

Hurwic, Józef

Badania Kazimierza Fajansa w dziedzinie promieniotwórczości i izotopii

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 30/2, 215-246

1985

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Józef Hurwic
(Marsylia)

BADANIA KAZIMIERZA FAJANSA *
W DZIEDZINIE PROMIENIOTWÓRCZOŚCI I IZOTOPII

W 10 rocznicę śmierci

Był to rok 1910. Sława 39-letniego wtedy Ernesta Rutherforda, już od dwóch lat laureata nagrody Nobla, ściągała do jego pracowni w Manchesterze badaczy z różnych krajów. Znajdowali się tu w tym okresie: Anglicy J. Chadwick, Charles Galton Darwin — wnuk słynnego twórcy teorii ewolucji, W. Makower, H. G. J. Moseley i J. M. Nuttal, Australijczyk D. C. H. Florance, Kanadyjczyk R. W. Boyle, Nowozelandczyk J. A. Gray, Amerykanin ze Stanów Zjednoczonych Alois F. Kowarik, Niemiec H. Geiger, Rosjanin G. N. Antonow (Antonoff) i Węgier G. von Hevesy.

Do tego grona przybył Kazimierz Fajans. Urodzony 27 maja 1887 roku w Warszawie, po ukończeniu tamże gimnazjum studiował chemię na uniwersytecie w Lipsku, następnie w Heidelbergu uzyskał doktorat za pracę z zakresu chemii fizycznej organicznej wykonaną pod opieką profesora Georga Brediga, a w Zurychu odbył uzupełniający staż podoktorski w dziedzinie chemii organicznej. Tam jednak, stwierdziwszy, że ze względu na empiryczny charakter ówczesnej chemii organicznej nie znajduje upodobania w tej gałęzi wiedzy, postanawia zająć się badaniem promieniotwórczości. Wraz ze świeżo poślubioną Salomeą Kaplan, warszawianką studiującą na uniwersytecie w Heidelbergu, wybiera się na rok akademicki 1910—1911 do Manchesteru.

Najbliższym współpracownikiem Rutherforda był wtedy Hans Geiger, którego imię nosi licznik do pomiarów promieniotwórczości, wynaleziony w 1912 r., a później przy udziale W. Müllera ulepszony. Dla Fajansa Geiger stał się głównym przewodnikiem i doradcą. Złożyły się na to

* ur. 27 maja 1887 r., Warszawa — zm. 18 maja 1975 r., Ann Arbor.

dwie przyczyny. Po pierwsze, prowadził on wstępny kurs metod badania promieniotwórczości. W kursie tym uczestniczył Fajans i, między innymi, o dwa lata od niego starszy Georg von Hevesy. Fajans poznał już dawniej w Zurychu węgierskiego fizykochemika, dokąd przyjechał on, by zaznajomić się z reakcjami chemicznymi w wysokich temperaturach. Drugą przyczyną były trudności językowe Fajansa, który zaledwie kilka tygodni przed przyjazdem do Manchesteru zaczął się uczyć angielskiego. Geiger służył więc za tłumacza w pierwszych kontaktach z Rutherfordem, który nie znał niemieckiego. Chodząc często do teatru, Fajansowie doskonalili swój angielski. Chodzili również na znakomite koncerty, które często odbywały się w Manchesterze.

Fajans nawiązał bliższe stosunki także z innymi współpracownikami Rutherforda. Swoje badania prowadził w tym samym pokoju, co o pół roku młodszy od niego James Chadwick, późniejszy odkrywca neutronu¹; odkrycie to przyniosło mu w 1935 roku nagrodę Nobla z fizyki. Szczególną zaś przyjaźnią darzył Fajans Jurija (George) Antonowa, odkrywcę uranu Y², który — jak dziś wiemy — jest jednym z izotopów toru (por. ryc. 3).

Fajansowie poznali też Chaima Weizmanna, przywódcę ruchu syjonistycznego i późniejszego pierwszego prezydenta Izraela, a w tym czasie profesora biochemii na uniwersytecie w Manchesterze. Korzystali z wielkiej uczynności jego żony, Very. Przyjaźnie, zawarte w Manchesterze, przetrwały długie lata. Tutaj urodził się w 1911 r. syn Fajansów — Edgar.

W Manchesterze Fajans znalazł się w centrum badań, które doprowadziły Rutherforda do odkrycia jądra atomowego, tj. do stwierdzenia, że atom ma budowę jakby azurową i że w jego wnętrzu znajduje się część o bardzo małych rozmiarach, w której skupiona jest prawie cała masa atomu i cały dodatni ładunek elektryczny³. W dniu 7 marca 1911 r. Fajans był obecny na historycznym posiedzeniu Manchesterskiego Towarzystwa Filozoficznego, gdy Rutherford po raz pierwszy zakomunikował o tym epokowym odkryciu. Na sali znajdowali się przeważnie ludzie w wieku Fajansa. Po zakończeniu przez Rutherforda referatu przewodniczący zebrania zwrócił się do Darwina, jako nosiciela sławnego nazwiska, i zapytał go: — „Co Pan o tym sądzi?”. Ten odpowiedział tylko tyle: — „Bardzo interesujące”. Nikt, z Rutherfordem włącznie, nie zdawał sobie wtedy sprawy z tego, że odkrycie to spowoduje nie tylko przewrót w nauce, ale zapoczątkuje okres, który nazwano później epoką energii jądro-

¹ J. Chadwick: *Possible existence of a neutron*. „Nature” 1932 t. 129 s. 312.

² G. N. Antonoff: *The disintegration products of uranium*. „Philosophical Magazine” 1911 Ser. 6 t. 22 s. 419—432.

³ E. Rutherford: *The scattering of α and β particles by matter*. Tamże, t. 21 s. 669—688.

wej. Odkrywca jądra atomowego do końca zresztą swego życia (1937 rok), gdy już w pełni zdawano sobie sprawę z ogromu energii zmagazynowanej w jądrze, nie sądził, że uda się tę energię wyzwalać na skalę techniczną. Rutherford wygłosił swój referat w 1911 r. w tej samej sali, w której w 1803 r. John Dalton przedstawił swoją hipotezę o ziarnistej budowie materii. W ciągu 108 lat, które dzielą te dwa posiedzenia, nauka nie tylko udowodniła istnienie atomu, ale wykazała, że ma on złożoną budowę.

W pracowni Rutherforda młody Fajans rozpoczyna badania promieniotwórczości. Atmosfera ustawicznej wymiany myśli, którą stworzył tam Rutherford, sprzyjała pracy twórczej. W ciągu niespełna rocznego pobytu w Manchesterze Fajans nie tylko zdołał opanować nową dlań dziedzinę, ale uzyskał w niej cenne wyniki. Owocna współpraca badawcza rozwinęła się między nim i Moseleyem oraz Makowerem.

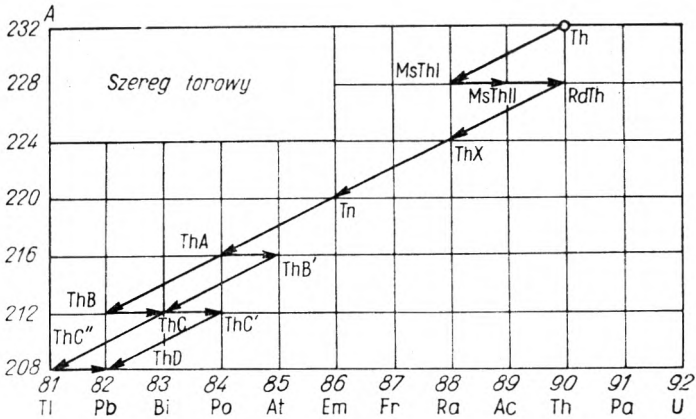
Gdy Fajans włączył się do badań nad promieniotwórczością, wiedzano już, dzięki pracom Rutherforda i Fredericka Soddy'ego⁴ że zjawisko to polega na samorzutnej przemianie atomów danego pierwiastka promieniotwórczego w atomy innego pierwiastka w wyniku emisji cząstek alfa lub beta, jak je nazwał Rutherford. Z pracy Williama Ramasaya i Soddy'ego⁵ oraz z pracy Rutherforda⁶ wiadano, że cząstka alfa stanowi dwuwartościowy jon dodatni helu, tzn. atom helu, obdarzony podwójnym dodatnim ładunkiem elementarnym, o masie atomowej 4. Jeszcze wcześniej⁷ stwierdzono, iż promienie beta mają taki sam charakter jak promienie katodowe, a więc cząstka beta jest elektronem wyrzuconym z atomu z olbrzymią prędkością. Znano już wiele substancji promieniotwórczych (nuklidów promieniotwórczych, używając dzisiejszego języka) i ich charakterystyki promieniotwórcze: typ promieniowania i okres połowicznego zaniku (w skrócie: okres), tj. czas, po upływie którego natężenie promieniowania spada do połowy.

⁴ E. Rutherford, F. Soddy: *The radioactivity of thorium compounds*, II. *The cause and nature of radioactivity*. „Journal of the Chemical Society. Transaction” 1902 t. 81 s. 837—860; „Philosophical Magazine” 1902 t. 4 s. 370—396, 569—585; E. Rutherford, F. Soddy: *Radioactive change*. Tamże, 1903 t. 5 s. 576—591.

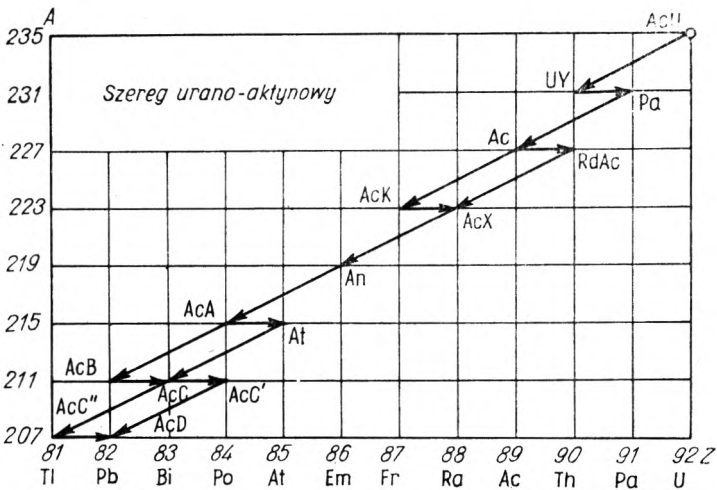
⁵ W. Ramsay, F. Soddy: *Experiments in radioactivity and the production of helium from radium*. „Proceedings of the Royal Society of London” 1903 t. 72 s. 204—207; „Nature” 1903 t. 68 s. 354—355.

⁶ E. Rutherford: *The mass and velocity of the α particles expelled from radium and actinium*. „Philosophical Magazine” 1906 t. 12 s. 348—371.

⁷ F. Giesel: *Über die Ablekbarkeit der Becquerelstrahlen im magnetischen Felde* „Annalen der Physik” 1899 t. 69 s. 834—836; H. Becquerel: *Déviations du rayonnement du radium dans un champ électrique*. „Comptes Rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences” (Paris) 1900 t. 130 s. 809—815.



Ryc. 2



Ryc. 3

Empiryczne prawo Geigera-Nuttalla stosuje się dość dobrze do jąder parzysto-parzystych, tzn. złożonych z parzystej liczby protonów i parzystej liczby neutronów. Prawo to uzasadnił teoretycznie w 1928 r. George Gamow¹⁰ na podstawie kwantowego opisu rozpadu alfa, a także dokładną interpretację teoretyczną tej zależności podali E. Condon i R. W. Gurney¹¹.

