

Profesorowi Zbigniewowi Galusowi poświęcam

**REWOLUCJA W NAUCE:
ODKRYCIE POLONU I RADU**

THE REVOLUTION IN SCIENCE:
DISCOVERY OF POLONIUM AND RADIUM

Tomasz Pospieszny

*Zakład Produktów Bioaktywnych, Wydział Chemii,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8, 61-614 Poznań
e-mail: tposp@amu.edu.pl*

Abstract
Wprowadzenie
1. Promienie Becquerela
2. Maria Skłodowska-Curie
3. Polonium et radium
Uwagi końcowe
Piśmiennictwo cytowane

Prof. UAM dr hab. Tomasz Pospieszny urodził się w 1978 roku w Poznaniu. W 2002 roku uzyskał tytuł magistra chemii na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W 2006 roku uzyskał na tej samej uczelni stopień doktora chemii. W 2016 roku przedstawił rozprawę habilitacyjną z chemii na Wydziale Chemii Uniwersytetu Łódzkiego. Oprócz zainteresowań związanych z chemią produktów naturalnych, chemią środków bakteriobójczych, syntezą organiczną, fizykochemią organiczną, analizą spektroskopową, modelowaniem struktur, interesuje się także historią nauki i udziałem kobiet w nauce. Jest autorem lub współautorem blisko 50 publikacji naukowych oraz 13 książek z zakresu historii nauki w tym historii radioaktywności oraz biografii Marii Skłodowskiej-Curie, Ireny Joliot-Curie i Lise Meitner.



<https://orcid.org/0000-0001-5071-7016>

ABSTRACT

The history of radioactivity is inextricably linked with the figures of Marie Skłodowska-Curie, Pierre Curie and Ernest Rutherford. Without a trace of exaggeration, it should be admitted that we owe the knowledge of this phenomenon to them. Thanks to their work and genius, the radiation emitted by the „strange” elements has gained notoriety in the scientific world. Over time, they were joined by other researchers, expanding the foundations of the new science and building a huge palace on them. They also emphasized the practical use of radioactive elements. And although the phenomenon itself was discovered in 1896 by Antoine Henri Becquerel, the birth of radioactivity should be attributed to the pioneering work of Rutherford and the Curies. The discovery of polonium and radium by Marie and Pierre Curie marked the beginning of a fascinating journey that led humanity into the atomic age. Thanks to them, the alchemists’ dream came true.

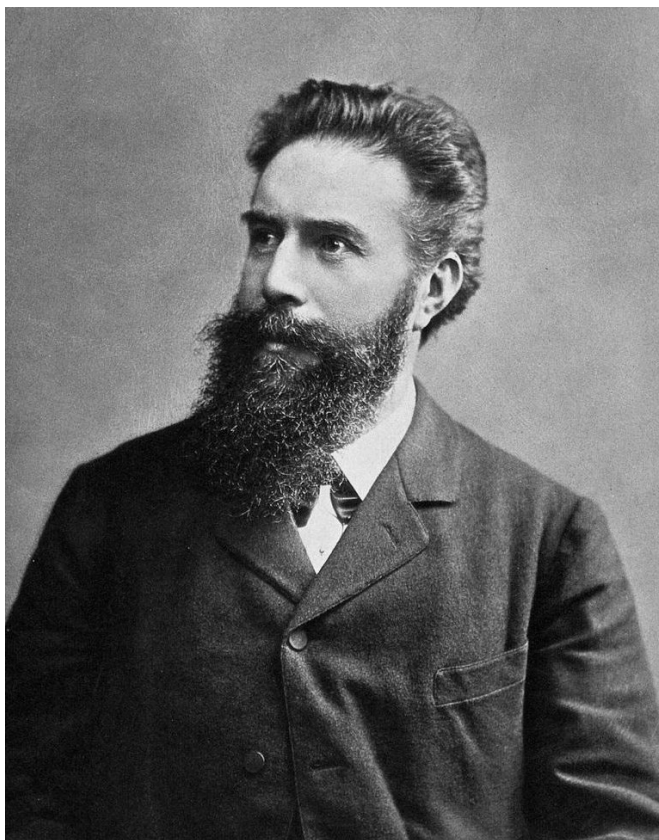
Keywords: Marie Skłodowska-Curie, radioactivity, polonium, radium

Słowa kluczowe: Maria Skłodowska-Curie, radioaktywność, polon, rad

WPROWADZENIE

W piątek 8 listopada 1895 roku Wilhelm Conrad Röntgen badając promienie katodowe, odkrył niespodziewanie nowe, niezwykle przenikliwe promieniowanie, które nazwał promieniami X. Otworzył tym samym drzwi do sekretów Natury.

Z obserwacji Röntgena wynikało, że promienie X zaczerniają kliszę fotograficzną i przenikają przez niektóre ciała, w tym, co było bardzo zaskakujące, przez ciało ludzkie. Kiedy żona uczonego Bertha zobaczyła zdjęcie kośćca swojej dłoni, wykrzyknęła: „O mój Boże, widzę własne kości. Zupełnie jakbym ujrzała własną śmierć” [1]. 28 grudnia 1895 roku Röntgen opublikował wyniki badań na temat promieni w pracy pt. *Ueber eine neue Art von Strahlen (O nowym rodzaju promieni)* [2].



Rysunek 1. Wilhelm Conrad Röntgen, Wellcome Collection. Domena publiczna
Figure 1. Wilhelm Conrad Röntgen, Wellcome Collection. Public domain

20 stycznia 1896 roku na posiedzeniu Akademii Nauk w Paryżu Henri Poincaré podczas wygłaszanego referatu wysunął hipotezę, że promienie X mogą mieć związek ze

zjawiskiem fluorescencji. Na to spostrzeżenie zwrócił wówczas uwagę Antoine Henri Becquerel.

