

# Historia odkrycia promieniotwórczości

Ewa Kaczorowska, Adrian Bożydar Knyziak

Zakład Promieniowania i Wielkości Wpływających, Główny Urząd Miar

Promieniotwórczością (radioaktywnością) naturalną nazywamy przekształcanie się nietrwałych izotopów jednego pierwiastka chemicznego w izotopy innego pierwiastka, czemu towarzyszy emisja pewnych cząstek – promieniowanie alfa (jądra helu), promieniowanie beta (elektrony) i promieniowanie gamma (krótkofalowe promieniowanie elektromagnetyczne). Zjawisko promieniotwórczości naturalnej odkrył francuski fizyk Henri Antoine Becquerel w 1896 roku. Uznając je za mało interesujące przekazał badania tego zjawiska Marii Skłodowskiej-Curie. W roku 1898 Maria Skłodowska-Curie wraz z mężem Piotrem Curie odkryli dwa nowe pierwiastki promieniotwórcze, polon i rad. W 1903 roku otrzymali wspólnie nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki, dzieląc ją z Becquerelem.

W 1911 roku Maria Skłodowska-Curie otrzymała drugą nagrodę Nobla, tym razem w dziedzinie chemii, za badania dotyczące radu.

## Odkrycie promieniotwórczości uranu

Publikacja pracy Wilhelma Conrada Röntgena 28 grudnia 1895 roku wzbudziła powszechną sensację i zainteresowanie we wszystkich środowiskach. W pracy tej Röntgen podał najważniejsze wyniki dotyczące właściwości nowych promieni: prostoliniowe rozchodzenie się, zdolność przenikania przez różne substancje, zdolność do wywoływania fluorescencji platynocyjanku baru, jak również innych substancji, działanie na kliszę fotograficzną, brak widocznego załamania w pryzmacie i skupiania w soczewkach, interferencji i polaryzacji.

Henri Poincare przedstawił odkrycie Röntgena na posiedzeniu Francuskiej Akademii Nauk w Paryżu 20 stycznia 1896 roku. Podczas prezentacji wysunął własną hipotezę dotyczącą promieni X. Henri Poincare twierdził, że zdolność emisji promieni X ma zapewne związek ze zjawiskiem fosforescencji, czyli opóźnionego wysyłania światła po naświetleniu danej substancji. Na posiedzeniu tym był obecny **Henri Antoine Becquerel**. Ten wybitny fizyk francuski żyjący w latach 1852 – 1908 był kontynuatorem rodzinnej tradycji. Jego dziad Antoine Cesar Becquerel (1788 – 1878) i ojciec Alexandre Edmund Becquerel (1820 – 1891) byli znanymi fizykami, członkami Francuskiej Akademii Nauk. Prowadzili badania z dziedziny optyki, elektryczności i magnetyzmu.

Henri Antoine Becquerel ukończył paryską École Polytechnique, a następnie École des Ponts et Chaussées, gdzie zdobył wykształcenie inżynierskie. W 1875 roku zaczął pracować jako inżynier w administracji dróg i mostów. Równocześnie prowadził badania fizyczne w pracowni ojca, profesora w Muzeum Historii Naturalnej. Po śmierci ojca został tam profesorem, mając jednocześnie katedrę w Conservatoire National des Arts et Métiers. Za osiągnięcia w badaniach nad polaryzacją światła w wyniku działania pola magnetycznego, nad



Henri Antoine Becquerel

fosforescencją i absorpcją światła w kryształach, został w 1889 roku wybrany na członka Francuskiej Akademii Nauk.

W swojej pracowni Becquerel sprawdził hipotezę Poincarego. Poddał próbkę siarczanu uranylowo-potasowego, znanego jako substancja o silnej fosforescencji, działaniu światła słonecznego. Następnie położył ją na pewien czas na kliszy fotograficznej, owiniętej w czarny papier. Spowodowało to jej znaczne zaczernienie a tym samym potwierdzenie hipotezy Poincarego. Na posiedzeniu Francuskiej Akademii Nauk 24 lutego 1896 r. Becquerel przedstawił otrzymany wynik. W trakcie prowadzenia dalszych prac pogoda popsua się. Mało było dni słonecznych w Paryżu. Becquerel czekając na poprawę pogody przechowywał mało naświetlony siarczan uranylowo-potasowy w szufladzie razem z kliszą. Po paru dniach oczekiwania, w niedzielę 1 marca 1896 roku, zdecydował się wywołać kliszę. Ze zdumieniem stwierdził, że zaczernienie kliszy jest bardzo duże. Zatem wniosek poprzednio wysunięty był błędny i w dniu 2 marca 1896 r. ogłosił, że sól uranowa sama z siebie wysyła nieznaną, przenikliwe promieniowanie. Błędna hipoteza Poincarego i zbieg okoliczności ze złą pogodą doprowadziły Becquerela do odkrycia promieniotwórczości naturalnej.

