

**PRZYRZĄDY POMIAROWE PIOTRA CURIE
I ICH ZNACZENIE DLA BADAŃ
NAD PROMIENIOTWÓRCZOŚCIĄ**

**PIERRE CURIE'S MEASURING INSTRUMENTS
AND THEIR SIGNIFICANCE
FOR THE STUDY OF RADIOACTIVITY**

Piotr Chrzastowski

*Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie
e-mail: chrzastp@agh.edu.pl*

Abstract
Piśmiennictwo cytowane



Dr inż. Piotr Jerzy Chrząstowski, absolwent i wieloletni wykładowca Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Po ukończeniu studiów w zakresie elektrotechniki hutniczej, w specjalności energoelektronika, rozpoczął pracę w Instytucie Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych AGH na stanowisku inżyniera, a następnie po uzyskaniu w 1997 r. stopnia doktora nauk technicznych pracował w Katedrze Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii AGH na stanowisku adiunkta. Jego zainteresowania naukowe skupiały się na zagadnieniach dotyczących przekształtnikowych napędów prądu przemiennego i symulacji komputerowej układów elektromechanicznych. We wrześniu 2018 roku przeszedł na emeryturę. Główne zainteresowania pozazawodowe to historia nauki, fotografia i żeglarstwo. Jest sternikiem morskim i instruktorem żeglarstwa. Należy do Krakowskiego Yacht Clubu, do Stowarzyszenia Concept Sailing i do Bractwa Kaphornowców.



<https://orcid.org/0009-0001-9855-8840>

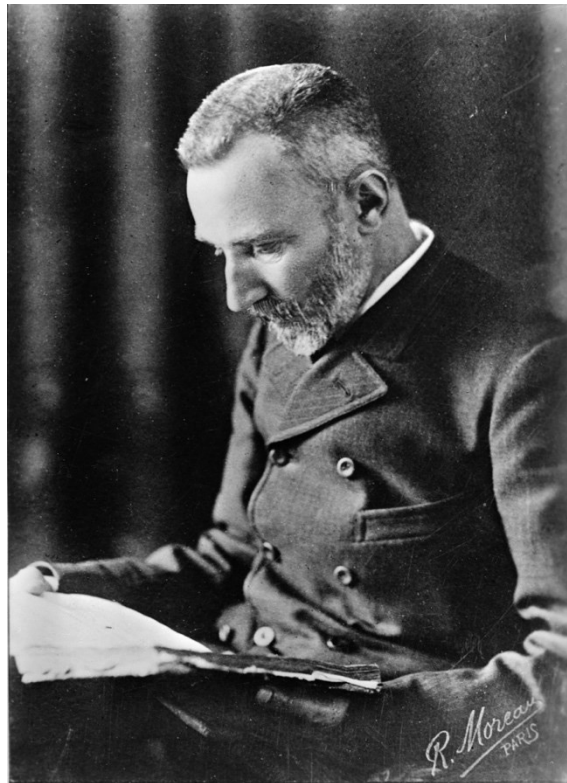
ABSTRACT

This paper describes the instrumentation developed by Pierre Curie in the 1880s to perform very precise measurements of electric charge and very small currents. This system, developed 150 years ago, was almost as precise as most present digital electronic charge measurement apparatuses. Maria Skłodowska-Curie used the same Curie quartz-electrometric system during her research from the selection of the research subject to the final discoveries. The main experimental difficulties regarding the measurement of picoampere leakage currents generated by radioactive rays were presented. It was emphasized that the availability for Marie Curie of a precise ready-to-use electrostatic measurement technique played an important, if not decisive, part in her career and her research. A more general issue addressed here is that laboratory techniques are not only a prerequisite of modern scientific work, but in a great part influence knowledge production.