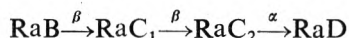
¹⁰ G. Gamow: *Zur Quantentheorie des Atomkernes*. „Zeitschrift für physikalische Chemie” 1928 t. 51 s. 204—212.

¹¹ R. Gurney, F. Condon: *Quantum mechanics and radioactive disintegration*. „Nature” 1928 t. 122 s. 439.

Na podstawie analogii między kolejnością przemian w trzech szeregach promieniotwórczych Geiger wywnioskował, że podobnie jak w szeregu promieniotwórczym urano-radowym istnieje krótkożyłowy rad A (RaA), produkt przemiany alfa emanacji radowej, powinny istnieć analogiczne produkty przemiany alfa: w szeregu urano-aktynowym aktyn A (AcA), powstający z emanacji aktynowej i w szeregu torowym tor (ThA), powstający z emanacji torowej, dotąd nie dostrzeżone z powodu ich krótkotrwałości. Otóż Fajansowi we wspólnej pracy ze swym równieśnikiem H. J. G. Moseleyem¹² udało się wyodrębnić AcA i ThA i wyznaczyć ich okresy. Zgodnie z prawem Geigera-Nuttalla nuklidy te są bardzo krótkotrwałe: ich okresy wynoszą odpowiednio 0,1 i 0,002 s.

Henry Gwyn-Jeffreys Moseley wsławił się później (1913 rok) odkryciem zależności między widmem rentgenowskim pierwiastka a jego liczbą porządkową w układzie okresowym¹³. Dzięki temu odkryciu fizyka i chemia zdobyły obiektywną metodę ustalania numeru pierwiastka w tablicy Mendelejewa. Pierwsza wojna światowa przerwała, niestety, tak świetnie zapowiadającą się twórczość naukową młodego uczonego. W 1915 r. w wieku 28 lat, poległ on na półwyspie Gallipoli w bitwie o Dardanele. Na innym froncie pierwszej wojny światowej — we Francji — w okolicach Roubaix, jako oficer armii francuskiej, zginął polski utalentowany badacz promieniotwórczości — Jan Kazimierz Danysz, bliiski współpracownik Marii Skłodowskiej-Curie.

Głównym obiektem badań Fajansa w Manchesterze, częściowo we współpracy z Makowerem, był powstający w przemianie beta z radu B (RaB) rad C (RaC) i jego bezpośrednie pochodne. Otto Hahn i Lise Meitner¹⁴ wykazali, że między radem C i radem D (RaD) istnieje w szeregu urano-radowym nieznanym dotąd człon, który nazwano radem C₂ (RaC₂), radowi C zaś dorzucano w nazwie wskaźnik „1”: RaC₁. Kolejne przemiany powinny się więc odbywać według schematu:



Nuklid rad C₂ wymagał jednak dalszych badań, które podjął Fajans¹⁵. Zastosował on w tych badaniach metodę odrzutu. Wyrzucenie cząstki alfa z początkowo nieruchomego atomu promieniotwórczego powinno, zgodnie z prawem zachowania pędu, spowodować odrzut (odskok) w przeciwną stronę pozostałej części atomu, tj. atomu pierwiastka pochodnego. Pręd-

¹² H. G. Moseley, K. Fajans: *Radio-active products of short life*. „Philosophical Magazine” 1911 t. 22 s. 629—638.

¹³ H. G. J. Moseley: *The high-frequency spectra of the elements*. Tamże, 1913 t. 26 s. 1024—1034; 1914 t. 27 s. 703—713.

¹⁴ O. Hahn, L. Meitner: *Nachweis der komplexen Natur von Radium C*. „Physikalische Zeitschrift” 1909 t. 10 s. 697—703.

¹⁵ K. Fajans: *Über die komplexe Natur von Radium C*. Tamże, 1911 t. 12 s. 369—378.

kość (v) odrzuconego atomu i (v') cząstki alfa są przy tym odwrotnie proporcjonalne do odpowiednich mas (M i M').

Wyraża to prawo zachowania pędu, które wymaga równości wartości bezwzględnej pędu (iloczyn masy przez prędkość) cząstki alfa i odrzuconego atomu:

$$Mv = M'v',$$

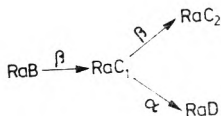
skąd:

$$v : v' = M' : M.$$

Stosunek ten w różnych przemianach alfa zawarty jest między 50 i 60.

Atomy odrzutu można zbierać na płytce umieszczonej na wprost źródła promieniotwórczego. Odrzut powstających atomów towarzyszy również przemianie beta, zasięg jego jest jednak wtedy mały i wskutek tego niedostrzegalny. Wynika to z faktu, że masa elektronu jest 7000 razy mniejsza niż masa cząstki alfa.

Metodą odrzutu Fajans wydzielił nowy nuklid emitujący promienie beta i wyznaczył jego okres (około 1,38 minuty). Porównując aktywność tego radionuklidu i nuklidu wyjściowego (RaC_1) oraz przybliżoną wydajność (w procentach) radu C_2 i radu D, doszedł do wniosku, że rad D nie powstaje z radu C_2 , lecz bezpośrednio z radu C_1 . Znaczy to, iż tylko część atomów radu C_1 w przemianie beta przekształca się w rad C_2 , część zaś w przemianie alfa rozpada się na rad D:



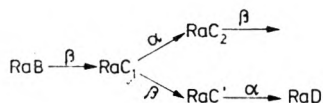
W ten sposób Fajans dokonał doniosłego odkrycia rozwidlenia szeregu promieniotwórczego. Istnienie takiego rozwidlenia podejrzewano już wprawdzie wcześniej¹⁶, ale Fajans pierwszy wykazał doświadczalnie, że szereg promieniotwórczy może się rozgałęzić. Następnie wraz z Makowerem¹⁷ sprawdził on wyniki doświadczenia, badając odrzut atomów RaC_2 w próżni, gdy atomy te, nie hamowane jak w powietrzu, trafiają z całkowitą prędkością początkową w płytkę umieszczoną na wprost źródła. Pomiar wykazały, że okres radu C_2 wynosi 1,4 minuty. W pracy tej, a także w następnej¹⁸, autorzy nie potrafili wprawdzie dokład-

¹⁶ E. Rutherford: *The succession of changes in radioactive bodies*. „Philosophical Transactions of the Royal Society of London” 1904 Ser. A t. 204 s. 169—219; F. Soddy: *Multiple atomic disintegration. A suggestion in radioactive theory*. „Philosophical Magazine” 1909 t. 18 s. 739—744.

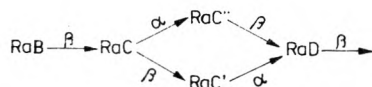
¹⁷ K. Fajans, W. Makower: *Über den Rückstoss des RaC_2 im Vakuum*. „Physikalische Zeitschrift” 1911 t. 12 s. 378.

¹⁸ K. Fajans, W. Makower: *The growth of Radium C from Radium B*. „Philosophical Magazine” 1912 t. 23 s. 292—301.

nie wyznaczyć wydajności radu C_2 i radu D w przemianie radu C_1 , stwierdzili jednak ponad wszelką wątpliwość, iż rad D powstaje w ilości znacznie większej, niż rad C_2 . Dopiero w kolejnej dalszej pracy¹⁹ udało się Fajansowi wyznaczyć dokładnie stosunek wydajności produktów rozwidlenia: około 3 : 10 000. Wykrył on ponadto obecność promieni alfa o bardzo długim zasięgu, odpowiadających krótkożyciowemu nuklidowi, którego okres powinien, według prawa Geigera-Nuttalla, wynosić około 10^{-6} sekundy. Dla wyjaśnienia tego faktu Fajans zmuszony był wprowadzić do szeregu urano-radowego między rad C_1 i rad D krótkożyciowy rad C' emitujący cząstki alfa. Rozwidlenie przybrało więc ostatecznie postać:



Przeważająca część atomów radu C_1 zamienia się w przemianie beta na rad C' , drobny zaś ułamek liczby atomów radu C_1 w przemianie alfa zamienia się na rad C_2 , również bardzo nietrwały. Wkrótce po odkryciu przez Fajansa rozwidlenia w szeregu urano-radowym odkryto analogiczne rozwidlenia w szeregu urano-aktywnym (przy AcC) i w szeregu torowym (przy ThC). Kilka lat później Fajans²⁰, opierając się na odkrytym przez siebie prawie przesunięć promieniotwórczych, doszedł do wniosku, że trzy te rozwidlenia zamykają się na członie D. W szeregu urano-radowym przedstawia się to, jeżeli użyjemy ostatecznie ustalonych symboli (RaC, RaC' i RaC''), w sposób następujący (por. wykres na s. 218):



Rutherford pomógł Fajansowi w zredagowaniu manuskryptu jego pierwszej pracy z zakresu promieniotwórczości. Przyjacielskie stosunki ze swymi uczniami i współpracownikami utrzymywał Rutherford do końca życia, przedyskutowując w szczególności ich wyniki badawcze. Często powstrzymywał ich przed publikowaniem niedostatecznie sprawdzonych doświadczalnie wniosków.

¹⁹ K. Fajans: *Über die Verzweigung der Radiumzerfallsreihe*. „Physikalische Zeitschrift” 1912 t. 13 s. 699—705.

²⁰ K. Fajans: *Das periodische System der Elemente, die radioaktiven Umwandlungen und die Struktur der Atome (Zusammenfassende Bearbeitung)*. Tamże, 1915 t. 16 s. 425—486.

Fajans, który entuzjasmował się językiem esperanto, stworzonym przez warszawskiego okulistę — Ludwika Zamenhofa, odbywając staż w pracowni Rutherforda, zapytał raz swego mistrza, czy widzi potrzebę języka międzynarodowego. Na to ten bez wahania odpowiedział „Oczywiście, ale pod warunkiem, że będzie to język angielski”. Słowa te, które wówczas wydawały się żartem, okazały się dziś proroctwem.

Po rocznym pobycie w Manchesterze Fajansowie zamierzali wrócić do Heidelberga. Tymczasem Bredig, promotor Fajansa, został profesorem na Politechnice (Technische Hochschule) w Karlsruhe²¹, gdzie objął katedrę po Fritzu Haberze, który został powołany na stanowisko dyrektora Instytutu Chemii Fizycznej (Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie) w Berlinie. Tam opracował on swą teorię syntezy amoniaku, za którą w 1918 r. dostał nagrodę Nobla. Bredig po przeniesieniu się do Karlsruhe zaproponował swemu wychowankowi stanowisko starszego asystenta z możliwością awansu na docenta (Privat-Dozent) w nowym miejscu swej pracy. Tam więc podążyli Fajansowie. Salomea Fajansowa nie zrezygnowała przy tym ze studiów lekarskich rozpoczętych w Berlinie przed przyjazdem do Heidelbergu. W Karlsruhe nie było jednak uniwersytetu. Postanowiono zatem, że Fajansowa z dzieckiem przeprowadzi się czasowo do Strasburga, który należał wtedy do Niemiec i był najbliższym miastem, gdzie mogła studiować medycynę. Kazimierz Fajans odbywał więc często podróże między Karlsruhe i Strasburgiem. Sytuacja ta trwała dwa lata.

