

## 110 rocznica odkrycia polonu

Richard F. Mould

*110 rocznica odkrycia polonu przez Marię i Piotra Curie – jeszcze przed odkryciem radu - powinna zostać odnotowana w polskim piśmiennictwie medycznym, skoro nazwa pierwiastka wywodzi się od słowa: Polska. Przedstawiamy zatem to odkrycie, a zarazem omawiamy charakterystykę tego pierwiastka. Polon nigdy nie został użyty do celów medycznych, nie znalazł też innych istotnych zastosowań, nie licząc prób w przemyśle, m.in. jądrowym. Ponownie zwrócono nań uwagę po śmierci byłego oficera KGB Aleksandra Litwinienki w listopadzie 2006 r. w Londynie. Wcześniej z ekspozycją na polon wiązano, choć bez żadnych naukowych dowodów, śmierć kilku badających go uczonych, m.in. Ireny i Fryderyka Joliot-Curie. W niniejszej pracy odnosimy się również do tych sugestii.*

### Polonium: 110<sup>th</sup> anniversary of its discovery

*It is appropriate that the 110<sup>th</sup> anniversary of the discovery of polonium by Marie & Pierre Curie is commemorated in a Polish journal since this element was named for Poland and was also the element discovered by the Curies before they discovered radium. Polonium's discovery and characteristics are described. Polonium has never been used in medicine, and was largely forgotten apart from a few minor industrial uses, and as a trigger for a nuclear weapon, until the murder in November 2006 in London using <sup>210</sup>Polonium, of the ex-KGB officer Alexander Litvinenko. Polonium had previously been linked, without any definite proof, with the deaths of a few scientists who had worked with the element, including Irène and Frédéric Joliot-Curie. This review ends with possible evidence for such links.*

**Słowa kluczowe:** polon, odkrycie, <sup>210</sup>Polonium, Maria i Piotr Curie, Aleksander Litwinienko

**Key words:** polonium discovery, <sup>210</sup>Polonium, Marie & Pierre Curie, Alexander Litvinenko

### Odkrycie polonu w lipcu 1898

<sup>210</sup>Polon jest naturalnie występującym radionuklidem, odkrytym w lipcu 1898 roku przez małżeństwo Curie, podczas badania jonizujących właściwości blendy smolistej i innych minerałów uranu (Ryc. 1) [1]. Stwierdzono, że polon był związany z ekstraktem bizmutowym z blendy. Rad, odkryty nieco później – w grudniu tego samego roku – był związany z ekstraktem barowym [2].

Maria Curie zauważyła, że dwa minerały: uraninit i chalkolit mają znacznie większą aktywność od samego uranu. „Jest to bardzo znaczący fakt” stwierdziła “i pozwala przypuszczać, że te minerały zawierają inny element, znacznie bardziej aktywny od uranu”.

W publikacji przedstawiającej odkrycie polonu: “O nowej radioaktywnej substancji zawartej w blendzie uranowej” [1], stwierdzono: „Badania składowych uranu i toru wykazały, że właściwość emitowania promieni powodujących przewodnictwo powietrza i wywierających wpływ na płytki fotograficzne, jest specyficzną właściwo-

ścią uranu i toru stwierdzaną we wszystkich składowych tych metali, tym mniejszą, im mniejsza jest zawartość aktywnego metalu w składowej. Stan fizyczny substancji ma wyraźnie mniejsze znaczenie... Skoro wydaje się, że niektóre minerały są bardziej aktywne od uranu i toru, dzieje się tak dlatego, że zawierają inną substancję, bardziej aktywną od tych metali...Staraliśmy się wyizolować tę substancję w blendzie uranowej i eksperymenty potwierdziły następujące wnioski.... blenda była ok. dwóch i pół razy aktywniejsza w wytwarzaniu jonizacji od uranu....”

Małżonkowie Curie, kończąc swoją publikację, pisali: „W ten sposób można otrzymywać produkty o coraz większej aktywności. Na koniec uzyskaliśmy substancję o aktywności 400-krotnie przekraczającej aktywność uranu... Sądzymy, że ta substancja, izolowana z blendy, zawiera nieznaną metal... Jeśli istnienie tego nowego metalu potwierdzi się, proponujemy nadać mu nazwę *polonium*, pochodzącą od nazwy rodzinnego kraju jednego z nas (Madame Curie).” [1, 3].