Becquerel zbadał dokładniej właściwości nowoodkrytego promieniowania i zauważył, że promienie wysyłane przez siarczan uranylowo-potasowy, trzymany w ciemności przez kilka dni, mają zdolność rozładowywania elektroskopu listkowego po przejściu przez płytę aluminiową o grubości 2 mm. Stwierdził też, że te niewidzialne promienie mogą ulegać odbiciu i załamaniu. Wniósł na to podstawie prowadzonych przez siebie eksperymentów konsekwentnie opartych na metodzie klisz fotograficznych. Na osłoniętej kliszy umieścił warstwę soli uranowej, a u góry nad połową kliszy ustawił wypolerowane zwierciadło stalowe. Po 55 godzinach wywołał kliszę i stwierdził wyraźne różnice w zaczernieniu obu połówek. Był to według Becquerela dowód na to, że promienie uranowe odbijają się od zwierciadła. Następnie przeprowadził eksperyment ze zwierciadłem sferycznym. Otrzymał podobny wynik. Do badania załamania promieni uranowych użył pryzmatu ze szkła crown, który zamykał jeden koniec rury szklanej wypełnionej azotanem uranu. Klisza fotograficzna była umieszczona za pryzmatem. Po trzech dniach Becquerel wywołał kliszę i zobaczył na niej efekt załamania promieni, taki jak dla światła widzialnego. Te i inne eksperymenty przeprowadzone przez Becquerela wykazywały, że promienie uranowe mają podobne właściwości jak zwykłe światło. W konsekwencji nie były one tak interesujące jak promienie Röntgena. Podanie przez Becquerela 23 maja 1896 roku informacji, że metaliczny uran wysyła promieniowanie niewidzialne z natężeniem czterokrotnie większym niż wcześniej badane sole uranu nie wzbudziło większego zainteresowania.

Kiedy jesienią 1896 roku holenderski fizyk Pieter Zeeman odkrył w Lejdzie rozszczepienie linii widmowych w polu magnetycznym, wielu fizyków od razu zdecydowało się zająć tym od dawna poszukiwanym zjawiskiem. Wśród nich był także Henri Antoine Becquerel, który swe prace na temat zjawiska Zeemana i efektu Faradaya aż siedem razy przedstawiał na posiedzeniach Francuskiej Akademii Nauki. Becquerel porzucił nieciekawą tematykę promieni uranowych i zajął się tym zagadnieniem, które wówczas elektryzowało wszystkich.

Becquerel był znanym i cenionym fizykiem, którego doświadczenia były starannie przemyślane i wykonane, toteż wyników prezentowanych w publikacjach nikt nie poddawał w wątpliwość. Dziś wiemy, że wyniki te, dowodzące rzekomego odbicia, załamania i polaryzacji promieni uranowych, uzyskane zawodną metodą badania zaczernienia kliszy fotograficznej, były błędne i przyczyniły się do wyraźnego spadku zainteresowania ówczesnych środowisk nowymi promieniami.

## Odkrycie polonu i radu

**Maria Salomea Skłodowska** urodziła się 7 listopada 1867 roku w Warszawie jako piąte dziecko w rodzinie nauczycielskiej, wywodzącej się z drobnej szlachty (herbu Dołęga). Jej dziadek, Józef Skłodowski był szanowanym lubelskim pedagogiem, zaś jej ojciec, Władysław Skłodowski, był nauczycielem fizyki i matematyki oraz dyrektorem kolejno dwóch warszawskich gimnazjów męskich. Matka, Bogusława z Boguskich, była przełożoną warszawskiej pensji dla dziewcząt z dobrych domów. Chorowała na gruźlicę i zmarła, gdy Maria miała 11 lat. Maria Skłodowska rozpoczęła naukę w wieku 10 lat na pensji dla dziewcząt, którą wcześniej prowadziła jej matka, gdy była jeszcze zdrowa. Następnie kształciła się w III Gimnazjum Żeńskim, które ukończyła 12 czerwca 1882 roku otrzymując złoty medal. Kolejny rok spędziła na wsi u ziemiańskiej rodziny jej ojca, a następnie w roku 1883 kontynuowała przez dwa lata naukę w nielegalnym „Latającym Uniwersytecie”. W tym czasie trudniła się okazjonalnym udzielaniem korepetycji. Maria Skłodowska zawarła umowę ze swoją starszą siostrą Bronisławą, że będzie ją wspierać finansowo w trakcie jej studiów medycznych w Paryżu, w zamian za podobne wsparcie za 2 lata. W związku z tą umową podjęła posadę guwernantki najpierw w prawniczej rodzinie z Krakowa, a następnie u ziemiańskiej rodziny Żórawskich, krewnych jej ojca, z którą to rodziną związała się na dwa lata. W trakcie pracy u rodziny Żórawskich zakochała się z wzajemnością w Kazimierzu Żórawskim, przysłym wybitnym matematyku. Rodzice Kazimierza stanowczo odrzucili pomysł ślubu ich syna z ubogą krewną, a sam Kazimierz nie potrafił się sprzeciwić rodzinie. Zaistniała sytuacja skończyła się dla Marii Skłodowskiej utratą posady guwernantki. Znalazła nową posadę w Sopocie u rodziny Fuchsów, gdzie spędziła kolejny rok, stale wspierając finansowo siostrę Bronisławę. W roku 1889 wróciła do Warszawy, gdzie dokształcała się z chemii i fizyki, korzystając z laboratorium Muzeum Przemysłu i Rolnictwa.