Salomea Fajans nawiązała w Strasburgu liczne przyjaźnie z przebywającymi tam Polakami. Przede wszystkim należy tu wymienić rodzinę Jakuba Parnasa — wybitnego biochemika, który pracował wówczas na tamtejszym uniwersytecie, a następnie przez wiele lat był profesorem chemii lekarskiej na Uniwersytecie Jana Kazimierza we Lwowie po uprzednim krótkotrwałym kierowaniu katedrą tego przedmiotu (pod nazwą chemii fizjologicznej) na uniwersytecie w Warszawie. Innym przyjacielem Fajansowej został młody lekarz internista — Mściwój Maria Semerau, a gdy się ożenił z Antoniną Hulewicz, jego żona powiększyła grono przyjaciół. Później jako wybitny kardiolog, gdy został profesorem Uniwersytetu Warszawskiego, Semerau dorzucił do swego nazwiska drugie, o polskim brzmieniu: Siemianowski. Po uzyskaniu dyplomu lekarskiego, Fajansowa wróciła z synem do Karlsruhe, gdzie pracowała w miejscowym szpitalu.

W Karlsruhe Fajansowie wiedli pogodne życie do wybuchu pierwszej wojny światowej. Ich mieszkanie stało się ośrodkiem intensywnego życia intelektualnego. Zbierali się tu koledzy i uczniowie Fajansa, a także ludzie reprezentujący zupełnie inne dziedziny. Bywał w ich domu

²¹ K. Fajans: *Georg Bredig zum 1000. Geburtstag*. „Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie” 1968 t. 72 s. 1079—1080.

zdolny aktor Ewald Schindler. Zaprzyjaźnił się tu z Fajansami Walde-
mar Klein, wówczas student architektury, który później został znanym
wydawcą w zakresie sztuki w Berlinie, Monachium i Baden-Baden.

W Karlsruhe Fajans rozwinął owocną działalność badawczą i pedago-
giczną. Tematyka jego prac stanowiła kontynuację badań zapoczątkowa-
nych w Manchesterze. Odkryte tam rozwidlenie szeregu promieniotwór-
czego urano-radowego przy radzie C stanowiło temat jego pracy habi-
lacyjnej²². W swym wykładzie habilitacyjnym, wygłoszonym 17 grud-
nia 1912 r. na Politechnice w Karlsruhe²³, Fajans przedstawił ówczesny
stan wiedzy o budowie atomu. Tekst tego wykładu posłał następnie do
redakcji polskiego czasopisma „Wszecławiat”, gdzie ukazał się on w
trzech odcinkach²⁴ w tłumaczeniu W. Piotrowskiego pod redakcją auto-
ra. Wskazuje to na więzi z krajem ojczystym, które utrzymywał on do
końca życia.

W Karlsruhe dokonał Fajans swego największego odkrycia: odkrył
tu mianowicie prawo przesunięć promieniotwórczych, które na zawsze
wslawilo jego nazwisko. Zapowiedź tego odkrycia znajdujemy już w jego
pracy habilitacyjnej. Badając właściwości elektrochemiczne pierwiast-
ków promieniotwórczych, zauważył on, iż produkt przemiany alfa zaw-
sze jest elektrochemicznie mniej ujemny od substancji macierzystej, je-
śli chodzi natomiast o przemianę beta, to prawdziwa jest zależność
wprost przeciwna. Ostatniego dnia roku 1912 wpłynęły do redakcji
„Physikalische Zeitschrift” dwa artykuły Fajansa²⁵ z ostatecznym sformu-
łowaniem prawa przesunięć, które następnie ukazały się w przekła-
dzie francuskim²⁶. W pierwszej z tych prac²⁷ i w jej odpowiedniku
francuskim²⁸ Fajans stwierdził następujące dwie prawidłowości: 1. pro-

²² K. Fajans: *Die Verzweigung der Radiumzerfallsreihe. Habilitationsschrift*, Karlsruhe, Verh. d. Naturhist. Medizin. Vereins zu Heidelberg, 1912, t. 12 s. 173—240.

²³ K. Fajans: *Die neuen Vorstellungen von der Struktur der Atome. Habilitationvortrag*, Verh. des Naturwissenschaftlichen Vereins, 1913, t. 25, Odbitka, 1—19; „Die Naturwissenschaften” 1913 t. 1 s. 237—241.

²⁴ K. Fajans: *Najnowsze pojęcia o budowie atomów. Wykład habilitacyjny wygłoszony 17 XII 1913 r. w Politechnice w Karlsruhe*. Przekład W. Piotrowskiego pod redakcją autora. „Wszecławiat” 1913 t. 32 s. 273—276, 292—295, 315—318.

²⁵ K. Fajans: *Über eine Beziehung zwischen der Art einer radioaktiven Umwandlung und dem elektrochemischen Verhalten der betreffenden Radioelemente* — „Physikalische Zeitschrift” 1913 t. 14 s. 131—136; K. Fajans: *Die Stellung der Radioelemente im periodischen System*. Tamże, 1913 s. 136—142.

²⁶ K. Fajans: *Sur une relation entre la nature d'une transformation radioactive et le rôle électrochimique de l'élément radioactif correspondant*. Przekład pracy (29) dokonany przez L. Blocha. „Le Radium” 1913 t. 10 s. 57—61; K. Fajans: *La place des éléments radioactifs dans le système périodique*. Przekład pracy (30) dokonany przez L. Blocha. Tamże, 1913 s. 61—65.

²⁷ K. Fajans: *Über eine Beziehung ...* (patrz przyp. 25).

²⁸ K. Fajans: *Sur une relation ...* (patrz przyp. 26).

dukt przemiany promieniotwórczej alfa jest elektrochemicznie bardziej dodatni niż bezpośrednio go poprzedzająca substancja macierzysta; 2. produkt przemiany promieniotwórczej beta jest bardziej ujemny niż poprzedzająca go substancja macierzysta.

Wnioski te prowadzą Fajansa do ostatecznego sformułowania prawa przesunięć²⁹: 1. pierwiastek powstający w przemianie promieniotwórczej alfa jest przesunięty w układzie okresowym o dwie grupy (kolumny) na lewo, tj. o dwa miejsca wstecz w stosunku do pierwiastka macierzystego (przy tym masa atomowa zmniejsza się o 4 jednostki); 2. przemiana promieniotwórcza beta prowadzi do pierwiastka przesuniętego w układzie okresowym o jedną grupę na prawo, tj. o jedno miejsce naprzód (przy tym masa atomowa praktycznie nie ulega zmianie).

Na intensyfikacji prac w tym zakresie uczony otrzymał w listopadzie 1913 r. subsydium Międzynarodowego Instytutu Fizyki im. Solvaya w Brukseli.

Prawo przesunięć pozwoliło Fajansowi w sposób bezsporny ustalić położenie poszczególnych nuklidów promieniotwórczych w układzie okresowym³⁰. Usunął on w ten sposób wątpliwości, jakie istniały w tej kwestii poprzednio, zwłaszcza w stosunku do substancji, których krótki okres utrudniał zbadanie własności chemicznych³¹. Fajans pierwszy poprawnie ustalił położenie m. in. toru D w układzie okresowym.

Gwoli ścisłości, trzeba zauważyć, iż prawo przesunięć nasunęło Fajansowi dwa hipotetyczne wnioski, które nie znalazły potwierdzenia doświadczalnego. Oto one.

W owym czasie sądzono, że rad, tor X i aktyn X, oprócz promieniowania afa, którego emisja prowadzi do emanacji (odpowiednio: radowej, torowej i aktynowej), wysyłają promienie beta. Fajans wysuwa więc przypuszczenie, iż emisja tego drugiego promieniowania powinna, zgodnie z prawem przesunięć promieniotwórczych, prowadzić do powstania metali alkalicznych. W 1915 r.³² porzucił jednak tę hipotezę.

Opierając się na analogii między szeregiem torowym i urano-radowym Fajans wypowiedział przypuszczenie, iż podobnie jak w drugim z tych szeregów rad D w przemianie beta przekształca się w rad E, w pierwszym tor D (Fajans oznacza go: ThD₂) może przekształcać się w

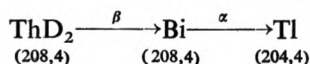
²⁹ K. Fajans: *Die Stellung der Radioelemente...* (patrz przyp. 25); K. Fajans: *La place des éléments...* (patrz przyp. 26).

³⁰ K. Fajans: *Die Stellung der Radioelemente...* (patrz przyp. 25); K. Fajans: *Le place des éléments...* (patrz przyp. 26); K. Fajans: *Die radioaktiven Umwandlungen und das periodische System der Elemente*. „Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft” 1913 t. 45 s. 422—439.

³¹ K. Fajans, P. Beer: *Über die chemische Natur einiger kurzlebiger Radioelemente*. „Die Naturwissenschaften” 1913 t. 1 s. 338—339.

³² K. Fajans: *Das periodische System der Elemente, die radioaktiven Umwandlungen und die Struktur der Atome (Zusammenfassende Bearbeitung)*. „Physikalische Zeitschrift” 1915 t. 16 s. 456—486.

takieże przemianie, według prawa przesunięć, w bizmut. Fakt zaś, że bizmut ma masę atomową o 4 jednostki większą od masy atomowej talu, podsunął Fajansowi myśl, że — wciąż w zgodzie z prawem przesunięć — bizmut może z kolei w przemianie alfa dawać tal. Szereg torowy nie kończyłyby się więc na torze D, lecz miałyby przedłużenie:



(liczby w nawiasach pod symbolami nuklidów wskazują odpowiednie masy atomowe). Z sumiennością jednak i ostrożnością, charakteryzującą tego badacza, Fajans zaznacza, że hipoteza ta wymaga dokładniejszej analizy. Późniejsze badania doświadczalne nie potwierdziły przypuszczenia o promieniotwórczości toru D. Prócz tego przypuszczenia, jak i przypuszczenia o powstawaniu metali alkalicznych z emanacji, wszystkie wnioski Fajansa z prawa przesunięć promieniotwórczych okazały się w pełni słuszne.

W tym czasie znano ponad 30 różnych nuklidów promieniotwórczych, które uważano za różne pierwiastki, w układzie zaś okresowym między ołowiem i uranem istniało tylko kilka wolnych miejsc do dyspozycji. I tę trudność usunął Fajans swym prawem. Stosując je do poszczególnych przemian doszedł do wniosku, że w jednej klatce układu okresowego może się znajdować kilka nuklidów różniących się masą atomową i własnościami promieniotwórczymi, tworzących plejadę³³. Nazwę tę zaczerpnął Fajans z astronomii, gdzie oznacza ona otwartą gromadę gwiazd. Ponad pół roku później Soddy wprowadził termin izotopia, nazywając izotopami poszczególne nuklidy tej samej plejady³⁴. Nazwa ta pochodzi z greckiego: isos — równy, topos — miejsce, i oznacza, że izotopy zajmują to samo miejsce w układzie okresowym pierwiastków. Według informacji lorda Alexandra Flecka³⁵, dawnego asystenta Sody'ego, nazwę izotop podsunęła Soddy'emu zaprzyjaźniona z nim i jego żoną lekarką — dr Margaret Todd.

Obecnie wiemy, iż siedliskiem przemian promieniotwórczych jest jądro atomowe. Początkowo sądzono, że jądro składa się z ciężkich dodatnio naładowanych cząstek zwanych protonami i z elektronów, wyzwalających się w przemianie beta. Obecność elektronów w jądrze była jednak nie do pogodzenia z wynikami pewnych pomiarów. Sprzeczność tę

³³ K. Fajans: *Die radioaktiven Umwandlungen und die Valenzfrage vom Standpunkte der Struktur der Atome*. „Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft” 1913 t. 15 s. 240—259; K. Fajans: *Remarques sur le travail «Position des éléments radioactifs dans le système périodique»*. „Le Radium” 1913 t. 10 s. 171—174.

³⁴ F. Soddy: *Intra-atomic charge*. „Nature” 1913 t. 92 s. 399—400.