Keywords: Pierre Curie, history of chemistry, history of physics, radioactivity, measuring instrument, piezoelectricity, electrometer

Słowa kluczowe: Piotr Curie, historia chemii, historia fizyki, promieniotwórczość, przyrząd pomiarowy, piezoelektryczność, elektrometr

Piotr Curie (rys. 1) był jednym z najznakomitszych fizyków przełomu XIX i XX wieku. *Dziela Piotra Curie* [1] zebrane przez Marię Skłodowską-Curie w tomie liczącym ponad 600 stron, świadczą o jego zainteresowaniu różnymi działami fizyki i związanymi z nią naukami [2]. Dziedziną, którą specjalnie lubił, była symetria zjawisk fizycznych [3]. Prowadził zakrojone na szeroką skalę badania nad magnetycznymi własnościami ciał, odkrył i zbadał także wraz z bratem Jakubem nowe zjawisko fizyczne – piezoelektryczność. Zbudował szereg nowych przyrządów fizycznych: układ wykorzystujący kwarc piezoelektryczny, wagę aperiodyczną z bezpośrednim odczytywaniem najmniejszych ciężarków, czy nowy typ elektrometru kwadrantowego i kondensatora z pierścieniem ochronnym [4].

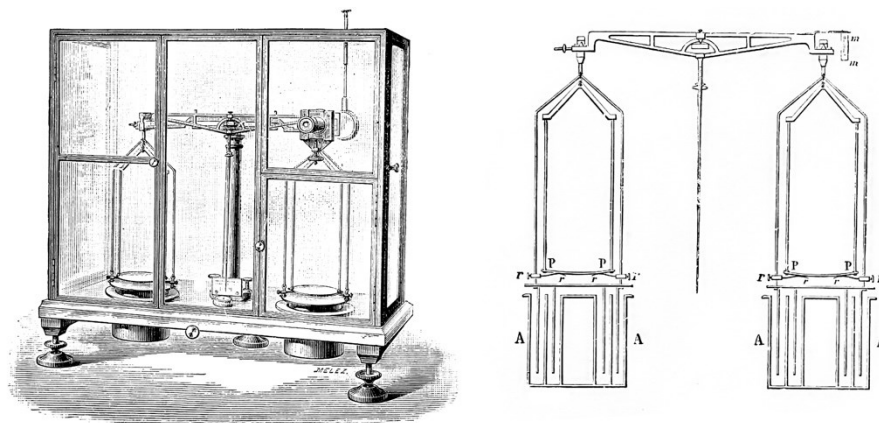


Rysunek 1. Piotr Curie, 1905. Fot. R. Moreau, Musée Curie (Coll. ACJC)

Figure 1. Pierre Curie, 1905. Photo. R. Moreau, Musée Curie (Coll. ACJC)

Krystalografia, fizyka jądrowa, geologia, medycyna, a także inne gałęzie nauki zaczerpnęły z prac badawczych Piotra Curie szereg podstawowych praw i metod eksperymentalnych. Już pierwsza z prac, wykonana wspólnie z prof. Dessainsem, wykazała nieprzeciętne zdolności Piotra. Dotyczyła pomiaru długości fal cieplnych za

pomocą siatki i stosu termoelektrycznego. Bardzo precyzyjna, specjalnie wykonana, siatka składała się z cienkich drucików metalowych o średnicy 1/8 mm. Jej stała wynosiła 0,252 mm. Długości mierzonych fal zawierały się w granicach od 588 do 7000 nm. Innym przyrządem zaprojektowanym przez Piotra Curie była słynna waga aperiodyczna (rys. 2), zwana wagą Curie. Posiadała ona jedno ramię zaopatrzone w ciężarek, którego położenie można było określić dokładnie – za pomocą lupy. Dzięki zastosowaniu urządzenia tłumiącego periodyczne ruchy wagi proces ważenia przebiegał stosunkowo szybko. Za pomocą tej wagi, wyznaczano ciężary ciał z dokładnością do 0,00001 G [5].