Maria Skłodowska-Curie

Na początku 1890 roku, zgodnie z wcześniejszą umową, Bronisława zaprosiła Marię do siebie do Paryża. Ze względu na fakt, że Marii Skłodowskiej nie było stać na czesne, a także mając nadzieję poślubienia Kazimierza Żórawskiego, z którym widywała się w Warszawie, powróciła do rodzinnego domu. Przebywała u ojca do jesieni 1891 roku trudniąc się udzielaniem korepetycji. Stanowczy list Kazimierza Żórawskiego, w którym zrywał z Marią, oraz ustawiczne nalegania siostry sprawiły, że Maria Skłodowska w październiku 1891 roku wyjechała do Paryża.

W Paryżu Maria Skłodowska zdała w roku 1891 jako pierwsza kobieta w historii egzaminu wstępne na Wydział Fizyki i Chemii Sorbony. Studiowała i pracowała. Zarabiała jako korepetytorka. W roku 1893 uzyskała licencjat z fizyki i podjęła pracę laborantki w przemysłowym laboratorium zakładów Lippmana. W tym czasie studiowała nadal na Sorbonie, uzyskując drugi licencjat z matematyki w roku 1894. W tym też roku poznała o osiem lat starszego fizyka francuskiego Pierre'a Curie, który był doktorantem w laboratorium Becquerela, z którym zawarła związek małżeński w 1895 roku.

**Pierre Curie** urodził się 15 maja 1859 roku w Paryżu. Tam też ukończył studia fizyczne i od roku 1878 pracował w Szkole Fizyki i Chemii. Jego badania dotyczyły magnetyzmu i kryształów. Wspólnie ze swoim bratem, Jacques'em, odkrył zjawisko piezoelektryczne w roku 1880. W roku 1895 ustalił zależność namagnesowania paramagnetyków od tempera-



Pierre Curie

tury (prawo Curie). W tym też roku otrzymał doktorat i poślubił Marię Skłodowską, która przyjęła obywatelstwo francuskie.

W grudniu 1897 roku Maria Skłodowska-Curie napisała pracę dyplomową, a tym samym ogłosiła swoją pierwszą pracę naukową, na temat właściwości magnetycznych hartowanej stali. W tym też roku urodziła pierwsze dziecko, córkę Irene.

Narodziny dziecka nie przerwały ani nie zatrzymały kariery Marii. Pierre Curie zarekomendował Marię Skłodowską-Curie, Henri'emu Becquerelowi, który zaproponował jej podjęcie badań na podstawie których mogłaby uzyskać doktorat. Pod opieką Becquerela Maria miała zbadać, dlaczego natężenie nowych promieni niektórych rodzajów rudy uranowej jest wyższe, niż wynikałoby to z udziału w niej czystego uranu. Zatem dostała niezbyt atrakcyjny, a zarazem pracochłonny temat. Rozpoczęła prace z pomocą robiącego licencjat młodego chemika André-Louisa Debierne. Pierwszym etapem pracy było żmudne rozdzielenie rudy uranowej na poszczególne związki chemiczne i poszukiwanie substancji emitującej nowe promieniowanie z większym natężeniem.

Pierwsza praca Marii Skłodowskiej-Curie na temat promieniotwórczości – termin zaproponowany przez Marię – stanowiła prawdziwe zerwanie z praktykami ówczesnych badaczy nowych promieni. Po pierwsze, Maria Skłodowska-Curie użyła do badań precyzyjnego i czułego elektrometru – zamiast metody fotograficznej, która ze względu na jakość ówczesnych klisz dawała tylko wyniki jakościowe, mało powtarzalne i często błędne. Ponadto postanowiła przeprowadzić systematyczne badania dostępnych minerałów, skał i innych substancji.

Użycie w badaniach bardzo precyzyjnego i czułego elektrometru przyniosło od razu przełomowy wynik. Okazało się, że natężenie promieniowania w różnych minerałach zawierających uran nie jest proporcjonalne do zawartości tego pierwiastka. Na tej podstawie Maria Skłodowska-Curie wysunęła śmiałą hipotezę, że istnieje nowy, nieznan pierwiastek promieniotwórczy. W trakcie tych badań stwierdziła, że promieniotwórczość wykazuje także tor (niezależnie odkrycia tego dokonał niemiecki fizyk Gerhard Carl Schmidt). Wyniki swojej pracy Maria Skłodowska-Curie przedstawiła 12 kwietnia 1898 roku na posiedzeniu Francuskiej Akademii Nauk w Paryżu. Oto ważny fragment z jej tekstu:

*„Badalam przewodnictwo powietrza pod wpływem promieni uranowych odkrytych przez Pana Becquerela i poszukiwalam innych, poza solami uranowymi, ciał, które byłyby zdolne do czynienia powietrza przewodnikiem elektryczności. W badaniach tych stosowałam kondensator płaski, którego jedna z płytek była pokryta jednorodną warstwą uranu lub innej sproszkowanej substancji. Między płytkami była utrzymywana różnica potencjałów 100 woltów. Absolutna wartość prądu przepływającego przez kondensator była wyznaczona za pomocą elektrometru i kwarcu piezoelektrycznego. Zbadalam dużą liczbę metali, soli, tlenków i minerałów (...).*

*Wszystkie badane związki uranu są bardzo aktywne; są one w ogólności tym bardziej aktywne, im więcej zawierają uranu. Bardzo aktywne są związki toru. Tlenek toru przewyższa aktywnością tor metaliczny. Należy zauważyć, że dwa najbardziej aktywne pierwiastki, uran i tor, to te o największym ciężarze atomowym... Dwie rudy uranu, blenda smolista (tlenek uranu) i chalkolit (fosfat miedzi i uranu), są znacznie bardziej aktywne niż sam uran. Jest to fakt zdumiewający i nasuwa się przypuszczenie, że minerały te mogą zawierać pier-*

wiastek znacznie bardziej aktywny od uranu (...). W celu wyjaśnienia spontanicznego promieniowania uranu i toru można sobie wyobrazić, że cała przestrzeń jest bezustannie przeszzywana przez promienie podobne do promieni Röntgena, lecz dużo bardziej przenikliwe, które mogą być pochłaniane tylko przez niektóre pierwiastki o dużym ciężarze atomowym, jak uran i tor”.

Niespodziewane wyniki podane w tej pracy, ogłoszonej drukiem w maju 1898 roku, ponownie skierowały uwagę badaczy na promienie Becquerela. Do badań nad promieniami Becquerela dołączył się mąż Marii, Pierre. Maria Skłodowska-Curie tak napisała o tym we wstępie do swojej rozprawy doktorskiej:

*„Okazało się, że wyniki, do jakich mnie ta praca doprowadziła, odsłaniają widoki tak ciekawe, że pan Curie, odstępując od swych robót, będących w biegu, przyłączył się do mnie i odtąd wspólnie nasze usiłowania skierowaliśmy ku wydobyciu nowych ciał promieniotwórczych i ich zbadaniu”.*



Maria i Pierre Curie w laboratorium

W lipcu 1898 roku małżonkowie Curie donieśli o odkryciu polonu, a w grudniu tego samego roku o odkryciu radu. W komunikacie o odkryciu polonu, przedstawionym w Francuskiej Akademii Nauk w dniu 18 lipca 1898 roku, znalazło się zdanie o wydźwięku politycznym, zwracającym uwagę na pozostającą pod zaborami Polskę:

*„Niektóre rudy, zawierające uran i tor (blendy smoliste, chalkolit, uranit) są bardzo aktywne pod względem emisji promieni Becquerela. W poprzedniej pracy jedno z nas wykazało, że ich aktywność jest nawet większa od aktywności uranu i toru i wyraziło opinię, że fakt ten należy przypisać jakiejś innej, nadzwyczaj aktywnej substancji, która znajduje się w tych rudach w bardzo nieznacznej ilości (...) Przypuszczamy, że ciało, które wyodrębniliśmy z blendy smolistej, zawiera nieznaną jeszcze metal, zbliżony do bizmutu pod względem właściwości chemicznych. Jeśli istnienie tego metalu się potwierdzi, proponujemy dla niego nazwę „polon” – od nazwy ojczyzny jednego z nas.”*

W roku 1903 Maria Skłodowska-Curie, jako pierwsza kobieta w historii otrzymała stopień doktora fizyki. W tym samym roku małżonkowie Curie otrzymali wspólnie Nagrodę Nobla z fizyki, dzieląc ją z Becquerelem. W tym okresie kobietom odmawiano wielu praw. Miały trudności w dostaniu się na wyższe uczelnie, a także odmawiano im możliwości studiowania nauk ścisłych. Wielu ludziom wydawało się mało prawdopodobne by na pomysł badania promieniotwórczości mogła wpaść młoda kobieta, do tego Polka. Wśród Francuzów częste było wtedy przekonanie, że to wybitny uczyony Pierre Curie podsunął swojej żonie Marii temat badań i czuwał nad nimi. Uważano, że pełniła tylko rolę pomocniczą. Jednak wszystkie znane fakty świadczą o tym, że jest to przekonanie nieprawdziwe i niesprawiedliwe. Maria Skłodowska-Curie zawsze podkreślała, że odkrycia w dziedzinie promieniotwórczości są wspólnym dziełem jej i jej męża.

Pierre Curie, po otrzymaniu Nagrody Nobla, otrzymał zgodę na założenie własnego laboratorium i przyznany mu został tytuł profesora. W laboratorium tym, Maria Skłodowska-Curie została kierownikiem badań. W tym też czasie urodziła drugą córkę Ewę.