³⁵ A. Fleck: *Frederick Soddy*. „Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society” London 1957 t. 3 s. 203—216.

dało się usunąć dopiero w 1932 r. po odkryciu przez Chadwicka ciężkiej cząstki elektrycznie obojętnej, którą dlatego nazwano neutronem³⁶. Niemiecki fizyk teoretyk — Werner Heisenberg³⁷, późniejszy laureat nagrody Nobla z fizyki (w 1933 r.) za stworzenie mechaniki kwantowej, i jednocześnie, lecz niezależnie od niego, radziecki fizyk teoretyk Dmitrij Iwanienko³⁸ doszli do wniosku, że jądro atomowe składa się wyłącznie z protonów i neutronów. Oba te rodzaje cząstek objęto wspólną nazwą nukleonów od łacińskiej nazwy jądra: *nucleus*. Ładunek (dodatni) jądra uwarunkowany jest obecnością w nim protonów. Każdy proton wnosi do jądra jednostkę elementarną ładunku. Ponieważ zaś łączy ładunek jądra, wyrażony w tych jednostkach, równa się liczbie atomowej (Z), tj. liczbie porządkowej pierwiastka w układzie okresowym, więc liczba ta jest jednocześnie liczbą protonów w jądrze. Każdy nukleon, niezależnie od tego, czy jest to proton czy neutron, wnosi do jądra atomową jednostkę masy (w przybliżeniu), a więc liczba nukleonów w jądrze atomowym (A) nazywa się jego liczbą masową. Stąd wynika, że liczba neutronów w jądrze wynosi $A - Z$. Rodzaj atomów o określonym jądrze atomowym, tj. o określonej liczbie protonów i o określonej liczbie neutronów, niezależnie od powłok elektronowych, stanowi jeden nuklid. Jądro nuklidu o liczbie atomowej Z i liczbie masowej A składa się więc z Z protonów i $(A - Z)$ neutronów. Każdy izotop danego pierwiastka jest odrębnym nuklidem. Różne izotopy tego samego pierwiastka mają tę samą liczbę atomową Z , różnią się zaś liczbą masową A . Cząstka alfa, będąc atomem helu (a ściślej mówiąc: jego izotopu o liczbie masowej 4) z podwójnym dodatnim ładunkiem elementarnym, jest po prostu jądrem atomowym helu — złożonym z dwóch protonów i dwóch neutronów. Rozpad alfa polega zatem na wyrzuceniu z jądra promieniotwórczego tego właśnie zespołu nukleonów. W rezultacie produkt rozpadu alfa jest jądrem nuklidu o liczbie masowej mniejszej o 4 od liczby masowej nuklidu macierzystego i o liczbie atomowej zmniejszonej o 2, to znaczy, że powstaje pierwiastek cofnięty w stosunku do macierzystego o dwa miejsca w układzie okresowym. Znacznie trudniejsze było wytłumaczenie, w świetle nukleonowego modelu jądra atomowego, przemiany beta, tj. wyrzucenia z jądra elektronu, którego tam nie ma. Z trudności tej udało się wybrnąć w 1933 r. dzięki pracom włoskiego fizyka, Enrico Fermiego, który w 1938 r. otrzymał nagrodę Nobla z fizyki za badanie różnych reakcji jądrowych wywoływanych przez neutrony. Według teorii Fer-

³⁶ Patrz przyp. 1.

³⁷ W. Heisenberg: *Über den Bau der Atomkerne*. I—II. „*Zeitschrift für Physik*” 1932 t. 77 s. 1—11; t. 78 s. 156—164; t. 80 s. 587—596.

³⁸ D. Iwanenko: *The neutron hypothesis*. „*Nature*” 1932 t. 129 s. 798; D. Iwanenko: *Sur la constitution des noyaux atomiques*. „*Comptes Rendus hebdomadaires de l'Academie des Sciences*” Paris 1932 t. 195 s. 439—441.

miego³⁹, przemiana beta polega na tym, że jeden z neutronów w jądrze przekształca się w proton i elektron (któremu towarzyszy obojętna elektrycznie cząstka o znikomej masie zwana antyneutrinem). Elektron, który „nie ma prawa” przebywać w jądrze, zostaje w chwili powstania wyrzucony w postaci właśnie cząstki beta (wraz z antyneutrinem). Przemiana ta prowadzi więc do powiększonego o jednostkę liczby protonów, to znaczy, że powstaje pierwiastek przesunięty w układzie okresowym o jedno miejsce naprzód (w prawo), przy tym bez zmiany ogólnej liczby nukleonów czyli bez zmiany liczby masowej.

W ten sposób, znając budowę jądra atomowego i mechanizm przemian promieniotwórczych, z łatwością wyprowadziliśmy prawo przesunięć dla rozpadu alfa i dla przemiany beta. W 1912 r. nie znano jednak jeszcze budowy jądra atomowego. Fajans, wiedziony niezwykłą intuicją, doszedł do tego prawa na drodze żmudnej i wnikliwej analizy danych doświadczalnych dotyczących chemicznego zachowania się poszczególnych substancji. Należy tu podkreślić, iż zawsze był on na wskroś chemikiem.

W historii nauki niejednokrotnie natrafiamy na odkrywanie praw zanim poznano dane, które je potrafiły uzasadnić. Prawo okresowości pierwiastków chemicznych sformułował Dymitr Mendelejew w roku 1869, a dopiero mechanika kwantowa, stworzona w latach dwudziestych naszego stulecia, znalazła uzasadnienie teoretyczne układu okresowego. Karol Darwin opracował teorię ewolucyjnego powstawania gatunków zwierzęcych i roślinnych w drodze doboru naturalnego, gdy nie istniała jeszcze genetyka, która wyjaśniła mechanizm tej ewolucji.

Prawo przesunięć promieniotwórczych weszło do wszystkich monografii i podręczników omawiających promieniotwórczość, nawet licealnych. Gdy w 1958 r. podczas wizyty w Polsce Fajans — po zwiedzeniu zamku w Kórniku pod Poznaniem — złożył w księdze gości podpis, jak zwykle czytelny, przewodnik oprowadzający wycieczkę oświadczył zaskoczony: „Ja uczyłem się w gimnazjum pańskiego prawa, ale nam nie mówiono, że pan jeszcze żyje”.

Stwierdzenie, iż pierwiastek może stanowić plejadę różnych izotopów, pozwoliło wyjaśnić liczne niezrozumiałe wyniki, jakie nagromadziły się od roku 1905 w badaniach promieniotwórczości. W tym to roku Otto Hahn, pracując w Londynie pod kierunkiem Williama Ramsaya, odkrył w szeregu torowym radiotor⁴⁰. Wielokrotne próby oddzielenia tego produktu od toru różnymi metodami chemicznymi, przedsięwzięte przez wielu badaczy, nie powiodły się. Stało się to zrozumiałe, skoro okazało

³⁹ E. Fermi: *Tentativo di una teoria dei raggi β* . „Nuovo Cimento” 1934 t. 11 s. 1—19; E. Fermi: *Versuch einer Theorie der β — Strahlen*, I. „Zeitschrift für Physik” 1934 t. 88 s. 161—171.

⁴⁰ O. Hahn: *A new radio-active element which evolves thorium emanation* (Preliminary communication). „Proceedings of the Royal Society of London” 1905 t. 76 s. 115—117.

się, że radiotor i tor są izotopami. Nawiasem mówiąc, droga badawcza Hahna, zapoczątkowana odkryciem radiotoru, zawiodła go do odkrycia w 1938 r. wraz z Fritzem Strassmannem⁴¹ rozszczepienia jąder uranu, które stało się podstawą wyzwania energii jądrowej na skalę techniczną. Nic więc dziwnego, że odkrycie to przyniosło Hahnowi w 1945 r. nagrodę Nobla w dziedzinie chemii (za rok poprzedni). Nie bez słuszności swą autobiografię naukową zatytułował on: *Od radiotoru do rozszczepienia uranu*⁴².

Również w 1905 r. Polak Tadeusz Godlewski z Politechniki Lwowskiej, pracując w laboratorium Rutherforda, w tym czasie w Montrealu, odkrył w szeregu urano-aktynowym promieniotwórczy aktywny X⁴³. Wszechstronne badania nie wykazały żadnych różnic chemicznych między tym nuklidem a torem X. W 1908 r. Boltwood⁴⁴ i niezależnie od niego Willy Marckwald w Berlinie wraz ze swym uczniem Brunonem Keetmanem⁴⁵ odkryli w szeregu urano-radowym nowy nuklid promieniotwórczy, który otrzymał nazwę „jon”. Okazał się on pod względem chemicznym identyczny z torem, to znaczy, jak później zrozumiano, jest jego izotopem. W 1909 r. Szwedzi D. Strömholm i The Svedberg na uniwersytecie w Uppsali stwierdzili, że nie ma żadnej różnicy chemicznej między torem X, aktywnym X i radem⁴⁶ i chyba pierwsi zaproponowali umieścić te kilka różnych nuklidów w tym samym miejscu układu okresowego. W 1910 r. Polak Henryk Herszfinkel (Herchfinkel) w pracowni Marii Skłodowskiej-Curie (stosując frakcyjną krystalizację i sublimację oraz adsorpcję na węglu aktywnym) bezskutecznie usiłował oddzielić rad D od ołowiu⁴⁷. Miał bowiem do czynienia z parą izotopów. W tym samym roku Marckwald, wyodrębniając rad z minerału zawierającego tor,

⁴¹ O. Hahn, F. Strassmann: *Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle*. „Die Naturwissenschaften” 1939 t. 27 s. 11—15; O. Hahn, F. Strassmann: *Nachweis der Entstehung aktiver Bariumsotope aus Uran Thorium durch Neutronenbestrahlung; Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke bei der Uransplattung*. Tamże, 1939 t. 27 s. 88—95.

⁴² O. Hahn: *Vom Radiothor zur Uransplattung, Eine wissenschaftliche Selbstbiographie*. Braunschweig 1962.

⁴³ T. Godlewski: *A new radio-active product from actinium*. „Nature” 1905 t. 71 s. 294—295.

⁴⁴ B. Boltwood: *On ionium, a new radio-active element*. „American Journal of Science” 1908 t. 25 s. 365—381.

⁴⁵ W. Marckwald, B. Keetman: *Notiz über Ionium*. „Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft” 1908 t. 41 s. 49—50.

⁴⁶ D. Strömholm, T. Svedberg: *Untersuchungen über die Chemie der radioaktiven Grundstoffe*. „Zeitschrift für anorganische Chemie” 1909 cz. I t. 61 s. 338—346; cz. II t. 63 s. 197—206.

⁴⁷ H. Herchfinkel: *Sur le radioplomb*. „Le Radium” 1910 t. 7 s. 198—200.

stwierdził chemiczną nierozdzielność radu i mezotoru I⁴⁸. Wniosek ten potwierdził Soddy⁴⁹.

Przytoczone przykłady nierozdzielności chemicznej pewnych nuklidów skłoniły Soddy'ego do postawienia w tej pracy pytania, czy niektóre naturalne pierwiastki nie są w rzeczywistości mieszaninami chemicznie nierozdzielonych pierwiastków, różniących się tylko masą atomową. Słowo izotop jeszcze wtedy nie istniało. Odkrycie izotopii dało na to pytanie odpowiedź pozytywną. Dzisiaj wiemy, że poszczególne izotopy tego samego pierwiastka nie są pod względem chemicznym identyczne, lecz się nieco, na ogół bardzo nieznacznie, od siebie różnią, jak też istnieją niewielkie przesunięcia w widmach optycznych.

Z powyższego niekompletnego przeglądu badań wynika, iż Soddy doszedł do pojęcia izotopii wychodząc raczej z faktu identyczności chemicznej pewnych nuklidów, podczas gdy Fajans sformułował wniosek o istnieniu plejad, a więc izotopii, wychodząc z prawa przesunięć promieniotwórczych.