1. PROMIENIE BECQUERELA

Becquerel rozpoczął eksperymenty z siarczanem uranylowo-potasowym, który wykazuje silną fosforescencję. Profesor Józef Hurwic w jednej ze swoich książek napisał, że „[...] w tym wielkim odkryciu [...] pewną rolę odegrał przypadek. Gdyby bowiem zamiast na soli uranu Henri Becquerel sprawdzał [...] hipotezę Poincarégo na jakimś preparacie fosforyzującym nie zawierającym uranu, nie natrafiłby na promieniotwórczość. Żadne zaś fakty racjonalne, poza faktem, że sól uranylowa była badana przez jego ojca, nie skierowały wyboru Henri Becquerela na tę sól. Fakt wreszcie, że przypadkowo pogoda była pochmurna, pomógł uczonemu, zbliżając go do odkrycia” [3]. Z kolei Becquerel wspominał: „Wpadłem na pomysł, by zbadać, czy przypadkiem wszystkie fosforyzujące ciała nie emitują podobnych promieni” [4]. Uczony chcąc wywołać fosforescencję badanej soli, wystawiał ją na działanie promieni słonecznych. Następnie umieszczał sól na kliszy fotograficznej owiniętej w gruby czarny papier. Zgodnie z jego przewidywaniami po wywołaniu kliszy fotograficznej w miejscu, gdzie znajdowała się sól, klisza uległa zaczernieniu. Becquerel wysunął wniosek, że zaczernienie kliszy fotograficznej było związane z promieniowaniem emitowanym przez uprzednio naświetloną sól.

Pod koniec lutego ze względu na duże zachmurzenie i deszcz fizyk musiał zaprzestać swoich eksperymentów. Włożył więc minerał razem z kliszą fotograficzną do szuflady biurka. Po kilku dniach wywołał kliszę fotograficzną i stwierdził zaskoczony, że mimo iż sól uranowa nie była naświetlona zaczerniła ją. 2 marca 1896 roku na posiedzeniu Akademii Nauk ogłosił, że minerał zawierający uran emituje nowe, nieznanne promieniowanie bez wcześniejszego naświetlania. Becquerel referował:

Szczególnie podkreślam następujący fakt, który wydaje mi się niezwykle ważny i niezgodny ze zjawiskami, których można by oczekiwać: te same kryształy umieszczone tak samo w stosunku do kliszy fotograficznej, tak samo osłonięte, lecz trzymane w ciemności i chronione przed wzbudzeniem przez padające światło, nadal dają taki sam efekt fotograficzny. Opowiem teraz, jak zdarzyło mi się dokonać tego spostrzeżenia. Niektóre z poprzednich doświadczeń były gotowe w środę 26 lutego i czwartek 27 lutego, ale ponieważ w dniach tych słońce świeciło tylko przelotnie, schowałem całe przygotowane urządzenie do ciemnej szuflady z uchwytami i solą

uranylową na miejscu. Słońce nie ukazało się jeszcze przez parę następnych dni – wobec czego 1 marca wywołałem klisze spodziewając się zobaczyć tylko bardzo słabe obrazy. Okazało się, że przeciwnie, obrazy te są bardzo intensywne. Pomyślałem od razu, że działanie to może odbywać się w zupełnej ciemności [5].



Rysunek 2. Antoine Henri Becquerel, koniec XIX wieku, fot. Atelier Nadar. Bibliotheque nationale de France. Domena publiczna

Figure 2. Antoine Henri Becquerel, late 19th century, photo: Atelier Nadar. Bibliotheque nationale de France. Public domain

Uczony przechowywał związki uranu w ciemnym pomieszczeniu przez dwa tygodnie, w całkowitej ciemności stopił kryształ azotanu uranu i również w ciemności poddał go krystalizacji – jednak wyniki eksperymentów były zawsze takie same: bez względu na stan skupienia badanych związków, naświetlanie czy nienaświetlanie, „uran i jego sole wysyłają nieustannie niewidzialne promieniowa-

nie, które przenika poprzez ciała nieprzezroczyste i rozładowuje na odległość ciała naelektryzowane” [3]. Becquerel dowiódł także, że metaliczny uran wykazuje silniejsze promieniowanie niż jego związki, podkreślił równocześnie, że źródło energii, które powoduje emisję promieniowania przez uran, jest całkowicie nieznanne [6]. Stwierdził, że promieniowanie uranowe ma właściwości podobne do zwykłego światła i podobnie jak ono ulega odbiciu, załamaniu i polaryzacji [7]. W 1896 roku Joseph John Thomson wygłosił odczyt poświęcony promieniom Röntgena, w którym na podstawie obserwacji Becquerela mówił:

Po odkryciu promieni Röntgena Becquerel odkrył nowy rodzaj światła, którego właściwości przypominają promienie Röntgena bardziej niż jakiegokolwiek światło znane dotychczas... Becquerel wykazał, że to promieniowanie soli uranowych może ulegać polaryzacji, jest więc to niewątpliwie światło; może także ulegać załamaniu. Tworzy ono przejście między promieniami Röntgena i zwykłym światłem, przypomina promienie Röntgena swym działaniem fotograficznym, zdolnością przechodzenia przez substancje nieprzezroczyste dla zwykłego światła i charakterystycznym działaniem elektrycznym, natomiast przypomina zwykłe światło swą zdolnością polaryzacji i załamania [...] [8].

2. MARIA SKŁODOWSKA-CURIE

W 1897 roku Maria Skłodowska-Curie poszukując tematu rozprawy doktorskiej podjęła pierwsze eksperymenty z promieniami Becquerela. W *Autobiografii* napisała: „Zdecydowałam się wreszcie na temat mojej rozprawy doktorskiej. Uwagę moją zwróciły ciekawe wyniki badań Henriego Becquerela soli rzadkiego metalu – uranu” [9]. Jej córka Irène Joliot-Curie napisała: „Moja matka, która dopiero co ukończyła studia i miała na swoim koncie tylko pracę o właściwościach magnetycznych stali, chciała rozpocząć doktorat i zdecydowała się podjąć studia nad promieniowaniem Becquerela. Dyrektor Szkoły Fizyczno-Chemicznej, w której Piotr Curie był profesorem, przydzielił jej niewielkie pomieszczenie, by mogła tam zainstalować aparaturę pomiarową” [10].