W dniu 19 kwietnia 1906 r. Pierre Curie zginął tragicznie pod kołami ciężkiego powozu konnego na ulicy w Paryżu. 13 maja tego samego roku rada wydziałowa postanowiła utrzymać katedrę, stworzoną przez Pierre'a Curie, i powierzyła ją Marii Skłodowskiej-Curie. Maria stała się pierwszą kobietą-profesorem Sorbony i po śmierci męża kontynuowała badania. W roku 1911 otrzymała drugą nagrodę Nobla, tym razem z chemii, za badania dotyczące radu. Nagroda ta przekonała rząd francuski do przyznania środków na budowę prywatnego Instytutu Radowego – *Institute du radium* (obecnie *Institut Curie*), który został wzniesiony w 1914 r. i w którym prowadzono badania z zakresu chemii, fizyki i medycyny. Instytut ten stał się kuźnią noblistów – wyszło z niego jeszcze czterech laureatów nagrody Nobla, w tym córka Marii Skłodowskiej-Curie, Irène, i zięć Frédéric Joliot-Curie.

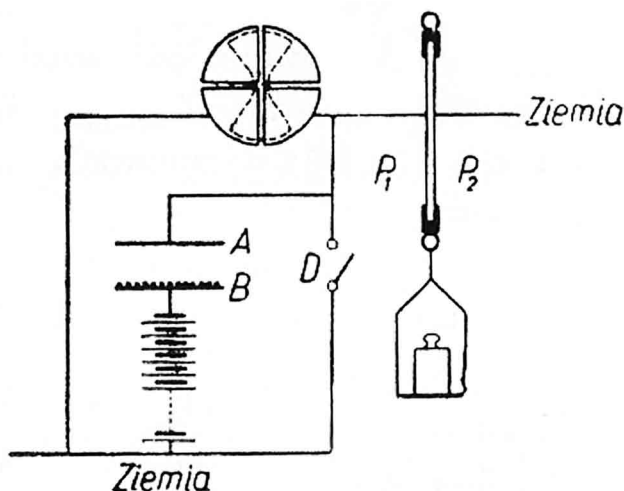
W trakcie I wojny światowej Maria Skłodowska-Curie była szefem wojskowej komórki medycznej zajmującej się organizacją polowych stacji rentgenograficznych. Po zakończeniu wojny Maria nadal szefowała Instytutowi Radowemu w Paryżu. Jeździła po świecie i pomagała poprzez swoją fundację zakładać medyczne instytuty leczenia chorób nowotworowych. W 1932 roku, z pomocą Prezydenta RP Ignacego Mościckiego, jeden z pierwszych takich instytutów został założony w Warszawie (obecnie Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie). Jego pierwszym szefem została siostra Marii Skłodowskiej-Curie, Bronisława. Maria ofiarowała nowej placówce gram radu, będący jej własnością. Był on podstawą rozpoczęcia działalności Instytutu, zarówno naukowej jak i medycznej.

Oznaczenie ilości radu w źródle radowym, odbywało się najczęściej drogą pomiarów promieniowania gamma. W celu ujednoczenia pomiarów wykonywanych w różnych krajach Komisja Wzorców wybrana w Brukseli w 1910 r. postanowiła utworzyć wzorzec międzynarodowy radu. Wzorzec ten został sporządzony w sierpniu 1911 roku przez Marię Skłodowską-Curie. Była to cienkościenna rurka szklana, zawierająca 21,99 mg bardzo czystego chlorku radu. W Wiedeńskim Instytucie Radowym sporządzono inny wzorzec zawierający 31,17 mg chlorku radu jako wzorzec pomocniczy. W 1912 roku komisja dokonała porównania obu wzorców i stwierdziła ich zupełną zgodność. Międzynarodowy wzorzec był przechowywany w Międzynarodowym Biurze Miar w Sèvres pod Paryżem, skąd przenosiło się go do Instytutu Radowego w Paryżu w celu sprawdzania wzorców wtórnych. Wzorce wtórne powinny być porównywane z wzorcem międzynarodowym i z wzorcem pomocniczym z dokładnością do 0,2 % i są one przeznaczone dla instytucji metrologicznych różnych krajów. Zalecano, aby Laboratorium pomiarów promieniotwórczości instytucji metrolo-

gicznej danego kraju posiadało kilka wzorców o różnej zawartości radu, których wartości wzajemnych stosunków były dokładnie znane. Zalecano również, by do oznaczenia ilości radu stosować metodę pomiarów elektrometrycznych zamiast ważenia.