Prawo to było dla Fajansa i jego współpracowników w Karlsruhe punktem wyjścia do innych jeszcze odkryć. Fajans miał w tym czasie trzech bardzo zdolnych doktoranów. Byli to: Paul Beer, Oswald Helmuth Göhring, zaledwie o dwa lata młodszy od Fajansa, i Max Ernst Lemberg. Wraz z Göhringem Fajans odkrył nowy pierwiastek.

Nuklid uran II (UII), izotop uranu ($Z = 92$), uważano wtedy za produkt przemiany beta uranu X (UX), będącego izotopem toru ($Z = 90$). Taka przemiana powinna jednak, według prawa przesunięć promieniotwórczych, wytworzyć nieznaną dotąd pierwiastek nr 91, którego istnienie przewidział w roku 1871 Mendelejew⁵⁰ i który nazwał ekatantalem (Et), gdyż powinien się znajdować w układzie okresowym pod tantalem między torem i uranem. Na stronie 191 cytowanej pracy, przypisując torowi masę atomową 231, a uranowi 240, Mendelejew przepowiedział, iż ekatantal ma mieć masę atomową około 235 i dawać pięciotlenek o wzorze Et_2O_5 . Fajans i Göhring⁵¹ i niezależnie od nich Alexander Smith Russel⁵² doszli do wniosku, że to, co nazywano wówczas uranem

⁴⁸ W. Marckwald: *Zur Kenntnis des Mesothoriums*. „Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft” 1910 t. 43 s. 3420—3422.

⁴⁹ F. Soddy: *The chemistry of mesothorium*. „Journal of the Chemical Society” 1911 t. 99 s. 72—83.

⁵⁰ D. Mendelejew: *Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen Elemente (Aus dem Russischen von F. Wreden)*. „Annalen der Chemie” Liebigs 1871, Supplementband VIII s. 133—232.

⁵¹ K. Fajans: *Die Stellung der Radioelemente...* (patrz przyp. 25); K. Fajans, O. Göhring: *Über die komplexe Natur des Ur X*. „Die Naturwissenschaften” 1913 t. 1 s. 339.

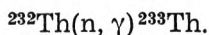
⁵² A. S. Russel: *The periodic system and the radio-elements*. „Chemical News” 1913 t. 107 s. 49—52.

niej ze słowami: „Bardzo się cieszę, że panią znów widzę, myśmy się przecież spotkali w ubiegłym roku na innym kongresie”. — „W zeszłym roku? Niemożliwe — odpowiedziała uczona — ja tam nie byłam. Pan mnie chyba myli z profesorem Hahnem”.

Jednocześnie, lecz niezależnie od Hahna i Meitner, ten sam izotop pierwiastka 91 odkryli Soddy i John Arnold Cranston⁵⁶. Jest to najtrwalszy izotop tego pierwiastka. Zwyczajowo nadaje się pierwiastkowi promieniotwórczemu nazwę jego najtrwalszego izotopu. Toteż Fajans zrezygnował później⁵⁷ z nazwy brewium, która okazała się nieuzasadniona. Odkryty przez Fajansa i Göhringa pierwiastek nr 91 nazywa się więc ostatecznie protaktynem.

W 1921 roku Hahn⁵⁸ wykazał, że uran X_1 przekształca się nie tylko w uran X_2 ($UX_2 = {}^{234}\text{Pa} = \text{Bv}$), ale częściowo również w jego izomer jądrowy — uran Z (UZ), również ulegający przemianom beta, ale o okresie dłuższym, wynoszącym 6,7 godziny. Izomery jądrowe mają ten sam skład nukleonowy, lecz różnią się stanem energetycznym. Przez wiele lat (do 1935 r.) izomery UX_2 i UZ stanowiły jedyny znany przypadek izomerii jądrowej.

Poza izotopami ${}^{231}\text{Pa}$ i ${}^{234}\text{Pa}$, które znajdujemy w przyrodzie, otrzymano, począwszy od 1938 r. sztucznie w różnych reakcjach jądrowych liczne inne izotopy protaktynu, o liczbach masowych zawartych między 216 i 238. Pierwszym z nich był ${}^{233}\text{Pa}$ powstający w przemianie beta toru 233, który z kolei otrzymano w reakcji pochłonięcia neutronu przez jądro toru 232⁵⁹:



Fajans i Donald F. C. Morris w publikacji z 1973 r.⁶⁰ podali pełną listę izotopów protaktynu znanych do tej daty.

⁵⁶ F. Soddy, J. A. Cranston: *The parent of actinium*. „Proceedings of the Royal Society of London” 1918 Ser. A t. 94 s. 384—404.

⁵⁷ K. Fajans: *Radioaktivität und neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen*. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1919; II wydanie, przejrzane i uzupełnione 1920; III wydanie rozszerzone 1921; IV wydanie uzupełnione i przerobione 1922. Przejrzany przedruk wydania IV 1930. Przekład angielski T. S. Wheelera i W. G. Kinga, London and New York 1922. Przekłady rosyjskie: E. W. Szpolskiego, Moskwa 1922; A. N. Frumkina, Odessa 1922, 1923; L. C. Polaka, Berlin 1922.

⁵⁸ O. Hahn: *Über eine neue radioaktive Substanz in Uran*. „Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft” 1921 t. 54 s. 1131—1142.

⁵⁹ L. Meitner, F. Strassmann, O. Hahn: *Künstliche Umwandlungsprozesse bei Bestrahlung des Thoriums mit Neutronen; Auftreten isomeren Reihen durch Abspaltung von α — Strahlen*. „Zeitschrift für Physik” 1938 t. 109 s. 538—552.

⁶⁰ K. Fajans, D. F. C. Morris: *Discovery and naming of the isotopes of element 91*. „Nature” 1973 t. 244 s. 137—138.

Fajans uważał za swój obowiązek natychmiast zakomunikować polskiej społeczności naukowej o odkryciu nowego pierwiastka. Zadał więc, by jego niemiecka publikacja o brewium⁶¹ ukazała się również (w nieco zmienionej i uzupełnionej postaci) w polskim przekładzie w „Chemiku Polskim”⁶², tj. w tym samym czasopiśmie, w którym dziesięć lat wcześniej inny polski badacz promieniotwórczości, również pracujący na obczyźnie, Maria Skłodowska-Curie, ogłosiła polską wersję swej pracy doktorskiej⁶³. A jeszcze wcześniej opisała w polskim miesięczniku fotograficznym „Światło” odkrycie nowego pierwiastka, który nazwała polonem⁶⁴. Temu pierwiastkowi poświęciła zresztą wiele lat później obszerny artykuł przeglądowy w języku polskim⁶⁵. Nawiasem mówiąc, w artykule tym autorka cytuje, między innymi, pracę Fajansa o prawie przesunięć⁶⁶. Polski artykuł Fajansa o brewium nie był, jak wiemy, jego pierwszym artykułem w języku ojczystym i też nie ostatnim. W 1913 r. Fajans był we Wrocławiu, gdzie 4 czerwca na zebraniu tamtejszego Towarzystwa Chemików wygłosił po polsku odczyt o pierwiastkach promieniotwórczych i ich położeniu w układzie okresowym. Trzy lata później, 15 kwietnia 1916 r., odczyt na podobny temat, lecz z uwzględnieniem, oczywiście, nowych danych, wygłosił na zebraniu Koła Chemików w Warszawie. Rozszerzone opracowanie obu tych odczytów ukazało się następnie w „Wiadomościach Matematycznych”⁶⁷.

Odkrycie brewium, tj. wyodrębnienie uranu X_2 , Rutherford uznał za dowód doświadczalny ogólnego prawa przesunięć promieniotwórczych. Taką opinię wyraził w liście prywatnym z 2 kwietnia 1913 r. do Fajansa⁶⁸. Czytamy tam m.in.: [...] Skoro otrzymał Pan przewidziany UX_2 z przewidzianymi własnościami, ma Pan wielką zasługę w uwiarygodnieniu tego uogólnienia”.

Innym, bodaj że jeszcze ważniejszym potwierdzeniem prawa przesunięć promieniotwórczych, i jednocześnie istnienia izotopów, było odkry-

⁶¹ Patrz przyp. 53.

⁶² K. Fajans, D. Göhring: *O uznanie X_2 — nowym pierwiastkiem rzędu uranowego*. Odbitka z t. 14 „Chemika Polskiego” s. 15. Zmieniony i uzupełniony przekład pracy wymienionej w przypisie 53.

⁶³ M. Skłodowska-Curie: *Badania ciał radioaktywnych*. „Chemik Polski” 1904 t. 4 s. 141—153, 161—166, 181—190, 201—215, 221—235, 241—249. Praca przedrukowana W: *Prace Marii Skłodowskiej-Curie*. Zebrane przez I. Joliot-Curie. Warszawa 1954 s. 241—307.

⁶⁴ M. Skłodowska-Curie: *Poszukiwania nowego metalu w pechblenianie*. „Światło” 1898 t. 1 s. 54 i nast., Wg: „Prace...” s. 49—56.

⁶⁵ M. Skłodowska-Curie: *Stan obecny chemii polonu*. „Roczniki Chemii” 1926 t. 6 s. 355—361.

⁶⁶ K. Fajans: *Die Stellung der Radio-elemente ...* (patrz przyp. 25).

⁶⁷ K. Fajans: *Pierwiastki promieniotwórcze a układ periodyczny*. „Wiadomości matematyczne” 1917 t. 21 s. 159—187.

⁶⁸ E. Rutherford: *List do K. Fajansa z 2 kwietnia 1913 r.*, Michigan Historical Collections, Bentley Historical Library, University of Michigan, Ann Arbor.

cie izotopii ołowiu. Jak dziś wiemy, produktem końcowym — zarówno w szeregu urano-radowym, jak i torowym (a także urano-aktywnym) — jest ołów. Fajans⁶⁹ wychodzi z założenia, że od uranu o masie atomowej 238,5 do ołowiu prowadzi w szeregu urano-radowym osiem przemian alfa, z których każda, na podstawie prawa przesunięć, zmniejsza masę atomową o 4 jednostki i sześć przemian beta nie wpływających na masę atomową. A zatem masa atomowa ołowiu, pochodzącego z uranu, powinna wynosić:

$$238,5 - 8 \times 4 = 206,5.$$

W szeregu torowym ThD₂ stanowiący według prawa przesunięć ołów, powstaje z toru o masie atomowej 232,4 w wyniku sześciu przemian alfa i czterech przemian beta. Na podstawie więc takiego samego rachunku jak dla szeregu urano-radowego, masa atomowa ołowiu pochodzenia torowego powinna być:

$$232,4 - 6 \times 4 = 208,4.$$

Natomiast masa atomowa zwykłego ołowiu wyznaczona doświadczalnie wynosi — stwierdza Fajans — 207,1. Sprzeczność między wartością uzyskaną doświadczalnie a wartościami pochodzącymi z podobnych rachunków próbuje Fajans usunąć, wysuwając przypuszczenie, że ołów zwykły stanowi mieszaninę dwóch nierozdzielnych odmian pochodzenia promieniotwórczego. Dla sprawdzenia, czy powyższe rachunki są zgodne z doświadczeniem, Fajans proponuje przeprowadzenie dokładnych pomiarów masy atomowej ołowiu wydzielonego z minerałów torowych wolnych od uranu i ołowiu wyodrębnionego z minerałów uranowych wolnych od toru. Do podobnych wniosków doszedł też Soddy⁷⁰.