Uczona zastąpiła kliszę fotograficzną stosowaną przez Becquerela czułym, precyzyjnie wykonanym i wykalibrowanym elektroskopem. Promieniowanie emitowane przez uran i jego związki bombardowało cząsteczki powietrza w pobliżu elektroskopu i powodowało wytworzenie jonów, przez co powietrze stawało się przewodnikiem i przenosiło część lub całość ładunku elektroskopu. Listki elektroskopu opadały, ponieważ nie było na nich ładunku elektrycznego, który przeciwdziałałby przyciąganiu grawitacyjnemu. Uczona mogła dzięki temu określić siłę promieniowania na podstawie zmiany kąta listków elektroskopu. Skłodowska-Curie dowiodła, że natężenie promieni Becquerela zależy wyłącznie od zawartości

uranu w próbce i jest do niej proporcjonalne. Wyciągnęła wniosek, że jest ono właściwością atomową uranu.

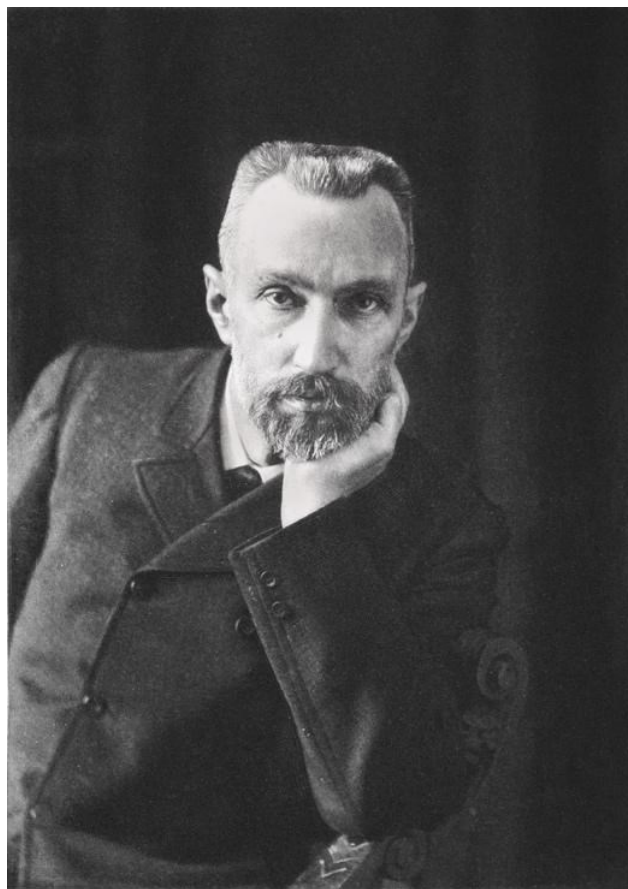


Rysunek 3. Maria Skłodowska-Curie w czerwcu 1903 roku – wkrótce po obronie doktoratu. Ze zbiorów rodzinnych Piotra Chrzęstowskiego

Figure 3. Marie Skłodowska-Curie in June 1903 – shortly after defending her doctorate. From the family collection of Piotr Chrzęstowski

Następnie zbadła wszystkie znane wówczas pierwiastki w stanie wolnym lub związanym i dowiodła, że poza uranem również tor i jego związki emitują podobne promieniowanie. Odkrycia tego dokonała niezależnie od niemieckiego uczonego Gerharda Carla Schmidta, który swoje wyniki opublikował dwa miesiące wcześniej [11]. Jednocześnie uczona udowodniła, że emisja promieniowania przez tor jest

ilościowo inna od emisji uranu. Stosowała w tym celu aparaturę oraz metodę pomiarową opracowaną przez Jacques'a i Pierre'a Curie.



Rysunek 4. Pierre Curie, ok. 1903. Universitat Wien, Osterreichische Zentralbibliothek fur Physik

Figure 4. Pierre Curie, circa 1903. Universitat Wien, Osterreichische Zentralbibliothek fur Physik

Ponieważ promieniowanie emitowane przez uran lub tor oraz ich związki powoduje jonizację powietrza, Maria mogła mierzyć liczbę wytworzonych ładunków elektrycznych, która jest proporcjonalna do emitowanego promieniowania przez badaną próbkę. Aparatura wykorzystywana przez uczoną do eksperymentów składała się z komory jonizacyjnej, gdzie umieszczano próbkę, elektrometru kwadrantowego mierzącego ładunek elektryczny oraz kwarcu piezoelektrycznego.

Pomiędzy dwie metalowe płytki, z których jedna była połączona ze źródłem prądu elektrycznego, uczona wkładała badane minerały. Te z nich, które zawierały uran lub tor, powodowały jonizację powietrza i tym samym przepływ prądu. Bada-

czka obserwowwała to poprzez wychylenie strzałki w elektrometrze. Wielkość wychylenia strzałki była proporcjonalna do siły prądu. Następnie podłączyła do elektrometru kwarc piezoelektryczny i prądowi wytwarzanemu przez sole uranu lub toru przeciwstawiła prąd powstający z rozciąganego mechanicznie kryształu. Kryształ był obciążony określonym ciężarkiem tak, aby strzałka elektrometru przez mierzony czas pozostawała w punkcie zero. W ten sposób Maria wykazała, że dla substancji wysyłających promieniowanie wielkość mierzonego prądu, która zależy od zdolności jonizacyjnej, jest wprost proporcjonalna do ilości wysyłanych promieni. Punktem zwrotnym w badaniach Skłodowskiej było spostrzeżenie, że emisja promieniowania emitowanego przez niektóre minerały zawierające uran takie jak blenda smolista, chalkolit czy autunit, jest znacznie silniejsza, niż wynikałoby to z zawartości uranu w ich składzie. Ponieważ Maria знаła skład chemiczny chalkolitu, wiedziała, że w tym mineralu tylko uran jest pierwiastkiem emitującym promieniowanie. Wyszła więc śmiało hipotezę, że minerał ten musi zawierać domieszkę nowego, nieznanego dotąd pierwiastka chemicznego. W pracy zatytułowanej *Poszukiwanie nowego pierwiastka w pechblendzie* uczona napisała:

Badalam w mym przyrządzie rozmaite minerały, wiele z nich wykazywało promieniowalność, a mianowicie: pechblenda, chalkolit, autunit, kleweit, monazit, oranżyt, toryt i w.[iele] i.[nnych]. Wszystkie te minerały zawierają uran i tor, więc promieniowalność ich jest rzeczą zgoła naturalną. Lecz natężenie zjawiska w pewnych minerałach okazało się zupełnie nieoczekiwanem. Są pechblendy (minerał ten zawiera tlenek uranu), wykazujące promieniowalność trzy razy większą od promieniowalności uranu metalicznego. Chalkolit (krystaliczny fosforan miedzi i uranu) ma promieniowalność 2 razy większą niż uran, a autunit (fosforan wapnia i uranu) ma taką samą promieniowalność jak uran. Występuje więc tu pewna niezgodność pomiędzy rezultatami doświadczeń, otrzymanymi dla czystych związków uranu, które zawsze posiadają mniejszą promieniowalność, aniżeli czysty uran. Dla wyjaśnienia tej niezgodności przygotowałam sztucznie chalkolit sposobem Debray'a z czystych związków uranowych. Doświadczenia wykazały, że sztucznie przygotowany chalkolit posiada zupełnie normalną promieniowalność, jaką winien posiadać ze względu na swój skład chemiczny. Istotnie jest ona $2^{1/2}$ razy mniejszą od promieniowalności metalicznego uranu. Z powyższego wynika, że pechblenda, chalkolit, autunit, jako posiadające tak wielką promieniowalność, zawierają prawdopodobnie w sobie w niewielkich ilościach ciała o bardzo wielkiej promieniowalności. Ciała te, warunkujące promieniowalność przytoczonych minerałów, nie mogą być oczywiście ani uranem, ani torem, ani też żadnym ze znanych nam pierwiastków chemicznych [12].

3. POLONIUM ET RADIUM

W kolejnych eksperymentach Maria dokonała syntezy chalkolitu i porównała ilościowo promieniowanie emitowane przez syntetyczny i naturalny minerał. Udowodniła, że syntetyczny chalkolit emituje słabsze promieniowanie czyli takie, jakiego należałoby się spodziewać za sprawą zawartości uranu w tym mineralu. W dzienniku laboratoryjnym napisała: „Obie rudy uranu: blenda smolista (tlenek uranu) i chalkolit (fosfat miedzi i uranylu) są o wiele bardziej aktywne niż sam uran. Fakt ów jest godny uwagi i pozwala sądzić, że te minerały mogą zawierać pierwiastek o wiele bardziej aktywny niż uran” [13]. W *Autobiografii* dodawała: „Ponieważ nie znaleźliśmy z początku żadnej z cech chemicznych nieznanego substancji, lecz to tylko, że wysyła promienie, więc za pomocą tych promieni szukać jej należało” [14].

Małżonkowie Curie określili zdolność promieniowania nowego, nieznanego dotąd pierwiastka. Promieniował on czterysta razy silniej niż uran. W pracy pisali: „Nie udało nam się znaleźć sposobu, by wyodrębnić z bizmutu substancję aktywną” [15]. Irène Joliot-Curie pisała:

Ze względu na to, że jedyną znaną właściwością hipotetycznego ciała była jego promieniotwórczość, Piotr i Maria Curie wprowadzili nową metodę pracy, która stała się podstawową w całej radiochemii. Przeprowadzali oni chemiczne rozdzielanie różnych ciał zawartych w mineralu i mierzyli promieniotwórczość każdej frakcji. Wkrótce stwierdzili, że promieniotwórczość koncentruje się z jednej strony w siarczankach strącanych z kwaśnych roztworów, z drugiej – w pierwiastkach ziem alkalicznych, i niebawem przekonali się o istnieniu dwóch nowych pierwiastków promieniotwórczych: polonu i radu [...], wyższych homologów telluru i baru [16].

18 lipca 1898 roku małżonkowie Curie poinformowali społeczność o nowym pierwiastku chemicznym zbliżonym właściwościami do bizmutu, który nazywali polonem. W komunikacie pt. *O nowym ciele promieniotwórczym zawartym w smółce uranowej* [17] napisali:

Przypuszczamy, że ciało, które wyodrębniliśmy ze smółki uranowej, zawiera nieznaną jeszcze metal, zbliżony do bizmutu ze swoich właściwości chemicznych. Jeśli istnienie tego metalu się potwierdzi, proponujemy dla niego nazwę polon – od imienia ojczyzny jednego z nas [18].

Pragnęlibyśmy zauważyć, że jeśli istnienie nowego pierwiastka się potwierdzi, odkrycie to będziemy zawdzięczali nowej metodzie badawczej, w której wykorzystaliśmy promieniowanie Becquerela [17].