Rysunek 2. Waga aperiodyczna Curie; z prawej: schemat elementu tłumiącego wahanie. Domena publiczna
Figure 2. Aperiodic Curie balance; right: diagram of the fluctuation damping element. Public domain

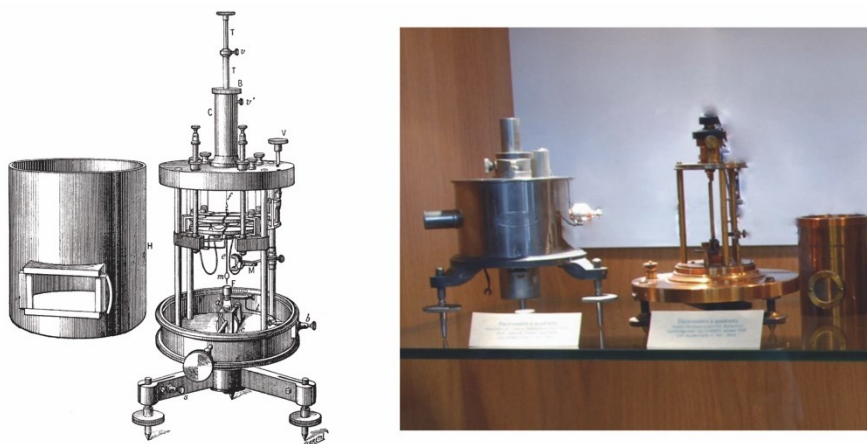
Kiedy Piotr Curie i Maria Skłodowska się poznali, on miał trzydzieści pięć, a ona tylko dwadzieścia siedem lat. Piotr miał już wtedy za sobą długą drogę naukową i imponujący dorobek, a Maria właśnie ukończyła studia. Kiedy się poznali, Maria oczarowała Piotra swoją energią, szczerością, intelektem i urodą. Piotr z kolei wywarł na Marii silne wrażenie swoją serdecznością, prostotą i uśmiechem, który jak Maria wspominała był jednocześnie poważny i młody [6]. To znamienne, że Piotr będąc człowiekiem bardzo nieśmiałym i skromnym, chcąc zainteresować Marię, przesłał jej na początku ich znajomości swoją pracę naukową z dedykacją: „Pannie Skłodowskiej z wyrazami szacunku i przyjaźni – autor P. Curie”. Jak się wydaje, zrobiło to na niej większe wrażenie niż setki bukietów kwiatów.

Oboje różnili się znacznie charakterami, ale świetnie się nawzajem uzupełniali. Piotr był idealnym partnerem dla żony, właśnie zaczynającej swoją pracę naukową. Mimo swoich osiągnięć w nauce, nigdy nie ubiegał się o zaszczyty i zawsze podkreślał zasługi innych, nawet na tym polu, na którym jego własne dokonania były dominujące. Sukcesy innych przyjmował z radością, służył zawsze radami i wska-

zówkami każdemu, kto się do niego zwrócił. Nie konkurował z Marią, lecz wspierał ją, doceniał i dopingował. Był dla niej nie tylko mężem, lecz także mentorem i przyjacielem. Przez jedenaście lat państwo Curie doskonale ze sobą współpracowali, zarówno w życiu codziennym, jak i w pracy naukowej. Połączył ich taki sam podziw dla nauki, miłość do natury, troska o sprawiedliwość społeczną, poczucie materialnej bezinteresowności i wolności. Stronili od spraw związanych z polityką i nigdy nie manifestowali swych przekonań. Razem stworzyli wyjątkowy zespół składający się z chemika i fizyka – naukowców na najwyższym poziomie. Piotr był skłonny do marzeń i kontemplacji, ale był też genialnym konstruktorem aparatury naukowej. Maria była bardziej konsekwentna, wytrwała i lepiej zorganizowana w działaniu. Kiedy Piotr zniechęcony niezwykle ciężkimi warunkami pracy chciał ją przerwać i odłożyć do czasu, w którym ulegną one poprawie, to właśnie Maria nie zrezygnowała z walki, a jej hart ducha i zapał udzielały się mężowi. Pracując razem, dokonali odkrycia, za które otrzymali w 1903 roku Nagrodę Nobla.