Fajans wraz ze swym doktorantem Lembertem postanowili sami wyznaczyć dokładnie masę atomową ołowiu z minerałów uranowych. Szybko jednak doszli do wniosku, że zadanie to przekracza ich możliwości. Należy mieć na uwadze, że Lambert miał wtedy zaledwie 21 lat, a i sam Fajans był nie o wiele starszy, liczył sobie bowiem 25 lat. Postanowili więc skorzystać z pomocy laboratorium mającego doświadczenie w tego rodzaju pomiarach. Mistrzem w oznaczaniu mas atomowych był Theodore William Richards, który kierował Wolcott Gibbs Memorial Laboratory przy Harvard University w Cambridge w stanie Massachusetts w Stanach Zjednoczonych Ameryki. Za precyzyjne pomiary masy atomowej licznych pierwiastków otrzymał w 1914 r. nagrodę Nobla. Był on pierwszym i przez długie lata jedynym amerykańskim laureatem nagrody Nobla w zakresie chemii.

Dzięki poparciu profesora Brediga politechnika w Karlsruhe przyznała Lambertowi stypendium na wyjazd do laboratorium Richardsa.

⁶⁹ K. Fajans: *Über eine Beziehung...* (patrz przyp. 25).

⁷⁰ F. Soddy: *The radio-elements and the periodic law*. „Chemical News” 1913 t. 107 s. 97—99.

W ciągu kilku miesięcy Lembert opanował tam technikę pomiaru masy atomowej i przy udziale Richardsa oznaczył masę atomową ołowiu pochodzącego z uranu z różnych próbek minerałów.

Badacze zastosowali metodę Baxtera i Wilsona⁷¹, przeprowadzając badany ołów w chlorek (PbCl_2), który starannie oczyszczali przez kilkakrotną krystalizację. Oczyszczony chlorek ołowiu rozpuszczali w wodzie i jon chlorkowy strącali azotanem srebra (AgNO_3).

Niezmiernie precyzyjne pomiary wykazały, że ołów pochodzący z uranu ma istotnie masę atomową mniejszą niż zwykły ołów; różnica wynosi 0,74 jednostki, znacznie przekraczając błąd oznaczenia. Badania spektralne stwierdziły przy tym, że w obu przypadkach otrzymuje się to samo widmo czystego ołowiu. Lembert w obszernym liście⁷² przedstawił te wyniki Fajansowi. Ten zreferował je 21 maja 1914 r. na posiedzeniu Bunsengesellschaft w Lipsku. Wkrótce ukazała się na ten temat publikacja⁷³. W tym samym mniej więcej czasie podobne pomiary przeprowadzono w kilku innych pracowniach otrzymując zbliżone wyniki⁷⁴. Znacznie trudniej było wyznaczyć dokładnie masę atomową ołowiu pochodzącego z toru, gdyż niełatwo był znaleźć minerał torowy wolny od uranu. Pierwsze wiarygodne oznaczenia masy atomowej ołowiu powstałego z toru wykonał Otto Hönigschmid. Badając m.in. próbkę ołowiu wyodrębnionego przez Fajansa z torytu (krzemian toru) Hönigschmid⁷⁵ uzyskał wartość masy atomowej 207,90, podczas gdy dla zwykłego ołowiu jako odpowiednią wartość otrzymano 207,15.

Hönigschmid był uczniem Richardsa i uchodził za najlepszego w Europie badacza masy atomowej. Pochodził on z Pragi czeskiej, gdzie, po rocznym pobycie w pracowni Richardsa, został kierownikiem Zakładu Chemii Nieorganicznej i Analitycznej na tamtejszej politechnice. Przez dłuższy czas współpracował też z Instytutem Radowym w Wiedniu. W 1918 r. powołano go na Katedrę Chemii Analitycznej na uniwersyte-

⁷¹ G. P. Baxter, J. Wilson: *The analysis of lead chloride*. „Journal of the American Chemical Society” 1908 t. 30 s. 187—195.

⁷² M. E. Lembert: *List do K. Fajansa z 27 kwietnia 1914 r.* Mich. Hist. Col., Bentley Hist. Libr., Ann Arbor.

⁷³ T. W. Richards, M. E. Lembert: *The atomic weight of lead of radioactive origin* „Journal of the American Chemical Society” 1914 t. 36 s. 1329—1344.

⁷⁴ F. Soddy, H. Hyman: *The atomic weight of lead from Ceylon thorite*. „Journal of the Chemical Society” 1914 t. 105 s. 1402—1408; M[aurice]Curie: *Sur les écarts de poids atomiques obtenus avec du plomb de la provenant de minéraux*. „Comptes Rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences” Paris 1914 t. 158 s. 1676—1679; O. Hönigschmid, Mlle St. Horowitz: *Sur le poids atomique du plomb de la pechblende*. Tamże, 1914 t. 158 s. 1796—1798; O. Hönigschmid, S. Horowitz: *Über das Atomgewicht des Uranbleis*. „Monatshefte für Chemie” 1915 t. 36 s. 355—380.

⁷⁵ O. Hönigschmid: *Neuere Atomgewichtbestimmungen*. „Zeitschrift für Elektrochemie” 1919 t. 25 s. 91—96.

cie w Monachium i stał się w ten sposób bliskim kolegą Fajansa. Później został przewodniczącym niemieckiej Komisji Mas Atomowych, a gdy utworzono Międzynarodową Komisję Mas Atomowych, stanął na jej czele.

Wyniki precyzyjnych pomiarów mas atomowych ołowiu różnego pochodzenia potwierdziły ponad wszelką wątpliwość przypuszczenie Fajansa o istnieniu trwałych izotopów ołowiu, których mieszaninę stanowi zwykły ołów 76 . Było to definitywnym potwierdzeniem prawa przesunięć promieniotwórczych.

Poza ołowiem natrafiono, nawet nieco wcześniej (lecz metodami niechemicznymi) na fakty sugerujące istnienie trwałych izotopów innego pierwiastka. Joseph John Thomson, odkrywca wolnego elektronu, laureat nagrody Nobla w 1906 r., zastosował metodę analizy magnetycznej do badania strumieni jonów dodatnich. Dzięki odpowiednio skierowanym polom elektrycznemu i magnetycznemu jony o różnych prędkościach, lecz o tym samym stosunku ładunku do masy, dają jedną parabolę na ekranie fosforyzującym lub na kliszy fotograficznej, prostopadłych do kierunku promienia. W przypadku neonu Thomson otrzymał dwie parabole, które próbował przypisać dwóm izotopom neonu o masach atomowych 20 i 22 77 . Wniosku tego nie można jednak było uznać za całkowicie jednoznaczny. Istniała bowiem w warunkach doświadczenia możliwość, że jony przyjmowane za $^{22}\text{Ne}^+$ mogły być jonami $^{20}\text{NeH}_2^+$.

Próby rozdzielania hipotetycznych izotopów ^{20}Ne i ^{22}Ne (przez dyfuzję frakcjonowaną), przedsięwzięte przez Francisa Williama Astona, asystenta Thomsona, również nie dały dostatecznie przekonującego wyniku 78 . Dopiero w 1919 r., za pomocą spektroskopu mas, potwierdzono istnienie izotopii neonu 79 . Trwałe izotopy ołowiu można więc uważać za pierwsze bezspornie odkryte izotopy trwałe.

Prawo przesunięć promieniotwórczych nazywa się często prawem Fajansa i Soddy'ego, wymieniając oba te nazwiska w tej lub nawet części w odwrotnej kolejności. Nasuwa się więc pytanie, jaki jest tu udział Soddy'ego. Zagadnienie to, jak i szczegółowa analiza prawa przesunięć i jego konsekwencji, są przedmiotem licznych prac historyków badań promieniotwórczości, z których skorzystano w niniejszym opracowaniu.

⁷⁶ K. Fajans: *Über das Thoriumblei*. „Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften” 1918 Ser. A, Abhandl. 3 (28 ss.); K. Fajans: *Zur Kenntnis und Auffassung isotoper Bleiarten*. „Zeitschrift für Elektrochemie” 1918 t. 24 s. 163—169.

⁷⁷ J. J. Thomson: *Rays of positive electricity*. „Proceedings of the Royal Society of London” 1914 Ser. A t. 89 s. 1—20.

⁷⁸ F. W. Aston: *A new elementary constituent of the atmosphere*. Report to 83rd Meeting of British Association of Advanced Sciences, 1913 s. 403.

⁷⁹ F. A. Lindenmann, F. W. Aston: *The possibility of separating isotopes*. „Philosophical Magazine” 1919 t. 37 s. 523—534.

waniu. Do najważniejszych należą prace Aleksandra Kriwomazowa⁸⁰, Lawrence'a Badasha⁸¹ i Georga B. Kauffmana⁸².

Soddy w swojej monografii poświęconej pierwiastkom promieniotwórczym, ogłoszonej w roku 1911⁸³, wymienia wprowadzie na stronie 29 kilka przypadków cofnięcia się pierwiastka, w wyniku rozpadu alfa, nie uważa jednak tego za regułę ogólną, a przemiany beta w ogóle nie rozważa. Prawo przesunięć sformułował on dopiero w publikacji późniejszej⁸⁴, która wpłynęła do redakcji 18 lutego 1913 r., już po ukazaniu się publikacji na ten temat Fajansa (15 lutego 1913 r.)⁸⁵ i z powołaniem się na te publikacje. Chronologia rozstrzyga więc w sposób bezsporny kwestię pierwszeństwa. Zestawiając wymienione daty, fizyk radziecki Ilia Frank, laureat nagrody Nobla w roku 1958 za badania zjawiska Czerenkowa, w liście prywatnym do Fajansa⁸⁶ z dnia 26 lutego 1975 r. pisze: „[...] Kwestia Pańskiego pierwszeństwa jest dla mnie zupełnie oczywista. Powszechnie przyjęto, że o pierwszeństwie decyduje data nadesłania do druku. W danym przypadku Soddy powołuje się na Pański artykuł już opublikowany, zawierający pełne sformułowanie praw przesunięć, tzn., że jego praca jest nie tylko późniejsza, ale i nie może być traktowana jako niezależna...”. Sam zresztą Soddy, kilka lat później, w przemówieniu z okazji wręczenia mu nagrody Nobla⁸⁷ ocenił obiektywnie wkład Fajansa do odkrycia prawa przesunięć promieniotwórczych.

Poza Fajanssem i Soddy'm w tym samym mniej więcej czasie również inni badacze usiłowali ustalić prawa przesunięć pierwiastków w układzie okresowym w wyniku przemian promieniotwórczych. Otrzymali jednak wyniki tylko częściowe lub zgoła fałszywe. Ttoteż w tym artykule pomijamy ich prace.

W podręcznikach i popularnych pracach naukowych przedstawia się często odkrycie jako rezultat systematycznych badań i logicznych roz-

⁸⁰ A. N. Krivomazov: *Istorija otkrytija zakona radioaktivnyh smeščenij i izotopii radioaktivnyh elementov*. Praca kandydacka, Institut Istorii Estestvoznania i Techniki AN SSSR, Moskwa 1975.

⁸¹ L. Badash: *The suicidal succes of radiochemistry*. „The British Journal of the History of Science” 1979 t. 12 s. 245—256.

⁸² G. B. Kauffman: *The atomic weight of lead of radioactive origin. A confirmation of the concept of isotopy and the group displacement laws*. „Journal of Chemical Education” 1982 t. 59 s. 3—8, 119—123.

⁸³ G. B. Kauffman: *The atomic weight of lead of radioactive origin. A con-* Co., London 1911.

⁸⁴ Patrz przyp. 70.

⁸⁵ Patrz przyp. 25.

⁸⁶ I. Frank: *List do K. Fajansa z 26 lutego 1975 r.* Mich. Col., Bentley Hist. Libr., Ann Arbor.