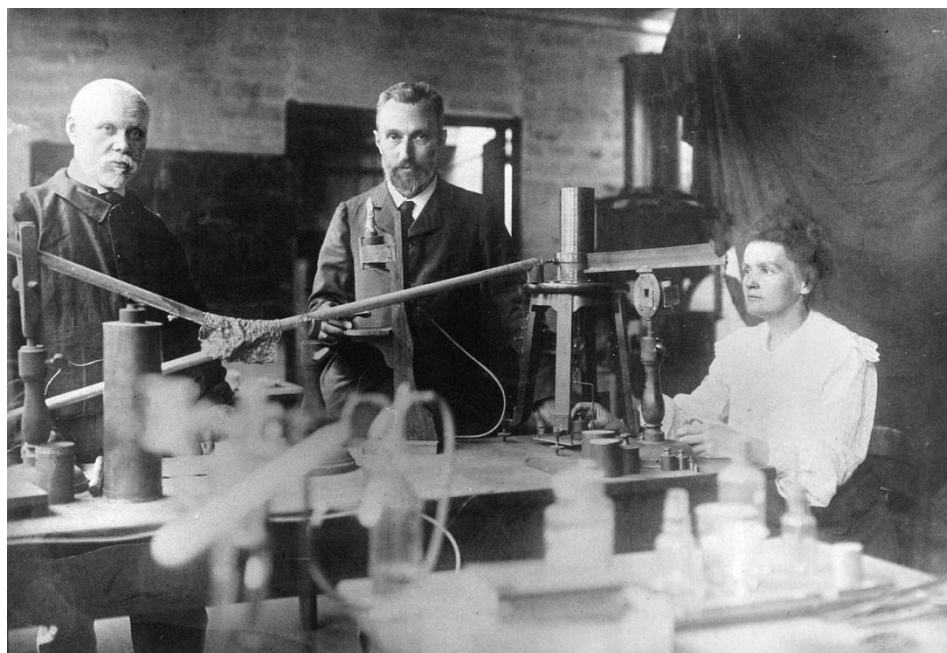
Rysunek 5. Maria Skłodowska-Curie, ok 1904. Archiwum Chrzęstowskich
Figure 5 Marie Skłodowska-Curie, circa 1904. Chrzęstowski Archive

W tej samej pracy uczona zaproponowała nazwę dla promieniowania odkrytego przez Becquerela – radioaktywność (fr. *radioactivité*). Nowe odkrycie opublikowała także w języku polskim w czasopiśmie „Światło” [12]. Po raz pierwszy pojawił się polski odpowiednik radioaktywności – „promieniowalność”, który w rozprawie doktorskiej Maria zamieniła na „promieniotwórczość” [19]. Uczona pisała: „Zjawisko odkryte przez p. Becquerela nazwaliśmy promieniowalnością, zaś ciała, wysyłające promienie o przytoczonych wyżej własnościach – nazwaliśmy ciałami czynnymi” [12].

W połowie listopada 1898 roku małżonkowie Curie przeprowadzili serię kolejnych doświadczeń. Tym razem otrzymali jeszcze bardziej promieniotwórczy

produkt. Przy pomocy Gustave'a Bémonta otrzymali próbkę zawierającą bar o radioaktywności dziewięćset razy większej niż uran. 26 grudnia 1898 roku wspólnie z Bémontem ogłosili, że odkryli drugi pierwiastek chemiczny. Nadali mu nazwę rad. W komunikacie zatytułowanym *O nowej silnie radioaktywnej substancji zawartej w blendzie smolistej* [20] napisali:

Wyżej wyszczególnione fakty każą nam przypuszczać, że w tym nowym związku promieniotwórczym znajduje się nowy pierwiastek, który proponujemy nazwać radem. Nowy ten związek zawiera na pewno znaczną ilość baru, mimo to jednak jest on silnie promieniotwórczy. Promieniotwórczość radu musi być, zatem ogromna [21].



Rysunek 6. Pierre i Maria Curie oraz ich asystent Gustave Boémont w szopie przy ul. Lhomond 42, ok. 1898. Domena publiczna

Figure 6. Pierre and Marie Curie and their assistant Gustave Boémont in a shed at ul. Lhomond 42, circa 1898. Public domain

Dzięki wykonanemu przez Eugène'a Demarçay'ego widma emisyjnego radu małżonkowie Curie mieli dowód na istnienie tego pierwiastka – w widmie emisyjnym było widać słabą linię fioletową przy 381,48 nm odpowiadającą radowi. Maria wspominała, że „Pan Demarçay był łaskaw zbadać widmo naszej substancji i znalazł w nim linię (381,48), która jak się wydaje nie należy do żadnego ze znanych

pierwiastków” [22]. Warto dodać, że stężenie polonu w badanej próbce było zbyt małe, żeby zaobserwować jego linię emisyjną. W zależności od pochodzenia blendy uranowej w jednej jej tonie znajduje się około 1,4 grama radu i tylko 0,1 miligrama polonu.

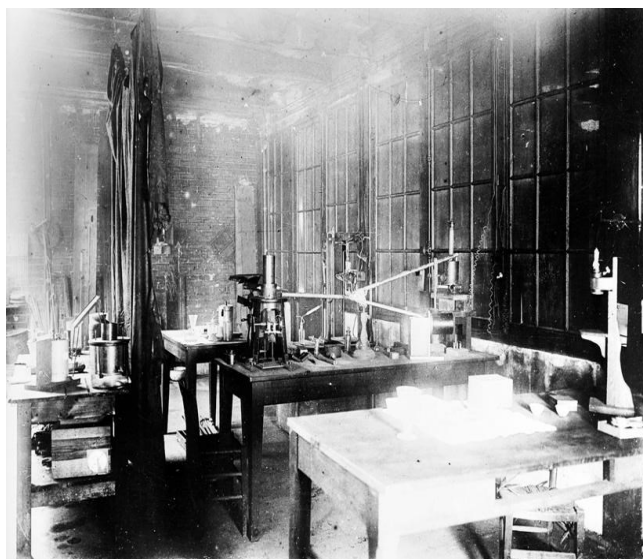
Ponieważ pojawiła się wątpliwość, czy polon nie jest próbką bizmutu, którego aktywność została wzbudzona przez promieniowanie radu, Maria wysunęła hipotezę, że ilość polonu w badanej próbce może być tak mała, że nie zauważono jego linii. Niestety, aby potwierdzić rozumowanie Marii należało poczekać kilka lat. Wolny polon został wydzielony dopiero w czerwcu 1902 roku przez niemieckiego chemika Willy’ego Marckwalda. Sądząc, że odkrył nowy pierwiastek zbliżony właściwościami do telluru, fizyk nazwał go radiotellurem. Maria Curie udowodniła jednak, że radiotellur i polon mają te same właściwości fizyczne i chemiczne. Kardynalnym argumentem było porównanie czasów połowicznego zaniku obu pierwiastków. W sprawozdaniu pt. *O zmniejszeniu się radioaktywności polonu wraz z upływem czasu* pisała: „Polon Marckwalda wydaje się identyczny z naszym oraz nie ma wątpliwości [...] że substancja przygotowana przez Marckwalda jest po prostu tą samą, którą odkryłam wcześniej i opisałam jako polon” [17]. Maria Skłodowska-Curie wysunęła hipotezę, że aktywność promieniotwórcza jest stała dla danego pierwiastka. Irène Joliot-Curie pisała „W tym czasie oznaczenie widma i ciężaru atomowego radu miało wielkie znaczenie dla przekonania chemików, że nowe radiopierwiastki były takimi samymi substancjami, jak inne, różniąc się jedynie posiadaniem właściwości promieniotwórczych” [16].

