

CARL AUER VON WELSBACH: WIZJONER I RACJONALIZATOR

CARL AUER VON WELSBACH: VISIONARY AND INNOVATOR

Zygmunt Flisak

*Uniwersytet Opolski
Wydział Chemii i Farmacji
Oleska 48, 45-052 Opole
e-mail: Zygmunt.Flisak@uni.opole.pl

Abstract

Wprowadzenie

1. Odkrycia naukowe Auera von Welsbacha
 - 1.1. Neodym i prazeodym
 - 1.2. Iterb i lutet
 - 1.3. Przeszkody na drodze do lantanowców
2. Auer von Welsbach jako wynalazca i przedsiębiorca
 - 2.1. Oświetlenie gazowe
 - 2.2. Elektryczne oświetlenie żarowe
 - 2.3. Kamienie do zapalniczek
 - 2.4. Plus Lucis

Uwagi końcowe

Piśmiennictwo cytowane

Dr hab. inż. Zygmunt Flisak jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej (1997). Doktorat (2003) uzyskał na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Opolskiego, a habilitację (2019) na Wydziale Chemii tegoż uniwersytetu. Zajmuje się modelowaniem molekularnym związków metaloorganicznych oraz procesów katalitycznych – głównie koordynacyjnej polimeryzacji olefin – przy użyciu metod funkcjonału gęstości. W latach 2004 – 2006 odbył staż podoktorski w University of Calgary (Kanada) w zespole prof. Toma Zieglera (zm. 2015). Był wykładowcą Szkoły Letniej organizowanej przez prof. Jerzego Leszczyńskiego w Jackson State University w USA (2007). Współpracował również z Instytutem Chemii Chińskiej Akademii Nauk w Pekinie, gdzie w latach 2014 – 2015 zajmował stanowisko profesora wizytującego. Autor i współautor 38 artykułów naukowych.



<https://orcid.org/0000-0003-1419-1656>

ABSTRACT

This paper aims at highlighting Auer von Welsbach's findings, inventions and industrial implementations. His painstaking research on lanthanides at the end of the nineteenth century led to the discovery of neodymium and praseodymium. Another two elements, ytterbium and lutetium, could have been also attributed to him, but it was his rival Georges Urbain, who won the controversial priority dispute. Not only was Auer von Welsbach a prominent scientist, but also a successful entrepreneur and industrialist. His contrivances include the gas mantle and lighter flints, as well as enhancement of the incandescent lamp, which is now obsolete. However, his inventions still have a strong impact on the up-to-date industry. Auer von Welsbach's life and achievements are commemorated by issuances of both circulation and collector coins in Austria, together with the museum located in the town of Althofen in Carinthia.

Keywords: lanthanides, neodymium, praseodymium, gas mantle, Carl Auer von Welsbach, history of chemistry

Słowa kluczowe: lantanowce, neodym, prazeodym, siatka żarowa, Carl Auer von Welsbach, historia chemii

WPROWADZENIE

Przełom XIX i XX w. obfitował w ważne odkrycia naukowe. To wtedy po raz pierwszy Henri Antoine Becquerel zaobserwował niewidzialne promieniowanie emitowane przez występujące w naturze minerały uranu, a Wilhelm Röntgen wytworzył równie tajemniczą sztuczną radiację. Kilkanaście lat później Niels Bohr opublikował swój model budowy atomu. Wobec tak istotnych odkryć układ okresowy Dymitra Mendelejewa, zawierający w oryginalnej wersji zaledwie 63 pierwiastki, musiał ulec aktualizacji. Postać tytułowa ma znaczący udział w tych przełomowych wydarzeniach.

W 1838 r. szwedzki chemik Carl Gustaf Mosander wyizolował z materiału uznawanego dotąd za tlenek ceru(III) nową substancję – tlenek lantanu(III). Dwa lata później udało mu się z roztworu siarczynu(VI) lantanu(III) otrzymać sól kolejnego nowego pierwiastka, który nazwał dydymem (ang. didymium) [1]. Nazwa ta wywodzi się z greki i oznacza bliźniaka, ze względu na to, że jego odkrycie było ściśle powiązane z odkryciem lantanu. Tożsamość dydymu jako pierwiastka została dość szybko zakwestionowana na podstawie rozbieżności w wyznaczonych masach atomowych i różnic w widmach próbek pochodzących z różnych źródeł [2]. Jednak do wyizolowania z dydymu homogenicznych składników (neodymu i praeodymu) przez Auera von Welsbacha było jeszcze daleko.

Współczesny przemysł jest uzależniony od wielu strategicznych surowców. Wystarczy wspomnieć tzw. minerały konfliktu, których produkcja i handel mogą być związane z finansowaniem konfliktów zbrojnych i terroryzmu, a także łamaniem praw człowieka. Do grupy tej należą kasyteryt, kolumbit-tantalit, wolframit, a także rudy złotonośne. Surowce te są źródłem odpowiednio: cyny, tantalu, wolframu i złota (ang. 3TG: tin, tantalum, tungsten, gold). Inną grupą pierwiastków o znaczeniu strategicznym są metale ziem rzadkich, czyli skand, itr i wszystkie lantanowce. Podczas gdy niefortunna historyczna nazwa tej grupy pierwiastków sugeruje ich unikatowość, a być może nawet ezoteryczność, rozpowszechnienie odkrytego przez Auera von Welsbacha neodymu w skorupie ziemskiej jest porównywalne z rozpowszechnieniem kobaltu [3], a trudności w rozdzielaniu wynikają z podobieństw właściwości fizycznych i chemicznych.