## Metoda badawcza

W badaniach promieniotwórczości związków uranu i toru, Maria Skłodowska-Curie stosowała precyzyjny, czuły elektrometr. Szkic układu badawczego, przedstawiony jest na rysunku poniżej, a budowę i zasadę działania tego układu pomiarowego tak opisała w swojej rozprawie doktorskiej:



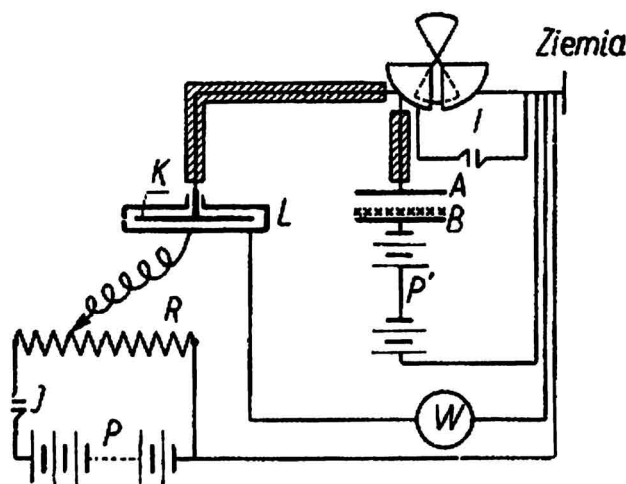
Schemat układu badawczego do pomiarów promieniotwórczości metodą piezoelektryczną

„Przyrząd używany przeze mnie w tym celu, składa się głównie z kondensatora o dwu talerzach AB. Substancja czynna, drobno sproszkowana, jest umieszczona na talerzu B; nadaje ona własność przewodzenia warstwie powietrza między talerzami. Chcąc zmierzyć przewodnictwo, doprowadzamy talerz B do wysokiego potencjału, łącząc go z jednym z biegunów baterii małych akumulatorów P, której biegun drugi jest połączony z ziemią, zatem pomiędzy temi talerzami wytwarza się prąd elektryczny. Potencjał talerza A jest wskazywany przez elektrometr E. Jeżeli zerwiemy połączenie z ziemią w punkcie C, talerz A ładuje się, a ładunek jego odchyła elektrometr. Szybkość tego odchylenia jest proporcjonalna do siły prądu i może służyć do jego mierzenia. Lepiej jednak dokonywać tego pomiaru, kompensując ładunek talerza A tak, żeby elektrometr pozostawał na punkcie zero. Ładunki, o które tu idzie, są nadzwyczaj słabe; mogą one być kompensowane za pomocą kwarcu piezoelektrycznego Q, którego jedno uzbrojenie jest złączone z talerzem, drugie zaś - z ziemią. Błaskę kwarcową poddajemy wyciąganiu, którego wielkość jest znana i oznaczona przez ciężarki, umieszczane na talerzyku  $\pi$ ; obciążenia dokonywa się stopniowo, a następstwem tego jest stopniowe wytworzenie pewnej znanej ilości elektryczności w ciągu czasu, który mierzymy (...)”.

Inną metodą proponowaną przez Marię Skłodowską-Curie w jej książce pt. „Promieniotwórczość” jest zmiana ładunku kondensatora. Prąd kompensacyjny jest dostarczany drogą stopniowego ładowania kondensatora o znanej pojemności C aż do znanego

potencjału  $V$  lub też drogą postępowania odwrotnego. Jeżeli czas trwania kompensacji wynosi  $t$ , natężenie  $I$  prądu posiada wartość bezwzględną:

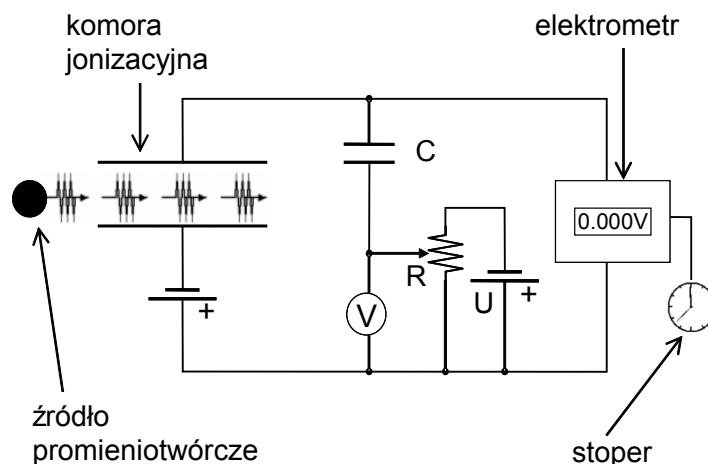
$$I = \frac{C \Delta V}{\Delta t}$$



Schemat układu pomiarowego do badań promieniotwórczości metodą kompensacyjną

Wewnętrzna okładka  $K$  kondensatora połączona jest z układem izolowanym, okładka zewnętrzna  $L$  z suwakiem ruchomym wzdłuż wielkiego oporu  $R$  włączanego w obwód ogniwa  $P$ , którego jeden z biegunów jest uziemiony. Zmieniając położenie suwaka zmieniamy potencjał  $L$  od 0 do  $V$ ; potencjał ten mierzymy za pomocą woltomierza  $W$ .

W Głównym Urzędzie Miar wykorzystuje się do dnia dzisiejszego metodę kompensacyjną przedstawioną przez Marię Skłodowską-Curie w jej pracy. Jest to tzw. metoda kompensacji Townsenda, w której przyrost ładunku elektrycznego, wywołany prądem jonizacyjnym, jest manualnie wyrównywany przez doprowadzenie do układu takiego samego ładunku. Układ ten schematycznie przedstawia poniższy rysunek.