Dzięki uprzejmości rządu austriackiego małżonkowie Curie z fabryki uranu z Czech, znajdującej się w Jachymowie tonę ziemi stanowiącej odpady po wydzieleniu uranu. W rozprawie doktorskiej Maria napisała: „To ta pozostałość zawiera substancje radioaktywne; jej czynność promieniotwórcza jest cztery i pół razy większa od aktywności uranu metalicznego. Rząd austriacki, do którego należą kopalnie blendy, uprzejmie zaoferował nam na cele naszych poszukiwań jedną tonę tych odpadków i upoważnił kopalnie do dostarczania nam większej ilości ton tego materiału” [23]. Później fundacja Rothschilda odkupiła od rządu Austrii kilka ton ziemi, które przekazała uczonym w Paryżu.

W 1902 roku po Maria Skłodowska-Curie otrzymała 1 decygram chlorku radu i wyznaczyła masę radu na 225 ± 1 . Prace z tym związane małżonkowie Curie wykonywali w legendarnej szopie przy ulicy Lhomond 42 niedaleko Wyższej Szkoły Fizyki i Chemii Przemysłowej Miasta Paryża. Maria wspominała:

Była to pozbawiona wszelkich sprzętów szopa z desek, o cementowej podłodze i oszklonym dachu, przez który miejscami przeciekał deszcz. Całe wyposażenie składało się ze zniszczonych drewnianych stołów, żelaznego pieca, dającego bardzo

niedostateczne ciepło i z tablicy, na której Piotr chętnie pisał i rysował. Nie było tam wyciągu do robót, przy których wydzielają się szkodliwe gazy, trzeba było zatem wykonywać takie prace na podwórzu, gdy pogoda na to pozwalała. Podczas deszczu musieliśmy je prowadzić w szopie, przy otwartych drzwiach [24].



Rysunek 7. Laboratorium państwa Curie w szopie na podwórzu Szkoły Fizyki i Chemii Przemysłowej przy ul. Lhomond 42, 1898. La bibliothèque numérique du Cirad en agronomie tropicale. Domena publiczna

Figure 7. The Curies' laboratory in a shed in the yard of the School of Industrial Physics and Chemistry at ul. Lhomond 42, 1898. La bibliothèque numérique du Cirad en agronomie tropicale. Public domain

Tok analityczny pracy uczoney był wielkim wyzwaniem. Maria Curie zalewała blendę smolistą litrami kwasu solnego i gotowała mieszaninę na wolnym ogniu przed szopą. Następnie otrzymany roztwór zadawała siarkowodorem, w wyniku czego w roztworze pozostał promieniotwórczy uran i tor, a pozostałe pierwiastki - ołów, miedź, arsen, antymon, bizmut i polon – wypadały w postaci osadu, który wykazywał dużą aktywność promieniotwórczą. Ponieważ mieszanina nie zawierała już uranu i toru, małżonkowie Curie mieli pewność, że w osadzie znajduje się nowy promieniotwórczy pierwiastek chemiczny. Następnie Maria Curie zastosowała siarczek amonu, który rozpuścił siarczki arsenu i antymonu. Pozostałe, nierozpuszczalne siarczki ołowiu, miedzi, bizmutu i polonu miały ponownie zwiększoną aktywność. Następnie Curie zastosowali amoniak przez co pozbywali się z mieszaniny miedzi. Osad powstałych wodorotlenków zadawali siarkowodorem w wyniku czego wypadały osady siarczków ołowiu, bizmutu i polonu. W tym miejscu pracy procesy chemiczne stały się nieużyteczne, bowiem tych trzech siarczków nie dało się rozdzielić, stosując reakcje chemiczne. Ponieważ jednak każdy z nich miał różną lotność, Maria zastosowała sublimację w próżni w temperaturze 700°C. Podobny tok analityczny stosowała dla wydzielenia radu – z tą zasadniczą różnicą, że w ostatnim etapie izolacji radu zastosowała tzw. krystalizację frakcyjną umożliwiającą jej oddzielenie chlorku baru od chlorku radu [25]. W *Autobiografii* Maria pisała:

I oto w tej nędznej, starej szopie przeżyliśmy najlepsze, najciekawsze nasze lata, poświęcając całe dnie zamierzonemu dziełu. Często też musiałam w niej przyrządzać posiłek, ażeby nie przerywać jakiegoś ważnego doświadczenia. Niekiedy wypadło mi spędzać cały dzień na mieszanii gotującej się masy ciężkim prętem żelaznym, prawie tak wielkim, jak ja sama. Zdarzało się, że byłam wtedy naprawdę przemęczona. Kiedy indziej znów robota polegała na niezmiernie drobiazgowej i delikatnej krystalizacji frakcjonowanej w celu stężenia roztworu radu [26].