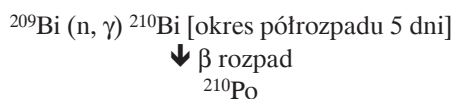


Ryc. 1. Awers i rewers polskiej srebrnej monety 20-złotowej z 1996 r., upamiętniającej odkrycie polonu i radu. Izotop polonu oznaczono błędnie symbolem  $^{209}\text{Po}$ , prawidłowo powinno być  $^{210}\text{Po}$ .

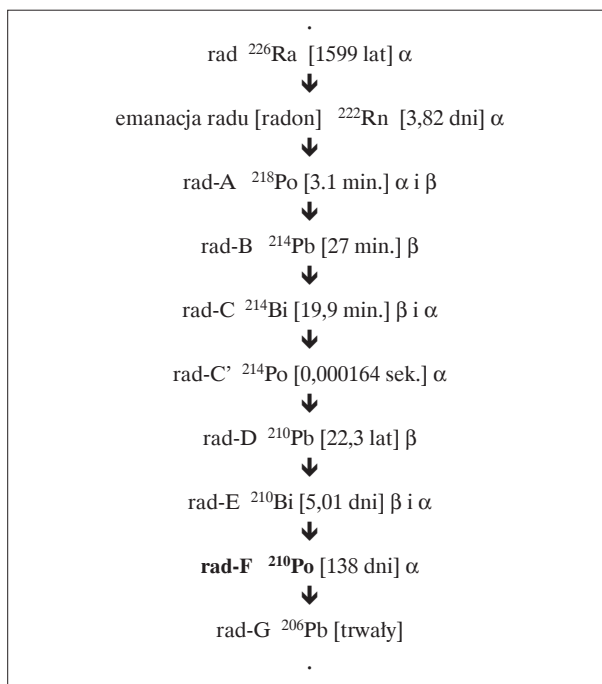
## Charakterystyka

Nie ma stabilnych izotopów polonum. Najdłużej trwającym radionuklidem tego pierwiastka, z liczbą atomową 84, jest  $^{209}\text{Po}$  o okresie półrozpadu 102 lata, z którego przez emisję cząstek alfa powstaje ołów-105. Komercyjnie można go uzyskać w Oak Ridge National Laboratory w cenie ok. US\$ 3200 za mikrocurie [4]. Znanych jest ponad 25 izotopów polonu, z liczbą masową pomiędzy 192 a 218. Wszystkie są radioaktywne, ale tylko trzy mają stosunkowo długi okres półrozpadu –  $^{208}\text{Po}$  (2,9 roku),  $^{209}\text{Po}$  i  $^{210}\text{Po}$  (138 dni). Wszystkie trzy mogą być produkowane w reaktorach lub akceleratorach cząstek, ale jest to bardzo kosztowne. Wszystkie trzy rozpadają się przez emisję cząsteczek alfa z podobnymi energiami (MeV), odpowiednio 5,1, 4,9 i 5,3 dla  $^{208}\text{Po}$ ,  $^{209}\text{Po}$  i  $^{210}\text{Po}$  [5] ale tylko  $^{210}\text{Po}$  występuje w naturze i jest elementem szeregu uranowego (Ryc. 2) [6].

Rudy uranu zawierają mniej, niż 0.1 miligrama  $^{210}\text{Po}$  na tonę.  $^{210}\text{Po}$  jest zwykle sztucznie produkowany w reaktorach jądrowych przez bombardowanie bizmutu- $^{210}$  (który jest trwałym izotopem) neutronami [5].



Natomiast – w odniesieniu do śmierci Litwinienki – Burgess z UK National Physical Laboratory [7] wykazał



Ryc. 2. Schemat rozpadu od radu- $^{226}$  do ołowiu- $^{206}$ , który zawiera polon- $^{210}$ , zwany również radem-F, okresy połowicznego zaniku (okresy półrozpadu) poszczególnych radionuklidów podano w nawiasach kwadratowych i zaznaczono rodzaj rozpadu alfa albo beta. Te wszystkie radionuklidy są częścią naturalnie występującej serii uranowej, która rozpoczyna się od alfa-emitera-uranu- $^{238}$  [4470 x  $10^6$  lat] i przechodzi przez tor- $^{234}$ , palad- $^{234}$ , uran- $^{234}$  i tor- $^{234}$ , zanim osiągnie rad- $^{226}$ . Radionuklidy, których nie pokazano, to: astat- $^{218}$  (0.04%), który jest stowarzyszony z ołowiem- $^{214}$  (99.6%), telur- $^{210}$  (0.04%), który jest stowarzyszony z polonem- $^{214}$  (99.6%) i telur- $^{206}$  (~ 10<sup>5</sup>%), który jest stowarzyszony z polonem- $^{210}$  (~ 100%), [6].