Analizując metodę zastosowaną w badaniach przez Marię i Piotra Curie warto zwrócić uwagę na wykorzystaną przez nich aparaturę pomiarową. Była ona bez porównania dokładniejsza od tej, jaką dysponowali ich konkurenci: Ernest Rutherford czy William Thomson. Maria Skłodowska-Curie sama wybrała temat swojej rozprawy doktorskiej, decydując się podjąć studia nad niedawno odkrytym przez Henri'ego Becquerela promieniowaniem. Jej zainteresowanie tym tematem udzieliło się Piotrowi Curie, który przerwał swoje badania krystalograficzne i również wziął udział w badaniu tajemniczych promieni. Dzięki wcześniejszym pracom braci Jacques'a i Piotra Curie jako jedyni mogli prowadzić badania ilościowe promieniowania wykorzystując kwarc piezoelektryczny jako standard pomiarowy [7].

Po odkryciu zjawiska piezoelektryczności, w celu zmierzenia niewielkich różnic potencjałów na ściankach kryształu, bracia Curie zbudowali elektrometr aperiodyczny typu kwadrantowego (rys. 3) i podali jego dokładną teorię [8]. Przyrząd ten został później nazwany elektrometrem Curie. Następnie zajęli się badaniami zmierzającymi do wykazania efektu, który – w oparciu o termodynamiczną interpretację zjawiska piezoelektryczności – przewidział prof. Gabriel Lippman. Chodziło o wykazanie odkształceń, którym miał podlegać kwarc umieszczony w polu elektrycznym. Odkształcenie jakie otrzymano było równe 0,00058 mm. Obserwacja tak niewielkiej zmiany wymagała zastosowania subtelnych metod optycznych, które bracia Curie doprowadzili do wielkiej precyzji.



Rysunek 3. Z lewej: schemat budowy elektrometru typu kwadrantowego. Domena publiczna.

Z prawej: elektrometry kwadrantowe Curie w Musée Curie w Paryżu. Fot. P.Chrząstowski, 2008

Figure 3. Left: construction diagram of a quadrant type electrometer. Public domain.

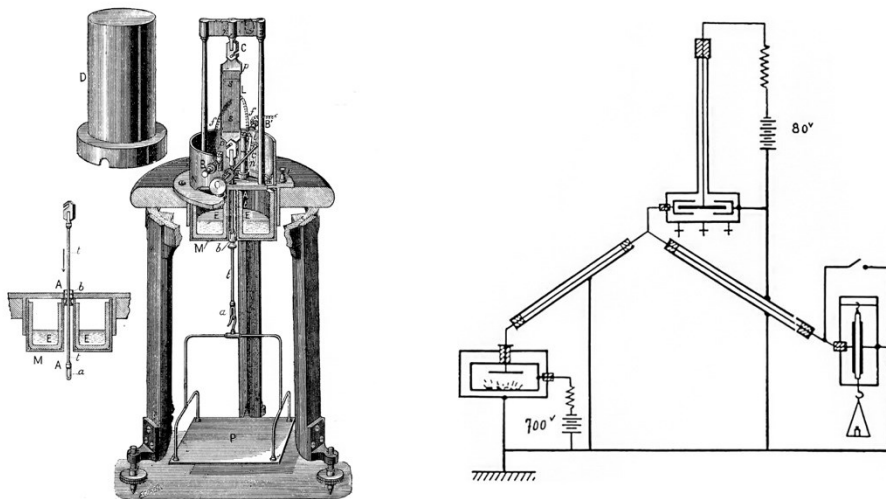
Right: Curie quadrant electrometers at the Musée Curie in Paris. Photo P. Chrząstowski, 2008

Opracowany przez Piotra i Jacques'a Curie kwarcowo-elektrometryczny system pomiarowy był prawdopodobnie pod koniec XIX wieku najdokładniejszym dostępnym narzędziem dla pomiarów bardzo słabych prądów [9]. Połączenie generatora ładunku zbudowanego z wykorzystaniem piezoelektrycznego kwarcu blaszkowego i kwadrantowego elektrometru stworzyło układ, który był w stanie wykryć ładunki rzędu kilku pikokulombów oraz dokładnie zmierzyć prądy o natężeniu kilku dziesiątych pikoamperów – rys. 4. Mając możliwość wykonania tak dokładnych pomiarów Jacques Curie badał zjawiska fizyczne zachodzące w materiałach izolacyjnych i sformułował prawo absorpcji dla izolatorów.