Maria i Piotr Curie stwierdzili, że promieniowanie emitowane przez rad i polon świecą, sole radu wydzielają ciepło, zabarwiają porcelanę i szkło, promieniowanie przechodzi przez powietrze i pewne ciała, że może przekształcić tlen cząsteczkowy w ozon. Piotr Curie jako pierwszy zaczął eksperymenty biologiczne, a mianowicie poddał swoje ramię kilkugodzinemu działaniu radu. Powstała trudno gojąca się ranę obserwował i opisywał. Pisał między inni: „Skóra rąk przejawia ogólną tendencję do łuszczenia się; końce palców, którymi trzymaliśmy tubki lub naczynia z silnie aktywnymi produktami, stają się twarde i czasem bardzo bolesne; u jednego z nas stan zapalny końców palców trwał przez dwa tygodnie i zakończył się zupełnym złuszczeniem skóry, ale bolesność nie ustąpiła całkowicie jeszcze nawet po upływie

dwóch miesięcy” [27]. Tym samym państwo Curie stworzyli podwaliny pod chemię radiacyjną oraz terapię nazywaną curieterapią.

Z prac przeprowadzonych przez Marię i Piotra Curie wyniknęło kilka ważnych następstw.



Rysunek 8. Okładka czasopisma przedstawiająca Marię i Pierre'a w laboratorium. Archiwum Tomasza Pospieszego

Figure 8. Magazine cover showing Marie and Pierre in the laboratory. Tomasz Pospieszny's Archive

Maria Skłodowska-Curie jako pierwsza wysunęła wniosek, że radioaktywność to emisja materii. Wspólnie z Pierre'm uważała, że atomy jednych pierwiastków mogą przekształcać się w atomy innych. Już w rok po odkryciu polonu i radu, w 1899 roku, w pracy pt. *Promienie Becquerela i polon* Maria pisała, że „promieniowanie jest emisją materii, czemu towarzyszy zmniejszenie się ciężaru substancji promieniotwórczych” [28]. Rok później we wspólnym komunikacie zatytułowanym *Nowe substancje promieniotwórcze i promienie, które one wysyłają* opublikowanym na Międzynarodowym Kongresie Fizyki w Paryżu pisali: „Rad wysyłałby nieustannie cząstki skrajnie małe naładowane elektrycznością ujemną. Energia, zmagazynowana w postaci energii potencjalnej, stopniowo by się rozpraszała i takie traktowanie zjawiska prowadziłoby w sposób nieuchronny do tego, że nie można by już uważać, że atom jest niezmienny” [28].



Rysunek 9. Maria i Pierre Curie w ogrodzie domu przy bulwarze Kellermanna w Paryżu, ok. 1902. Archiwum Chrzęstowskiich
Figure 9 Marie and Pierre Curie in the garden of the house on Kellermann Boulevard in Paris, circa 1902. Chrzęstowski Archive

Tę hipotezę Maria rozwinęła 14 czerwca 1900 roku podczas odczytu wygłoszonego na Sorbonie. Mówiła wówczas:

Teorya materyalistyczna promieniotwórcza zdaje dobrze sprawę z zauważonych dotąd zjawisk. Jednakże, jeżeli ją przyjmujemy, musimy uznać, że materya promieniotwórcza nie jest w stanie chemicznym zwykłym. Atom w tym przypadku nie jest niezmienny i niepodzielny, skoro cząsteczki jego są wypromieniowywane. Materya promieniotwórcza ulega przemianie chemicznej, i ta to przemiana jest źródłem energii promieniotwórczości; ale nie jest to przemiana chemiczna zwykła, gdyż tutaj sam atom ulega zmianie. Jest zresztą widoczne, że jeżeli promieniotwórczość wynika z przekształcenia się materyi, to przekształcać się tutaj musi sam atom, skoro promieniotwórczość jest zjawiskiem atomowem [29].

Wkrótce układ okresowy pierwiastków chemicznych wzbogacił się o kolejne pierwiastki (konkretnie ich izotopy). Irène Joliot-Curie pisała: „Stosując wprowadzoną przez Piotra i Marię Curie nową metodę analizy chemicznej, Debierne odkrył w roku 1899 aktyn, Hahn w roku 1905 – radiotor [tor-228] i mezotor [rad-228], Boltwood w roku 1907 – jon [tor-230]. Protaktyn odkryli w roku 1918 jednocześnie Hahn i Meitner oraz Soddy i Cranston [niezależnie od nich także Kazimierz Fajans]; A. v. Groppo otrzymał czysty protaktyn i oznaczył jego ciężar atomowy. Prace z dziedziny radiochemii prowadzono głównie w laboratoriach Piotra i Marii Curie we Francji, Hahna i Meitner w Niemczech, Soddy’ego w Anglii, St-Meyera w Austrii” [30].

Odkrycie Marii i Pierre’a Curie, ich badania, koncepcje naukowe oraz śmiałość hipotezy na stałe zmieniły obraz fizyki i chemii. Największe odkrycie w dziejach podarowali oni całej ludzkości. Maria twierdziła: „Rad nie powinien wzbogacić nikogo. Należy do wszystkich ludzi” [31].

Uran, tor, polon, rad i aktyn to pierwsze pierwiastki z ogromnej rodziny pierwiastków radioaktywnych, które jako pierwsze znalazły swoje miejsce w układzie okresowym pierwiastków. I chociaż to Becquerel odkrył radioaktywność, to jego rola ograniczała się tylko i wyłącznie do tego. Odkrycie pierwiastków silnie radioaktywnych dało naukowcom ogromne pole badawcze w obszarze rodzącej się nauki o budowie atomu. Prekursorką tych badań bez wątpienia pozostaje niedościgniona Maria Skłodowska-Curie.