(w odróżnieniu od spekulacji prasowych, że to kontrolowane przez rząd rosyjski reaktory jądrowe są źródłem  $^{210}\text{Po}$ ), że  $^{210}\text{Po}$  może również być produkowany z  $^{226}\text{Ra}$ . Ta śmierć odbiła się szerokim echem w mediach, łącznie z pokazywaniem Litwinienki na łożu śmierci w University College Hospital w London. To zdarzenie jest wciąż żywo komentowane i przywraca pojęcie „polon” powszechnej świadomości, chociaż z przyczyn, które z pewnością nie ucieszyłyby małżonków Curie.

$^{210}\text{Po}$  emituje zazwyczaj niewykrywalne promieniowanie X lub gamma, a w zasadzie jest czystym emitentem alfa. Ma on bardzo wysoką aktywność właściwą, a 1 gram wytwarza 140 watów ciepła. Chemicznie polon jest podobny do teluru i bizmutu.

$^{210}\text{Po}$  jest wysoce trujący o LD<sub>50</sub> wynoszącym tylko 1 mikrogram dla osoby o wadze 80 kg. To jest porównywalne z 250 miligramami cyjanowodoru [8].

## Zastosowania $^{210}\text{Polonu}$

### Świece zapłonowe

Po raz pierwszy na skalę przemysłową użyto  $^{210}\text{Po}$  przy produkcji samochodowych świec zapłonowych. Emitowane cząsteczki alfa miały pomagać w wytwarzaniu mocniejszej iskry, wedle patentu z 1929 r., wydanego dla J. H. Dillona z Firestone Tire & Rubber Company

w USA. Firma wprowadziła takie świece na rynek w 1940 roku, ale nie udało się wykazać ich wyższości. [9].

### Elektryczność statyczna

Polonu używano niekiedy do wyeliminowania statycznej elektryczności powodowanej m.in. przez zwijanie papieru, drutu albo arkuszy blachy, produkcję płyt plastikowych i przedzenie sztucznych włókien. W tym celu z reguły używa się innych materiałów emitujących cząsteczki beta, ale  $^{210}\text{Po}$  jest zazwyczaj wprowadzany metodą galwanizacji do szczotek, tubek albo innych pojemników. Cząsteczki alfa z  $^{210}\text{Po}$  jonizują wokół powietrze, a wtedy jony powietrza neutralizują elektryczność na powierzchniach stykających się z powietrzem. Polonu używa się też przy produkcji szczotek usuwających kurz (mający tendencję do przylegania ze względu na elektryczność statyczną) z błon filmowych i obiektywów fotograficznych, ale należy czynić to z wielką ostrożnością, by nie narazić użytkowników na skażenie [4, 5].

### Jądrowy mechanizm spustowy bomby atomowej

$^{210}\text{Po}$  odegrał znaczącą rolę podczas II wojny światowej. Inżynierowie uczestniczący w Projekcie Manhattan stali radionuklidy z berylem, aby wyprodukować neutrony do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej w bombie atomowej. Pierwsza bomba atomowa na świecie, o kryptonimie *Trinity*, wyposażona była w mechanizm spustowy z  $^{210}\text{Po}$ . Ale, z powodu krótkiego okresu półrozpadu polonu, spusty jądrowe traciły swe zdolności w dwa lata i musiały być wciąż wymieniane. W latach 1970 zaczęto używać trytu – promieniotwórczego izotopu wodoru,  $^3\text{H}$ , o okresie półtrwania 12,3 lat [9].

### Satelity i pojazdy księżycowe

Próbowano też używać polonu jako źródła energii dla satelitów amerykańskich, ale znów na przeszkodzie stanął krótki okres połowicznego rozpadu i w zamian wprowadzono pluton. Natomiast uczeni radzieccy zastosowali polon w „Łunochodzie” [9].