Schemat kompensacyjnego układu pomiarowego stosowanego w GUM



Elektrometr w tym układzie użyty jest jako wskaźnik zera. Jedna z okładek kondensatora C ładowana jest prądem jonizacyjnym z komory jonizacyjnej, natomiast do drugiej okładki przykładamy napięcie kompensacji  $V$  poprzez potencjometr R ze źródła napięcia  $U$ . Prąd jonizacyjny  $I$  wyrażony jest zależnością:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Prąd ten przenosi na okładkę kondensatora ładunek  $\Delta Q$  w czasie  $\Delta t$ . Równy, co do wartości bezwzględnej, lecz przeciwnego znaku ładunek doprowadzany jest do niej, gdy przez przesunięcie suwaka potencjometru zmienimy napięcie drugiej okładki kondensatora o  $\Delta U$  tak, aby:

$$\Delta Q = C\Delta U$$

W chwili obecnej względna złożona niepewność pomiaru prądu jonizacyjnego w GUM wynosi ok. 0,06 %.

## Podsumowanie

Maria Skłodowska-Curie zmarła 4 lipca 1934 roku w alpejskiej klinice Sancellemoz w Passy na białaczkę spowodowaną najprawdopodobniej wysokimi dawkami promieniowania pochłoniętymi podczas badań nad promieniotwórczością. W uznaniu zasług dla Francji, spoczęła wraz z mężem Pierre'em w paryskim Panteonie. Ich ciała zostały tam przeniesione w 1995 roku z francuskiego miasteczka Sceaux z inicjatywy François Mitterranda. Uroczystości przewodniczył Prezydent Rzeczypospolitej Lech Wałęsa, a uczestniczyła 91-letnia wówczas Ewa Curie – druga córka Marii.

Myślmy, że najlepszym podsumowaniem dokonań Marii Skłodowskiej-Curie są słowa jej córki Ireny Joliot-Curie zawarte we wstępie do książki Marii pt. „Promieniotwórczość”, napisanej tuż przed jej śmiercią:

*„Rozwój nauki o promieniotwórczości można podzielić na trzy wielkie okresy. W pierwszym okresie, zawierającym w przybliżeniu 15 lat początkowych, jesteśmy świadkami szybko po sobie następujących wielkich podstawowych odkryć: odkrycie promieniotwórczości przez Becquerela w r. 1896, odkrycie polonu i radu przez Piotra i Marię Curie w r. 1898 – i potem – odkrycie prawie wszystkich naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. Badanie tych tajemniczych ciał pasjonuje zarówno fizyków, jak i chemików: odkrywają oni podstawowe właściwości promieni alfa, beta, gamma, wysyłanych przez pierwiastki promieniotwórcze, jak również zależności między wysyłaniem promieni a przemianą promieniotwórczą; ustalają prawa tych przemian, samoistnych przekształceń się atomów – pierwszych, jakie obserwowano. Badanie pochłaniania promieni alfa w substancjach doprowadza do odrzucenia używanego wówczas modelu atomu i zastąpienia go obecnym pojęciem atomu jako układu planetarnego.*

*Jednocześnie, już od pierwszych lat, ta nowa wiedza odślania ludziom pracującym w różnych dziedzinach nauki wspaniałe perspektywy i pobudza silnie wyobraźnię szerokich mas. W kilka lat po odkryciu radu dostrzega się działanie biologiczne jego promieniowania i dokonywa się pierwszych prób zastosowania go w medycynie. Odkrycie ciepła wydzielanego przez pierwiastki promieniotwórcze zmienia gruntownie pojęcia fizyków, dotyczące ewolucji cieplnej kuli ziemskiej; pomiary ilości ołowiu zawartego w minerałach promieniotwórczych*

pozwalają ustalić pierwszą, względnie dokładną metodę określania wieku epok geologicznych. Jednak tym, co głównie pobudza wyobraźnię zarówno szerokiej mas, jak i uczonych, jest zjawisko zasadnicze, nowy, świeżo odkryty fakt podstawowy: atomy są złożone i zawierają energię.

Gdy Becquerel odkrył promieniowanie wysyłane przez uran, zaobserwował on po raz pierwszy 'energię atomową', o której tyle się mówi obecnie. Prawdę mówiąc pierwiastki promieniotwórcze, nawet najbardziej aktywne, wytwarzają energię w tak małych ilościach, iż można by sądzić, że mało kto zda sobie sprawę z ważności tego odkrycia. A jednak od pierwszych lat naszego wieku spotykane w powieściach opisy fantastycznych maszyn poruszanych radem jako paliwem wykazują, że wielkie znaczenie tego zdumiewającego faktu naukowego było całkowicie doceniane.