Kiedy z końcem 1897 roku Maria Skłodowska-Curie podjęła badania związane z jej pracą doktorską, zmodyfikowała doświadczenie Becquerela i zamiast kliszy fotograficznej użyła bardzo czułego, precyzyjnie wykonanego i wykalibrowanego elektroskopu. Gdy promieniowanie wysyłane przez uran bombardowało cząsteczki powietrza znajdujące się w pobliżu elektroskopu, powodowało wytworzenie jonów. W ten sposób powietrze stawało się przewodnikiem i przenosiło część lub całość ładunku elektroskopu, powodując jego rozładowanie i opadanie listków. Na podstawie zmiany kąta listków elektroskopu osoba eksperymentująca mogła określić siłę promieniowania. Dzięki rozładowywaniu elektroskopu listkowego przez promieniowanie emitowane z blendy smolistej Maria Skłodowska-Curie stwierdziła, że natężenie promieni Becquerela zależy wyłącznie od zawartości uranu w próbce i jest względem niej proporcjonalne. Wyciągnęła słuszny wniosek, że jest ono właściwością atomową uranu. Inni uczeni prowadzili w tym samym czasie badania nad promieniowaniem Becquerela, ale żaden

z nich nie pomyślał o prowadzeniu badań ilościowych. Kolejnym ważnym krokiem uczonej było zbadanie aktywności wszystkich znanych wówczas pierwiastków chemicznych występujących w stanie wolnym lub związanym, w tym kilkunastu związków uranu i rud uranowych [7].

Do ilościowego pomiaru radioaktywności Maria Skłodowska-Curie zastosowała unikatową metodę opracowaną przez braci Curie. Aparatura pomiarowa obejmowała: komorę jonizacyjną (w której umieszczano badaną próbkę), elektrometr kwadrantowy (który mierzył ładunek elektryczny) oraz kwarc piezoelektryczny (który kompensował ładunek wytworzony przez próbkę).



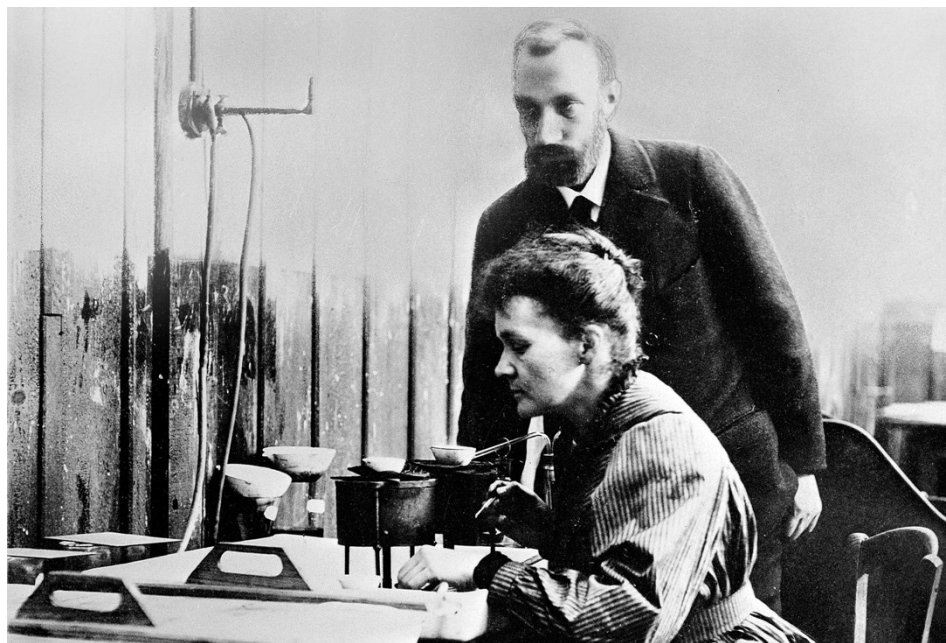
Rysunek 4. Z lewej: kwarc piezoelektryczny. Z prawej: schemat układu pomiarowego. Domena publiczna
Figure 4. Left: piezoelectric quartz. On the right: diagram of the measurement system. Public domain