### Wpływ na zdrowie

$^{210}\text{Po}$  jest szkodliwy dla zdrowia jedynie wewnątrzustrojowo. Jako emiter alfa nie jest niebezpieczny poza ustrojem – promienie alfa z trudem pokonują kilkucentymetrowy dystans w powietrzu. Natomiast emitery alfa mogą wyrządzić szkody biologiczne po wnikięciu do wnętrza organizmu [5].

Istnieje bardzo niewiele danych na temat ostrych zatruc polonem i tylko jeden potwierdzony przypadek zgonu (w 2001 r.) przed śmiercią Litwinienki. Wydarzyło się to w Rosji; robotnik zmarł w 13 dni po zachłyśnięciu aerozolem zawierającym  $^{210}\text{Po}$ . Przybliżone wchłonięcie wyniosło  $\sim 100$  MBq. Uporczywe wymioty rozpoczęły się w 2-3 dobie po incydencie; przybliżona skumulowana

dawka dla wątroby wyniosła 10 Gy a dla nerek – 30 Gy [7].

Natomiast, według książki *The bomb in the basement* [10], w latach 1957-69 niektóre zgony w Izraelu można podejrzewać o związek z  $^{210}\text{Po}$ . Nigdy nie zostało to oficjalnie potwierdzone przez władze. Wedle tej hipotezy, w 1957 r. skażenie  $^{210}\text{Po}$  nastąpiło w Instytucie Weizmana. Ślady radionuklidu stwierdzono na rękach fizyka o nazwisku Dror Sadeh, który potem zmarł na raka [10]. Jeden z jego studentów zmarł na białaczkę, a dwóch kolegów – wkrótce na raka

Polon może wnikać do organizmu z pokarmem, napojem (uważa się, że w przypadku Litwinienki stało się to podczas picia herbaty) lub wziewnie. Od 50% do 90% spożytego polonu pozostaje w przewodzie pokarmowym i jest wydalana ze stolcem. Reszta wnika do krążenia i rozpada się z biologicznym okresem półtrwania ok. 50 dni [5], wg innych źródeł – 30-50 dni [7]. Ok 45% koncentruje się w śledzionie, nerkach i wątrobie, 10% w szpiku. Pozostałe 45% rozprzestrzenia się w organizmie, lokując głównie węzłach chłonnych i śluzówce układu oddechowego [5].

Ocenia się, że osoba dorosła umrze po ok. trzech tygodniach od wchłonięcia 0,1-0,3 GBq  $^{210}\text{Po}$  do krwi. Jest to ok. 10% ogólnie wchłoniętej dawki 1-3 GBq. Zanika czynność szpiku, nerek i wątroby [7].

Burgess przedstawia pięć czynników powodujących, że  $^{210}\text{Po}$ , z punktu widzenia chemii i biologii, doskonale nadaje się na „radioaktywną truciznę”. Jest: (a) łatwy do puryfikacji (b) rozpuszczalny i bez trudu przechodzi przez ścianę przewodu pokarmowego (c) ma biologiczny okres półtrwania co najmniej 7 dni (d) koncentruje się w niewielu narządach, a więc ma niską minimalną aktywność letalną (e) jest łatwy w produkcji [7].

### Instytut du Radium w Paryżu

Historia polonu rozpoczyna się w lipcu 1898 r. odkryciem przez Marię i Piotra Curie. Niniejszy krótki przegląd zamykamy przyczynkiem z końcowego okresu życia następnego pokolenia – Ireny i Fryderyka Joliot-Curie. Oboje narażeni byli na nadmierną ekspozycję na  $^{210}\text{Po}$ . To prawdopodobnie spowodowało ich śmierć, choć nie jesteśmy w stanie tego dowieść.

Pierwszy (prawdopodobny) zgon spowodowany  $^{210}\text{Po}$  wydarzył się w Instytut du Radium. w 1927 roku. Ofiarą był badacz japoński Nobus Yamada, pracujący trzy lata wcześniej z Irèną nad źródłami otrzymywania polonu. Po powrocie do domu, Yamada zachorował. Napisał wówczas do Irèny: „Wyziwy były trujące” [11]. Ponadto,  $^{210}\text{Po}$  był prawdopodobnie odpowiedzialny za śmierć polskiej chemiczki Soni Cotelle w roku 1945, która pracowała nad tym samym zagadnieniem, co Yamada i od 1927 r. cierpiała na różne formy choroby popromiennej.