Po tym okresie zadziwiającej ewolucji, mniej więcej w okresie wojny 1914 – 1918 zmienia się charakter badań promieniotwórczości: pogłębia się wiadomości zebrane pośpiesznie w ciągu pierwszych lat; przeprowadza się dokładne badania promieniowania wysyłanego przez każdy pierwiastek promieniotwórczy. Można było mniemać, że nauka o promieniotwórczości osiągnęła już takie stadium, w którym nie ma miejsca na nowe, wielkie odkrycia w tej dziedzinie, można tylko precyzować uprzednio otrzymane rezultaty. Było to jednak złudzenie: w roku 1919 następuje odkrycie przez Rutherforda pierwszych przemian wywołanych sztucznie – spełniają się marzenia dawnych alchemików. Jeżeli jednak promieniotwórczość naturalna ukazała energię jądrową w niezmiernie małych ilościach, to przemiany sztuczne otrzymywane w tym czasie przy pomocy ciał promieniotwórczych – są jeszcze trudniejsze do obserwowania. Podczas gdy rad w ciemności świeci w sposób widoczny, wytwarza jonizację łatwą do zmierzenia, powoduje niebezpieczne oparzenia lub daje wyraźne efekty lecznicze – przemiany badane w latach 1920 – 1930 są zjawiskami tak rzadko występującymi, że stają się dostępne tylko fizykom zaopatrzonemu w najszybsze aparaty, przy czym badanie ich wymaga wiele trudu i jest o tyle powolne, o ile badanie pierwiastków promieniotwórczych naturalnych było szybkie.

Poczynając od roku 1930 wiele odkryć prawie jednoczesnych daje nowy rozmach fizyce jądrowej; jest to odkrycie neutronu, elektronu dodatniego, przemian dokonywanych pod wpływem cząstek sztucznie przyspieszanych, wreszcie odkrycie sztucznej promieniotwórczości.

Zarówno Fryderykowi Joliot, jak i mnie, radość wielką sprawia świadomość, że nasze odkrycie jest jakby dalszym ciągiem odkrycia Piotra i Marii Curie. W ciągu kilku lat dzięki coraz potężniejszym przyrządom przyspieszającym cząstki wytworzono dziesiątki sztucznych pierwiastków promieniotwórczych. Widzimy w tym czasie zadziwiająco szybki rozwój chemii jądrowej. Chciałabym tutaj zacytować słowa Fryderyka Joliot, wygłoszone w grudniu 1935 r. z okazji przyznania nagrody Nobla: 'Jeżeli zwróceni ku przeszłości rzucimy spojrzenie na rosnący coraz bardziej postęp nauki, stwierdzimy, iż badacze tworzący i rozbijający według swej woli pierwiastki będą mogli wytworzyć przemiany o charakterze wybuchowym, prawdziwe chemiczne reakcje łańcuchowe. Jeżeli takie przemiany będą się mogły rozwijać w substancjach, to można się spodziewać wyzwolenia olbrzymich ilości energii użytecznej'. Wystarczyło kilku lat zaledwie, żeby się te słowa prorocze sprawdziły, przy czym właśnie prace Fryderyka Joliot i jego współpracowników wielce się przyczyniły do wyzwolenia energii jądrowej. Tak szybkiego rozwoju nie sposób było wyobrazić sobie w owej chwili, gdy na początku naszego stulecia uczeni marzyli o następstwach odkrycia zjawiska promieniotwórczości.

Niestety rozwój ten nie został skierowany, tak jak być powinno, do wykorzystywania wiadomości naukowych jedynie w służbie ludzkości. Wielkim ciosem dla Piotra i Marii byłoby pierwsze zastosowanie energii jądrowej: bomba atomowa. Wydaje się, że z tej okropnej

możliwości zdali sobie oni sprawę w krótkim czasie po swym odkryciu, gdyż już w roku 1903 Piotr Curie kończył swe przemówienie z okazji przyznania nagrody Nobla następującymi słowami:

*‘Można sobie wyobrazić, że w rękach zbrodniczych rad może się stać bardzo niebezpieczny i można by tutaj zadać pytanie, czy poznanie tajemnic przyrody przynosi ludzkości pożytek, czy jest ona na tyle dojrzała, żeby je odpowiednio wykorzystać – czy też znajomość ta okaże się dla niej szkodliwa. Przykład odkrycia Nobla jest charakterystyczny; silne środki wybuchowe pozwoliły ludziom dokonać dzieł godnych podziwu. Są one jednak również strasznym narzędziem zniszczenia w rękach zbrodniarzy, którzy pociągają narody do wojny. Jestem jednym z tych, którzy jak Nobel wierzą, że z nowych odkryć ludzkość wydobędzie więcej dobra niż zła.’*

*Te, jak to obecnie widzimy, po prostu prorocze słowa, zabarwione jednak optymizmem, wyrażały również przekonania Marii Curie; przywiązywała ona do nich taką wagę, że umieściła je na wstępie napisanej przez siebie małej biografii Piotra Curie. Maria Curie miała głęboki wstręt do wojny i za profanację uważała zastosowanie nauki do celów wojennych. Żadne racje polityczne nie byłyby dla niej dostatecznym wytłumaczeniem użycia bomby atomowej i uporczywego poszukiwania coraz potężniejszych środków zniszczenia.”*

## Literatura

- [1] Maria Skłodowska-Curie: *Promieniotwórczość*, PWN, Warszawa 1953.
- [2] Andrzej Kajetan Wróblewski: *Historia fizyki*, PWN, Warszawa 2009.