⁸⁷ F. Soddy: *The origins of the conception of isotopes*. Nobel paper, Stockholm, 12 XII 1922. Tekst przedrukowany W: Nobel Lectures, Chemistry (1901—1921). Elsevier Publishing Company Amsterdam — London — New York 1966.

ważań. Pewną jednak rolę odgrywa tu również wyobraźnia i troska o piękno i prostotę obrazu Świata. Niekiedy czynniki wręcz irracjonalne pobudzają myśl twórczą. Uczony, którego umysł pochłonięty jest jakimś zagadnieniem badawczym, nagle w pewnych okolicznościach doznaje olśnienia. Fajans zwierzał się, że na myśl o prawidłowości przesunięć promieniotwórczych wpadł 23 listopada 1912 r. podczas ... przedstawienia opery Wagnera *Tristan i Izolda!* Inna opera, *Car i cieśla* Lortzinga, skierowała w 1913 r. myśl Fajansa na zależności między trwałością poszczególnych izotopów danego pierwiastka i ich liczbą masową, używając dzisiejszej terminologii. Fajans sformułował następujące dwie reguły⁸⁸: 1. trwałość (okres połowicznego zaniku) izotopów alfa-promieniotwórczych danego pierwiastka rośnie wraz z ich liczbą masową; 2. trwałość izotopów beta-promieniotwórczych danego pierwiastka, przeciwnie, maleje wraz ze wzrostem liczby masowej.

W odróżnieniu od prawa przesunięć promieniotwórczych, które jest zawsze słuszne, powyższe dwie reguły mają pewne wyjątki.

Wiele lat później, będąc już profesorem w Monachium od 1917 r., Fajans opowiadał swemu koledze, profesorowi fizyki teoretycznej — Arbol dowi Sommerfeldowi o okolicznościach, w jakich doszedł do reguły przesunięć i do reguły trwałości izotopów promieniotwórczych. Wtedy, znakomity ten fizyk, który był bardzo muzykalny, odrzekł: „Ta druga reguła jest, oczywiście, mniej ważna niż prawo przesunięć, gdyż *Car i cieśla* nie jest tak wybitnym dziełem muzycznym jak *Tristan i Izolda*.”

Gdy raz w monachijskim mieszkaniu Fajansa rozległ się dzwonek gospodarz otworzył drzwi, na progu stał policjant. Dla jakichś celów potrzebował danych personalnych właściciela mieszkania. Na pytanie o zawód i zajęcie Fajans odpowiedział: profesor chemii fizycznej (Professor für physikalische Chemie). Policjant, który prawdopodobnie nie wiedział o istnieniu takiej specjalności i niedokładnie usłyszał odpowiedź Fajansa, zanotował: profesor chemii muzycznej (Professor für musikalische Chemie) i głośno swój zapis odczytał. Niebardzo się zresztą pomylił.

Przedstawienia operowe, które nasunęły Fajansowi pomysły odkryć, nie są jedynymi przypadkami, gdy muzyka okazała się czynnikiem pobudzającym twórczość naukową. Można wymienić nazwiska wielu uczonych, którzy jednocześnie byli muzykami: twórcami lub odtwórcami. Powszechnie wiadomo o zamiłowaniu Einsteina do gry na skrzypcach. Ograniczmy się tu jednak do chemików. Aleksander Borodin, chemik rosyjski współczesny Mendelejewowi, jest nawet bardziej znany jako twórca opery *Kniaź Igor*, licznych sonat i symfonii. Emil Votoček, wybitny czeski badacz cukrów, autor znanych słowników chemicznych, skomponował wiele utworów muzycznych. Hugo Theorell, biochemik

⁸⁸ K. Fajans: *Das Verzweigungsverhältnis und das Atomgewicht der C₁ — Glieder der drei radioaktiven Umwandlungsreihen*. „Physikalische Zeitschrift” 1913 t. 14 s. 951—953.

szwedzki, laureat nagrody Nobla w dziedzinie fizjologii i medycyny w 1955 r., był dobrym skrzypkiem i dyrygował orkiestrą filharmoniczną w Sztokholmie. Wilhelm Ostwald grał często wieczorami na skrzypkach lub z żoną na fortepianie na cztery ręce. Pianistą był francuski elektrochemik Georges Carpéni. Dobrze gra na fortepianie polski fizykochemik — Wiktor Kemula. Grał w orkiestrze polski biochemik — Bolesław Skarżyński. Poprzestańmy na tych przykładach, które wystarczająco ilustrują wzajemne przenikanie się nauki i sztuki.

Poszczególne izotopy danego pierwiastka różnią się liczbą masową. Fajans pierwszy użył tej liczby jako wskaźnika przy symbolu pierwiastka dla wskazania, o jakim jego izotopie mowa, proponując jednolite znakowanie wszystkich nuklidów⁸⁹. W pierwszym wydaniu swej monografii o promieniotwórczości⁹⁰ umieszcza liczbę masową bezpośrednio nad symbolem pierwiastka, zastępując, na przykład, symbol historyczny

RaG przez symbol racjonalny $\text{Pb}^{206,0}$. W czwartym wydaniu tej książki znajdujemy symbole Cl^{35} i Cl^{37} . W 1923 r. Komitet Pierwiastków Chemicznych przy Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC) ogłosił tablicę izotopów, stosując w zasadzie zaproponowane przez Fajansa symbole: liczba masowa u góry (po prawej stronie) symbolu pierwiastka, na przykład Cl^{35} i Cl^{37} przedstawiają dwa różne izotopy naturalne chloru. Później jednak, na wniosek Komisji Nazewnictwa Chemii Nieorganicznej z 1957 r., IUPAC uchwaliła odmienny sposób znakowania⁹¹, który przy tym pozwala zaznaczyć i inne cechy danego jonu (atom obojętny można traktować jako szczególny przypadek jonu, mianowicie jako jon o ładunku zerowym): po lewej stronie symbolu pierwiastka u góry umieszcza się liczbę masową A, u dołu liczbę atomową Z, po prawej stronie u góry ładunek jonu, u dołu zaś liczbę atomów (jąder atomowych).

Fajans był błyskotliwym wykładowcą i rozmiłowanym w badaniach uczonym. Jego zapał udzielał się w zaraźliwy sposób współpracownikom. Żmudne czasem i uciążliwe próby stawały się w tych warunkach pasjonującym przeżyciem. Fajans miał znakomite pomysły doświadczeń. Sam jednak był eksperymentatorem niezręcznym i to do tego stopnia, że jak opowiada w swych wspomnieniach⁹² Węgierka Elizabeth Rona, która pod jego kierunkiem odbyła w Karlsruhe 8-miesięczną praktykę

⁸⁹ K. Fajans: *Die Nomenklatur der Radioelemente*. „Zeitschrift für Elektrochemie” 1917 t. 23 s. 250—257.

⁹⁰ Patrz przyp. 57.

⁹¹ International Union of Pure and Applied Chemistry: *Nomenclature of Inorganic Chemistry, Definitive Rules*. Issued by the Commission on the Nomenclature of Inorganic Chemistry. Wyd. 2, Butterworths, London 1970.

⁹² E. Rona: *How It Came About: Radioactivity, Nuclear Physics, Atomic Energy*. Oak Ridge Associated Universities, 1978. Rozdział, *Budapest and Karlsruhe*. s. 1—10.

podoktorską, współpracownicy Fajansa wręcz drżeli, gdy zbliżał się do ich aparatury, by jej nie uszkodził. Żadne jednak przeszkody nie zrażały tego nieustępliwego badacza w realizacji obmyślonych planów naukowych. Jeden z jego pierwszych wychowanków, Paul Beer, w przemówieniu, wygłoszonym 14 maja 1956 r.⁹³ na bankiecie na cześć Fajansa, przypomniał, jak ten pewnego razu w pracowni w Karlsruhe tuż po eksplozji, która strzaskała mu trzymaną w ręku kolbę, z niewzruszonym spokojem oświadczył: „Trudności doświadczalne nie istnieją” (Experimentelle Schwierigkeiten gibt es nicht). Takim właśnie napisem opatrzyli



współpracownicy Fajansa dowcipną karykaturę, którą ofiarowali mu na jego 62 urodziny⁹⁴. Rysunek przedstawiał ich mistrza z lewą ręką na temblaku w zdemolowanej przez wybuch pracowni, manipulującego prawą ręką przy ocalałych szczątkach aparatury. Karykaturę solenizant potraktował z właściwym mu humorem. Prostota Fajansa była przeciwień-

⁹³ P. Beer: Przemówienie wygłoszone 14 maja 1956 r. na bankiecie na cześć Kazimierza Fajansa. Mich. Col., Bentley Hist., Libr., An Arbor.

⁹⁴ Patrz przyp. 92.

stwem autorytatywnego zachowania się typowego profesora niemieckiego owych czasów, którego reprezentował między innymi Bredig. Fajans natomiast cieszył się wśród współpracowników autorytetem opartym na głębokiej wiedzy i twórczym umyśle. Cechowała go przy tym ogromna życzliwość wobec otoczenia. Każdego traktował z powagą. Wykazywał niezwykłą cierpliwość w dyskusjach naukowych. Interesował się sprawami osobistymi swych pracowników, starając się im pomóc, gdy mieli kłopoty. W niewymuszonej beztroskiej atmosferze przyjmował często swych uczniów u siebie w domu. Uczucia podziwu, uznania i przyjaźni do swego nauczyciela zachowali oni na zawsze, dając temu wyraz w obfitej korespondencji z nim i podczas różnych spotkań.

Już w roku 1913, szczególnie owocnym w działalności Fajansa, wykonał on wraz z Beerem⁹⁵ badania adsorpcji tj. zagęszczania na powierzchni ciała stałego jonów pierwiastków promieniotwórczych z roztworów silnie rozcieńczonych na kryształach jonowych, dając pierwsze sformułowanie reguły strącenia. Badacze stwierdzili, iż stopień adsorpcji zależy od rozpuszczalności związków tworzonych przez kation (jon dodatni) pierwiastka promieniotwórczego, stanowiącego mikroskładnik, i anion (jon ujemny osadu) zawierającego makroskładnik. Prace te rozwinął w 1915 r. Friedrich Paneth z Karlem Horovitzem⁹⁶. Dążyło to do możliwości sformułowania tzw. reguły Fajansa i Panetha, która głosi: pierwiastek promieniotwórczy znajdujący się w roztworze pod postacią kationu jest tym silniej adsorbowany przez tworzący się lub już poprzednio istniejący osad, im związek utworzony przez ten pierwiastek i anion osadu jest trudniej rozpuszczalny.

Reguła ta ma jednak liczne wyjątki. Późniejsze badania Fajansa z K. von Beckerathem⁹⁷ wykazały (na przykładzie adsorpcji izotopu ołowiu ThB^{2+} na koloidalnych halogenkach srebra) wpływ ładunku powierzchni osadu na adsorpcję jonów z roztworu. Powierzchnia adsorbująca, zaadsorbowawszy uprzednio inne jony, ładuje się dodatnio, jeżeli to są kationy, a ujemnie w przypadku anionów. Fajans z właściwą mu dociekliwością nie ogranicza się do stwierdzeń empirycznych, lecz usiłuje wyjaśnić mechanizm obserwowanych zjawisk siłami powierzchniowymi w sieciach kryształów heteropolarnych tj. zbudowanych z jonów dodatnich i ujemnych. Użycie — jako adsorbentów — halogenków srebra, czułych na światło, zapoczątkowało serię badań fotochemicznych (pochłaniania

⁹⁵ K. Fajans, P. Beer: *Das Verhalten der Radio-elemente bei Fällungsreaktionen*. „Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft” 1913 t. 46 s. 3486—3497.