Irèna pracowała nad polonem wiele lat. Jej praca doktorska, obroniona w 1925 r., nosiła tytuł: „*Badania nad promieniami alfa polonu: oscylacje toru, początkowa prędkość i efekty jonizacyjne*”. Fryderyk Joliot rozpoczął pracę u Marii Curie w grudniu 1924 r., a od stycznia roku

następnego skierowany został do pomocy Irenie. Miał badać chemiczne właściwości elementów radioaktywnych, szczególnie polonu. Pod koniec lat 1920 pracownia Marii posiadała największy na świecie zasób źródeł promieniowania dla celów badawczych i leczniczych. Najniebezpieczniejszy był polon, pracownicy Institut du Radium stosowali szczególne środki ostrożności podczas elektrolizy i odparowywania przy jego uzyskiwaniu [12]. Badania te były możliwe tylko dzięki temu, że Maria pieczołowicie przez lata gromadziła zapasy radu D [13], (patrz Ryc. 2).

W 1946 r. Irena została przypadkowo narażona na ekspozycję – pojemnik zawierający polon eksplodował na jej biurku. Zmarła dziesięć lat później w marcu 1956 r. z powodu ostrej białaczki, która mogła – lub nie – mieć związek przyczynowy z tą ekspozycją. Fryderyk zmarł w sierpniu 1958 r. po operacji krwotoku wewnętrznego [13]. Nie podano ostatecznego rozpoznania, ale dr Raymond Laterjet z Institut du Radium uważał, że Joliot zmarł z powodu marskości wątroby spowodowanej nadmierną ekspozycją na polon [12].

Richard F. Mould, MSc, PhD  
41 Ewhurst Avenue  
South Croydon  
Surrey CR2 0DH  
United Kingdom  
e-mail: manorroadsouthport@yahoo.co.uk

*Redakcja uprzejmie dziękuje Pani Profesor Barbarze Gwiazdowskiej za pomoc w tłumaczeniu terminów w zakresie fizyki medycznej.*

12. Brian D. *The Curies a Biography of the Most Controversial Family in Science*. Hoboken: John Wiley, 2005, pp 199-200, 206, 222, 393.
13. Society of Nuclear Medicine. Distinguished nuclear pioneers, 1972, Frédéric & Irène Joliot-Curie. *J Nuc Med* 1972; 13: 402-5.

Otrzymano: 29 marca 2008 r.  
Przyjęto do druku 10 kwietnia 2008 r.

## Piśmiennictwo

1. Curie P, Curie M. Sur une substance nouvelle radioactive continue dans la pechblende. [On a new radioactive substance contained in pitchblende] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 18 July 1898; 127: 175-8.
2. Curie P, Curie M, Bémont G. Sur une substance nouvelle fortement radioactive continue dans la pechblende. [On a new strongly radioactive substance contained in pitchblende] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 26 December 1898; 127: 1215-8.
3. Glasstone S. *Sourcebook on Atomic Energy*. London: Macmillan, 1950, pp 110-1.
4. Jefferson Lab. Polonium. <http://education.jlab.org/itselemental/ele084.html> accessed 29 March 2008.
5. Health Physics Society. Polonium-210 information sheet. <http://hps.org/> accessed 29 March 2008.
6. Mould RF. *Radium History Mosaic*. *Nowotwory J Oncol* 2007; 57: supplement 4, pp 10.
7. Burgess P. Litvinenko, clearing up after a murder. Lecture, British Institute of Radiology, London, 28 November 2007.
8. Physical & Theoretical Chemistry Laboratory, Oxford University. Hydrogen cyanide material safety data sheet. [http://www.physchem.ox.ac.uk/MSDS/HY/hydrogen\\_cyanide.html](http://www.physchem.ox.ac.uk/MSDS/HY/hydrogen_cyanide.html) accessed 29 March 2008.
9. Kaplan K, Maugh TH {*The Los Angeles Times*}. The ideal poison for espionage. *The St. Petersburg Times*, St. Petersburg/Tampa, USA. 23 January 2007.
10. Karpin M. *The Bomb in the Basement: How Israel Went Nuclear & What That Means For The World*. New York: Simon & Schuster, 2006.
11. Quinn S. *Marie Curie a Life*. New York: Simon & Schuster, 1996, pp 414-5.