlási sora van, ugyanakkor bizonyították, hogy a rádium uránból képződik, illetve a rádium bomlási sorában a polónium az utolsó radioaktív elem. A rádium bomlási sorában az utolsó elem az ólom. Miután a polónium és a rádium jelentős számú alfa-részecskét emittál, Rutherford megszámlolta az adott tömegű rádiumból képződő részecskék számát, illetve megmérte a keletkező héliumgáz térfogatát, és ezek az adatok lehetővé tették az Avogadro-szám meghatározását. Ez nagyon fontos eredmény az anyag szerkezetének a kutatásában, mivel a korábbi elméleti számításokat a gyakorlatban igazolták.

A világháború idején Madame Curie a Vöröskereszt támogatásával teherautókra szerelt röntgenvizsgálókat hozott létre, melyekkel a harctéren sebesült katonákat röntgenézték. Ennek köszönhetően az orvosok röntgenfelvételeket készíthettek a megsérült csontokról, a testekben található lövedékekről és repezsekről.



**A Curie-múzeum bejárata – ma, Párizs, rue Perre et Marie Curie 1.**

A Sorbonne és a Pasteur Intézet 1909-ben megalapította a Rádium Intézetet, de az épületek csak a világháború kitérője idején készültek el. A fizikai kémiai kutatólaboratórium vezetőjének Madame Curie-t nevezték ki, de a tényleges munka csak 1919-ben kezdődött el. A német invázió kezdetén Madame Curie a lányait biztonságos helyre, Bretagne-ba menekítette, a Rádium Intézet rádiumsó-készletét ólomládában Bordeaux-ba szállította. A Rádium Intézetben kezdte a kutatómunkát Madame Curie asszisztenseként lánya, Irène Curie, aki Frédéric Joliot felesége lett. A Joliot házaspár 1935-ben fizikai Nobel-díjat kapott a mesterséges radioaktivitás felfedezéséért.



#### IRODALOM

- [1] Radnóti K.: Magyar Kémikusok Lapja (2017) 72, 350–353.
- [2] Radnóti, K.: Fizikai Szemle (2017) 67, 384–387.
- [3] Wolke, R. L.: Marie Curie's doctoral thesis: Prelude to a Nobel Prize. *J. Chem. Educ.* (1988) 65, 561–573.
- [4] Adloff, J. P., MacCordick, H. J.: The dawn of radiochemistry. *Radiochimica Acta* (1995) 70/71, 13–22.
- [5] Walton, H. E.: The Curie-Becquerel story. *J. Chem. Educ.* (1992) 69, 10–15.
- [6] Genet, M.: The discovery of uranic rays: A short step for Henri Becquerel but a giant step for science. *Radiochimica Acta* (1995) 70/71, 3–12.
- [7] Habashi E.: Niepce De Saint-Victor and the discovery of the radioactivity. *Bull. Hist. Chem.* (2001) 26, 104–105.
- [8] Curie-Sklodowska, M.: *Comptes rendus* (1898) 126, 1101–1103.
- [9] Badash, L.: The discovery of thorium's radioactivity. *J. Chem. Education* (1966) 43, 219–220.
- [10] Curie, P., Curie, M.: *Comptes rendus* (1898) 127, 175–178.
- [11] Curie, P., Curie, M.: *Comptes rendus* (1902) 134, 85–87. [12] Curie, P., Curie, M., Bemont, G.: *Comptes rendus* (1898) 127, 1215–1217.
- [13] Curie, M.: *Comptes rendus* (1899) 129, 760–762.
- [14] Curie, M.: *Comptes rendus* (1900) 131, 382–384.
- [15] Curie, M.: *Comptes rendus* (1902) 135, 161–163.
- [16] Curie, M.: *Comptes rendus* (1907) 145, 422–425.
- [17] Curie, P., Curie, M.: *Comptes rendus* (1899) 129, 714–716.
- [18] Curie, M., Curie, P.: *Comptes rendus* (1899) 129, 823–825.
- [19] Curie, P., Curie, M.: *Comptes rendus* (1900) 130, 647–650.
- [20] Curie, M.: *Comptes rendus* (1900) 130, 76–79.
- [21] Skwarzec, B.: Maria Sklodowska-Curie (1867–1934) – Her life and discoveries. *Anal. Bioanal. Chem.* (2011) 400, 1547–1554.
- [22] Waclawek, W., Waclawek, M.: Marie-Sklodowska-Curie and her contributions to chemistry, radiochemistry and radiotherapy. *Anal. Bioanal. Chem.* (2011) 400, 1567–1575.
- [23] Adloff, J. P.: The centennial of the 1903 Nobel Prize for physics. *Radiochimica Acta* (2003) 91, 681–688.
- [24] Friedrich, C., Remane, H.: Marie Curie: Recipient of the 1911 Nobel Prize in chemistry and discoverer of the chemical elements polonium and radium. *Angew. Chem. Int. Ed.* (2011) 50, 4752–4758.
- [25] Curie, M., Debierne, A.: *Comptes rendus* (1910) 150, 386–389.
- [26] Curie, M., Debierne, A.: *Comptes rendus* (1910) 151, 523–525.
- [27] Curie, M.: *Comptes rendus* (1907) 145, 1145–1148.
- [28] Curie, M.: *Comptes rendus* (1908) 147, 345–349.