UWAGI KOŃCOWE

Odkrycie polonu i radu zrewolucjonizowało całkowicie fizykę i chemię, ale co istotniejsze miało ogromny wpływ także na medycynę. Z inicjatywy Marii Skłodo-

wskiej-Curie powstał w Paryżu Instytut Radowy. W 1925 roku w Warszawie Uczona powiedziała:

Zdaje mi się, że mam prawo powiedzieć [...], że Instytut Radowy w Paryżu, który dla mnie jest jakby żywą istotą – jakkolwiek daleki od doskonałości, jednak całkowicie oddany służbie publicznej wiernie służy ideałom Wiedzy i międzynarodowego porozumienia w sferze, gdzie bodźcem działania jest miłość nauki i dobro ludzkości [32].

Miłość do nauki i dobro ludzkości było dla Niej zawsze wartością nadrzędną. „Mojem najgorętszym życzeniem jest powstanie Instytutu Radowego w Warszawie” – pisała [25]. To marzenie zostało zniszczone. Do dziś przy ulicy Wawelskiej 15 działa placówka dbająca o dobro ludzkości...

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

- [1] M. Friedman, G.W. Friedland, Dziesięć największych odkryć w medycynie, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 145.
- [2] W.C. Röntgen, Ueber eine neue Art von Strahlen, Vorläufige Mitteilung, [w:] Aus den Sitzungsberichten der Würzburger Physik.-medic. Gesellschaft, Würzburg 1895.
- [3] J. Hurwic, Twórcy nauki o promieniotwórczości, PWN, Warszawa 1989, s. 33.
- [4] S. Quinn, Życie Marii Curie, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, s. 200.
- [5] A.K. Wróblewski, Historia fizyki, WN PWN, Warszawa 2006, s. 402.
- [6] S. Brandt, The Harvest of a Century. Discoveries of Modern Physics in 100 Episodes, Oxford University Press, Oxford 2009, s. 12.
- [7] J. Hurwic, Twórcy nauki o promieniotwórczości, PWN, Warszawa 1989, s. 32.
- [8] A.K. Wróblewski, Promieniotwórczość odkrywana na raty, „Wiedza i Życie” 4, 1998, s. 16.
- [9] M. Skłodowska-Curie, Autobiografia i wspomnienia o Piotrze Curie, Dom Wydawniczo-Promocyjny GAL, Warszawa 2004, s. 27.
- [10] I. Joliot-Curie, Maria Curie, moja matka, Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie, Warszawa 2020, s. 16.
- [11] G.C. Schmidt, Über die von den Thorverbindungen und einigen anderen Substanzen ausgehende Strahlung, „Annalen der Physik und Chemie” 65, 1898, s. 141.
- [12] M. Skłodowska-Curie, Poszukiwanie nowego pierwiastka w pechblendzie, „Światło” 1, Nr 2, 1898, s. 54.
- [13] E. Curie, Maria Curie, WN PWN, Warszawa 2006, s. 168.
- [14] M. Skłodowska-Curie, Autobiografia i wspomnienia o Piotrze Curie, Dom Wydawniczo-Promocyjny GAL, Warszawa 2004, s. 29.
- [15] M.P. Curie, Mme. P. Curie, Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende, „Comptes Rendus” 127, 1898, s. 175.
- [16] I. Joliot-Curie, Naturalne pierwiastki promieniotwórcze, PWN, Warszawa 1954, s. 7.
- [17] S. Quinn, Życie Marii Curie, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, s. 217.
- [18] E. Curie, Maria Curie, WN PWN, Warszawa 2006, s. 171.
- [19] J. Hurwic, Maria Skłodowska-Curie i promieniotwórczość, Wydawnictwo Edukacyjne ŻAK Zofii Dobkowskiej, Warszawa 2008, s. 46.

-
- [20] M.P. Curie, Mme. P. Curie, M.G. Bémont, Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende, „Comptes Rendus” 127, 1898, s. 1215.
- [21] E. Curie, Maria Curie, WN PWN, Warszawa 2006, s. 174.
- [22] E. Cotton, Rodzina Curie i promieniotwórczość, Wiedza Powszechna, Warszawa 1965, s. 38.
- [23] M. Skłodowska-Curie, Badanie ciał radioaktywnych Komitet Historii Nauki i Techniki, Wydział I Nauk Społecznych PAN, Warszawa 1992, s. 19.
- [24] M. Skłodowska-Curie, Autobiografia i wspomnienia o Piotrze Curie, Dom Wydawniczo-Promocyjny GAL, Warszawa 2004, s. 117.
- [25] T. Pospieszny, Maria Skłodowska-Curie. Zakochana w nauce, Wydawnictwo Sophia, Warszawa 2024, s. 156.
- [26] M. Skłodowska-Curie, Autobiografia i wspomnienia o Piotrze Curie, Dom Wydawniczo-Promocyjny GAL, Warszawa 2004, s. 31.
- [27] P. Cieśliński, J.S. Majewski, Śladami Marii Skłodowskiej-Curie, Agora, Warszawa 2011, s. 78.
- [28] J. Hurwic, Maria Skłodowska-Curie i promieniotwórczość, Wydawnictwo Edukacyjne ŻAK Zofii Dobkowskiej, Warszawa 2008, s. 56.
- [29] J. Hurwic, Maria Skłodowska-Curie i promieniotwórczość, Wydawnictwo Edukacyjne ŻAK Zofii Dobkowskiej, Warszawa 2008, s. 57.
- [30] I. Joliot-Curie, Naturalne pierwiastki promieniotwórcze, PWN, Warszawa 1954, s. 8.
- [31] E. Curie, Maria Curie, WN PWN, Warszawa 2006, s. 331.
- [32] J. Hurwic (red.), Wkład Marii Skłodowskiej-Curie do nauki. Szkice monograficzne, PWN, Warszawa 1954, s.48.

Praca wpłynęła do Redakcji 9 grudnia 2023 r.