Metoda pomiaru była następująca (rys. 5): na dolnej płytce płaskiego kondensatora umieszczano badaną substancję promieniotwórczą w postaci proszku. Płytkę tej udzielano potencjału dodatniego za pomocą baterii akumulatorów. Górna płytka była połączona z elektrometrem Curie. Pod wpływem prądu płynącego wskutek zjonizowania powietrza elektrometr łądował się. Ładunek ten kompensowano ładunkiem znaku przeciwnego, powstającym na piezokwarcu, poddanym sile rozciągającej. Miarą ładunku wytworzonego na ściankach piezokwarcu był ciężarek położony na szalce. Metoda ta dawała dobre rezultaty, gdyż otrzymywane wyniki nie zależały od dokładności elektrometru. Mierzone prądy posiadały natężenie rzędu 10^{-11} A (pikoamperów).

Ilościowe badania promieniowania umożliwiły uczonej odkrycie, że emisja promieniowania niektórych minerałów zawierających uran, takich jak: blenda smolista, chalkolit czy autunit jest znacznie silniejsza, niż wynikałoby to z zawartości uranu w ich

składzie. Maria Skłodowska-Curie wysunęła śmiałą hipotezę, że minerał ten musi zawierać domieszkę nowego, nieznanego jeszcze nauce pierwiastka chemicznego, bardziej aktywnego niż uran. W taki sposób został odkryty polon, a następnie jeszcze bardziej od niego aktywny rad. Wykorzystując posiadaną aparaturę pomiarową Maria i Piotr wprowadzili nową metodę pracy, która stała się podstawową całej radiochemii: przeprowadzali chemiczne rozdzielanie różnych ciał zawartych w minerale i mierzyli promieniotwórczość każdej frakcji, uzyskując stopniowo pierwiastki w coraz czystszej postaci – rys. 6 i 7.

W swoim artykule Philippe Molinie i Soraya Boudia opisali współczesną rekonstrukcję eksperymentu Marii Curie i dokonali analizy zawartości jej zeszytów laboratoryjnych [9]. Wykazano, że pomimo opisanych przez Marię zdarzających się problemów z akumulatorami oraz przecieków promieniowania z komory jonizacyjnej, układ do pomiarów ładunków działał zawsze niezawodnie i wystarczająco dokładnie.