⁹⁶ K. Horowitz, F. Paneth: *Über Adsorptionsversuche mit Radioelementen*. „Zeitschrift für physikalische Chemie” 1915 t. 89 s. 513—528.

⁹⁷ K. Fajans, K. v. Beckerath: *Oberflächenkräfte bei heteropolaren Kristallgittern (Adsorption von Bleiisotopen an koloidalen Silberhalogeniden)*. Tamże, 1921, t. 97 s. 478—502.

światła) i doprowadziło do opracowania nowej metody analizy objętościowej (z zastosowaniem wskaźników adsorpcyjnych).

W 1926 r. Hahn⁹⁸ rozróżnił współstrącanie rzeczywiste, gdy mikroskładnik rozmieszcza się w całej objętości osadu, tworząc kryształy mieszane, i współstrącanie adsorpcyjne, gdy mikroskładnik osadza się tylko na powierzchni fazy stałej. Sformułowana przez Hahna reguła współstrącania (rzeczywistego) stwierdza: mikroskładnik zawarty w roztworze przechodzi do wydzielonego osadu krystalicznego tylko wówczas, gdy bierze udział w budowie sieci przestrzennej kryształu makroskładnika, tzn. gdy jest z nim izomorficzny lub izodimorficzny.

Substancje zwane izomorficznymi mają ten sam typ wzoru chemicznego, tworzą ten sam typ sieci przestrzennej i mają bardzo zbliżone rozmiary elementarnej komórki sieci. Dzięki temu mogą tworzyć roztwory stałe, czyli jednorodne kryształy mieszane, w których atomy lub jony dwóch lub więcej związków izomorficznych mogą się wzajemnie zastępować. Izodimorfizm jest zdolnością do tworzenia roztworów stałych, w ograniczonym zakresie składu, przez związki występujące w odmiennych układach krystalograficznych.

Druga reguła sformułowana przez Hahna dotyczy adsorpcji:

Jony promieniotwórcze adsorbują się na kryształach polarnych wówczas, gdy powierzchnia kryształu ma ładunek przeciwnego znaku niż jon promieniotwórczy, przy tym adsorpcja jest tym silniejsza, im związek jonu promieniotwórczego z odmiennie naładowanymi jonami kryształu jest słabiej rozpuszczalny.

Ta druga reguła niewiele się różni od reguły Fajansa — Panetha — von Beckeratha⁹⁹. Kilka lat później Fajans i T. Erdey-Grúz¹⁰⁰ stwierdzili pewne odstępstwa od reguł podanych przez Hahna i usiłują wyjaśnić przyczyny tych odstępstw, badając wpływ różnych czynników na przebieg adsorpcji.

Inne odstępstwa wykryli współpracownicy samego Hahna. W wyżej zacytowanej pracy Fajansa i Erdey-Grúza doświadczalnie stwierdzili, iż na adsorpcję jonów przez sieć krystaliczną wpływają również takie czynniki, jak względne rozmiary i deformowalność (polaryzowalność) jonów. Im większe są adsorbowane jony, tym silniejsze jest odpychanie naładowanej jednoimiennie sieci i w rezultacie tym słabsza jest adsorpcja. Im silniejsze jest działanie polaryzujące adsorbowanych jonów na

⁹⁸ O. Hahn: *Gesetzmässigkeiten bei der Fällung und Adsorption kleiner Substanzmengen und ihre Beziehung zur radioaktiven Fällungsregel*. „Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft” 1926 t. 59 s. 2014—2025; O. Hahn: *Applied Radiochemistry*. Cornell University Press Ithaca, New York 1936.

⁹⁹ Patrz przyp. 97.

¹⁰⁰ K. Fajans, T. Erdey-Grúz: *Über die Adsorption von Ionen insbesondere der Radioelemente und Farbstoffe an salzartigen Verbindungen*. „Zeitschrift für physikalische Chemie” 1931 Ser. A t. 158 s. 97—151.

przeciwnie naładowane jony sieci, tym silniejsza jest adsorpcja. Do tego należy, oczywiście, dodać wpływ rozpuszczalności adsorbowanego związku: im słabiej jest on rozpuszczalny, tym silniej wiązane są przez sieć krystaliczną adsorbowane jony. A zatem, gdy adsorbowany związek jest bardzo słabo rozpuszczalny, to przy silnym działaniu polaryzującym jony zewnętrzne mogą być adsorbowane nawet wówczas, gdy powierzchnia powstającego osadu ma ładunek tego samego znaku. Zjawisko przebiega więc wbrew regule adsorpcji. Fajans i Erdey-Grúz uzupełnili zatem dawną regułę Fajansa-Panetha, uwzględniając wpływ ładunku powierzchni adsorbującej: 1. jon z roztworu wodnego łatwo się adsorbuje na nie-naładowanej powierzchni soli tylko wówczas, gdy tworzy z jonem przeciwnego znaku sieci krystalicznej związek słabo rozpuszczalny (lub słabo dysocjujący); 2. adsorpcja kationu (anionu) wzrasta (słabnie) w obecności adsorbowanych anionów, tzn. przez ujemnie naładowaną powierzchnię, słabnie zaś (wzrasta) w obecności innych adsorbowanych kationów, tzn. przez powierzchnię naładowaną dodatnio. W obu przypadkach efekt jest tym większy, im większa jest uprzednia adsorpcja jonów przeciwnego znaku.

Jeżeli niewątpliwą zasługą Hahna jest zwrócenie uwagi na szczególnie mechanizm współstrącania przez powstawanie kryształów mieszanych, to Fajans i Erdey-Grúz dokładniej opisali zjawiska adsorpcji.

Reguła Fajansa-Panetha, połączona z regułą Hahna, trafiła pod nazwą reguły Fajansa — Panetha — Hahna do wszystkich podręczników radiochemii. Obecnie formuluje się ją zwykle w sposób następujący: radionuklidy silnie rozcieńczone przechodzą do fazy stałej wówczas, gdy tworzą z anionem fazy stałej związku trudno rozpuszczalne oraz gdy ładunek jonu radionuklidu ma znak przeciwny niż ładunek fazy stałej.

Badania Fajansa i Hahna oraz ich współpracowników z powodzeniem kontynuował w późniejszych latach radiochemik radziecki Witalij Chłopin. Ewolucję reguł współstrącania i adsorpcji przekonująco przedstawił w związłym artykule R. Spence¹⁰¹.

Pierwsze publikacje Fajansa w okresie monachijskim stanowią kontynuację i podsumowanie badań promieniotwórczości i izotopii wykonanych w Karlsruhe. W 1919 r. została wydrukowana podstawowa monografia Fajansa¹⁰², której tytuł w przekładzie na polski brzmi: *Promieniotwórczość i najnowszy rozwój nauki o pierwiastkach chemicznych*. Książka przedstawia ówczesny stan wiedzy o promieniotwórczości i izotopii. Praca ta miała kilka wydań, z których każde następne były aktualizowane i ulepszone; została przetłumaczona na język angielski i rosyjski (kilkakrotnie). Przekład rosyjski cieszył się szczególną popularnością

¹⁰¹ R. Spence: *Coprecipitation and adsorption rules*. „Proceedings of the Society for Analytical Chemistry” 1972 t. 9 s. 264—266.

¹⁰² Patrz przyp. 57.

wśród radzieckich fizyków i chemików. W 1920 r., gdy ukazało się drugie wydanie książki, autor posłał jeden egzemplarz Geigerowi. Ten na pocztówce z podziękowaniem napisał: „Ja właściwie znam już Pańską książkę, lecz zabrałem ją z sobą w podróż poślubną, by przeczytać ją mojej żonie, która pragnęła poznać, czym się zajmuje jej mąż”.

Recenzent: Stefan Zamecki

Ю. Гурвиц

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЗИМИРА ФАЯНСА В ОБЛАСТИ РАДИОАКТИВНОСТИ И ИЗОТОПИИ

К. Фаянс, после открытия им в лаборатории Э. Резерфорда и Манчестере первого случая радиоактивной вилки, начал в Карлсруэ экспериментальные исследования электрохимических свойств радиоэлементов. Эти исследования привели к открытию закона радиоактивных смещений. 31 января 1912 года журнал „Physikalische Zeitschrift” получил статью Фаянса, содержащую полную формулировку этого закона. Статья вышла из печати в номере от 15 февраля 1913 года. Ф. Содди опубликовал закон смещений в „The Chemical News” лишь 28 февраля 1913 года, при чем его сообщение было направлено в печать после напечатания статьи Фаянса и даже со ссылкой на нее.

Благодаря закону смещений, Фаянс смог определить размещение разных радионуклидов в периодической системе. Таким образом установил он, что несколько радионуклидов может занять то же место. Совокупность всех нуклидов, занимающих одну клетку в системе, но имеющих разную атомную массу и разные радиоактивные свойства, Фаянс назвал „плеядой”. Несколько месяцев спустя Содди ввел название „изотопия”. Тогда как Фаянс подошел к открытию изотопии, исходя из закона смещений, Содди следал то же открытие, опираясь на химической неразделимости некоторых радионуклидов.

Исходя из закона смещений, Фаянс и О. Г. Гёринг открыли в 1913 году 91-й элемент, который назвали „брэвий”. Четыре года спустя О. Ган и Л. Мейтнер и, независимо от них, Содди и Й. А. Крэнстон нашли более стабильный изотоп этого элемента, который сейчас носит название „протактиний”.

Открытие изотопии свинца было еще более важным подтверждением закона радиоактивных смещений.

Исследования адсорбции и соосаждения радиоэлемента с соосадителем привели к установлению правила Фаянса-Панета-Гана.

J. Hurwic

LES RECHERCHES DE KASIMIR FAJANS SUR LA RADIOACTIVITÉ ET L'ISOTOPIE

K. Fajans, après la découverte dans le laboratoire de E. Rutherford à Manchester du premier cas connu d'embranchement dans une série radioactive, commença à Karlsruhe des études expérimentales sur les propriétés électrochimiques des radioéléments. Ces recherches conduisirent à la découverte de la loi des déplacements radioactifs. Le 31 décembre 1912, le journal „Physikalische Zeitschrift” recevait le mémoire de Fajans contenant l'énoncé complet et définitif

de cette loi. La publication parut dans le numéro du 15 février 1913. Ce n'est que le 28 février 1913 que F. Soddy publia la loi des déplacements radioactifs dans la revue „The Chemical News”, le manuscrit ayant été reçu par la rédaction après la publication de l'article de Fajans et, d'ailleurs, avec référence à cette article.

La loi des déplacements radioactifs a permis à Fajans de déterminer la position des différentes espèces radioactives dans la classification périodique. De cette façon, il constata que plusieurs radionucléides de masse atomique différente et propriétés radioactives différentes peuvent occuper la même place. A l'ensemble des nucléides dans une même case, Fajans donna l'appellation „pléiade”. Quelques mois plus tard Soddy, introduisit le nom „isotopie”. Tandis que Fajans est arrivé à la découverte de l'isotopie à partir de la loi des déplacements, Soddy fait cette même découverte en partant de l'inséparabilité chimique de certains radionucléides.

A partir de la loi des déplacements, Fajans et O. H. Göhring ont, en 1913, découvert l'élément n° 91, qu'ils ont appelé brevium. C'est seulement quatre ans après que O. Hahn et L. Meitner et, indépendamment, F. Soddy et J. A. Cranston ont trouvé l'isotope plus stable de cet élément connu aujourd'hui sous le nom de protactinium.

La découverte de l'isotopie du plomb était une confirmation encore plus importante de la loi des déplacements radioactifs.

Les recherches sur l'adsorption et la copréciatation du radioélément et de l'entraîneur conduisirent à l'établissement de la règle de Fajans — Paneth — Hahn.