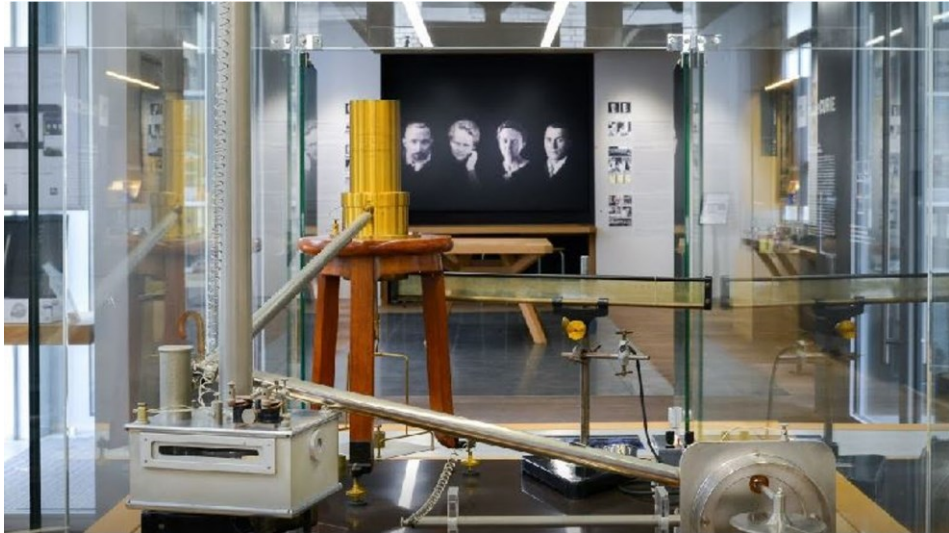


Rysunek 5. Maria i Piotr Curie w laboratorium, ok 1898. Domena publiczna

Figure 5. Marie and Pierre Curie in the laboratory, circa 1898. Public domain



Rysunek 6. Ekspozycja zestawu aparatów w Musée Curie w Paryżu. Fot. P. Chrząstowski, 2008
Figure 6. Exhibition of a set of cameras at the Musée Curie in Paris. Photo P. Chrząstowski, 2008



Rysunek 7. Ekspozycja zestawu aparatów w Musée Curie w Paryżu, odnowiona w 2012 roku dzięki darowiźnie Ewy Curie. Fot. P. Chrząstowski, 2023
Figure 7. Exhibition of a set of cameras at the Musée Curie in Paris, renewed in 2012 thanks to a donation from Evé Curie. Photo P. Chrząstowski, 2023

W publikacjach zajmujących się historią nauki autorzy najczęściej opisują pomysły i koncepcje uczonych. Stosunkowo rzadko zajmują się społecznymi i materialnymi warunkami, które towarzyszyły odkryciom naukowym. Często jednak aparatura i techniki pomiarowe, jakimi dysponowali naukowcy odgrywały zasadniczą rolę w ich pracach. Kwartowo-elektrometryczny system pomiarowy zastosowany do ilościowego określania radioaktywności najpierw w pracach Marii i Piotra Curie, a potem w Paryskim Instytucie Radowym, stał się źródłem wielu sukcesów. W pierwszej połowie XX wieku był międzynarodowym punktem odniesienia w pomiarach radioaktywności ze względu na swoją wiarygodność i precyzję. Zastosowane ponad sto lat temu urządzenia elektromechaniczne okazały się niemal tak dokładne, jak najnowocześniejsze elektroniczne urządzenia cyfrowe do pomiaru ładunku [9].

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

- [1] P. Curie, *Oeuvres de Pierre Curie*, Gauthier-Villars, Paris 1908.
- [2] S. Kapiszewski, *Życie i działalność Piotra Curie (1859–1906)*, <http://www.ifpan.edu.pl/ON-1/Historia/art/13pio.pdf> [dostęp: 10.12.2023].
- [3] P. Curie, *Sur la symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique*, *J. Phys. Theor. Appl.* 1894, **3** (1), s. 393.
- [4] M.P. Curie, *Notice sur les travaux scientifiques*, Gauthier-Villars, Paris 1902.
- [5] P. Curie, *Balance de précision aperiodique et à lecture directe des derniers poids*, *J. Phys. Theor. Appl.* 1890, **9** (1), s. 138.
- [6] M. Skłodowska-Curie, *Autobiografia i wspomnienia o Piotrze Curie*, Wydawnictwo GAL, Warszawa 2004.
- [7] T. Pospieszny, *Nowa Alchemia czyli historia radioaktywności*, Wydawnictwo Sophia, Warszawa 2022.
- [8] P. Curie, C. Chéneveau, *Sur un appareil pour la détermination des constantes magnétiques*, *J. Phys. Theor. Appl.* 1903, **2** (1), ss. 796.
- [9] P. Molinie, S. Boudia, *Mastering picocoulombs in the 1890s: The Curies' quartz–electrometer instrumentation, and how it shaped early radioactivity history*, *Journal of Electrostatics*, **67** (2009), s. 524.

Praca wpłynęła do Redakcji 11 grudnia 2023 r.