Neodym ma duże znaczenie w przemyśle i nowoczesnych technologiach, gdzie jest stosowany np. do produkcji magnesów; znaleźć go można w turbinach wiatrowych, samochodach hybrydowych oraz w elektronice użytkowej [4]. Największe złoża metali ziem rzadkich znajdują się w Chinach; stąd coraz częściej pojawiają się obawy o dostępność tego pierwiastka i jego koszt w przyszłości. Obecnie istnieje kilka metod recyklingu neodymu polegających m.in. na rozkładzie wodorku tego metalu, destylacji jego stopu z magnezem, ekstrakcji membranowej, kompleksowaniu i ekstrakcji za pomocą cieczy jonowych [4]. Uzasadnione przemysłowo metody odzyskiwania neodymu jeszcze nie istnieją; na domiar złego niektóre z zastosowań wręcz zwiększają rozproszenie pierwiastka [5].

1. ODKRYCIA NAUKOWE AUERA VON WELSBACHA

1.1. NEODYM I PRAZEODYM

Auer von Welsbach, urodzony 1 września 1858 r., po służbie wojskowej rozpoczął studia na Uniwersytecie Wiedeńskim. W 1880 r. udał się do laboratorium Roberta Bunsena w Heidelbergu celem prowadzenia dalszych badań uhonorowanych po dwóch latach stopniem doktora (bez obowiązku składania dyplomacji). Po powrocie do Wiednia Auer von Welsbach rozpoczął prace nad frakcjonowaną krystalizacją podwójnych azotanów(V) lantanowców(III) i amonu o wzorze $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, gdzie Ln oznacza lantanowiec [2]. Należy zwrócić uwagę, że proces opiera się na różnicach w rozpuszczalności; stąd dobór konkretnej soli jest istotny dla uzyskania satysfakcjonujących wyników. Sam proces frakcjonowanej krystalizacji określa się jako pracochłonny i żmudny. Pasja Auera von Welsbacha i jego wytrwałość doprowadziły w 1885 r. do rozdzielenia soli dydymu na dwie frakcje: będącą w nadmiarze różową oraz mniej obfitą – zieloną. Pierwiastek wchodzący w skład pierwszej substancji nazwał neodymem, a drugiej – prazeodymem [6]. Stosunek ilości otrzymanych dwóch materiałów odpowiadał jakościowo rozpowszechnieniu Nd i Pr w skorupie ziemskiej.

1.2. ITERB I LUTET

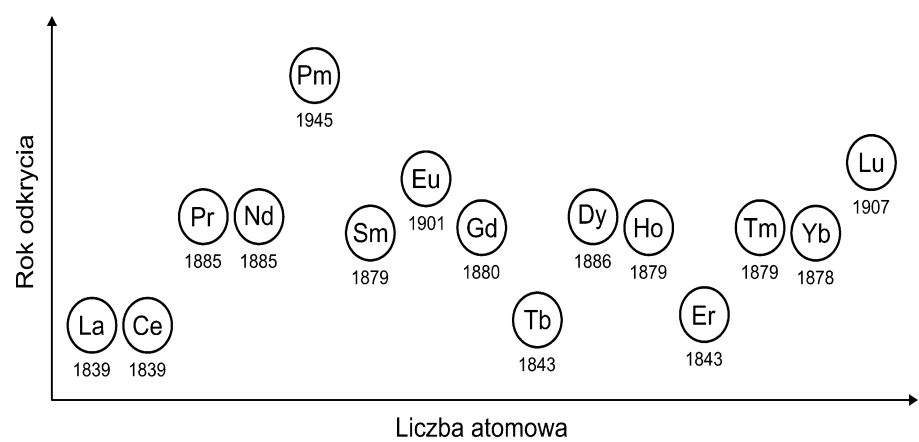
W późniejszym czasie Auer von Welsbach doskonalił technikę frakcjonowanej krystalizacji i eksperymentował z różnymi anionami wchodzącymi w skład soli możliwych do wykorzystania w tym procesie. Jego uwagę przykuły pojawiające się w dyskursie akademickim wątpliwości co do homogeniczności ówczesnego itru. Wkrótce udało mu się rozdzielić związki itru na dwa nieznane dotąd składniki, ale początkowo nie był zadowolony z dokładności swoich pomiarów masy atomowej metali wchodzących w skład tych frakcji, a także z wyników badań spektroskopowych. Dlatego od roku 1905 publikował tylko wstępne raporty na temat tego osiągnięcia. Pełna praca dokumentująca odkrycie została przedstawiona dopiero pod koniec 1907 r., a opublikowana kilka miesięcy później [7]. Wówczas Auer von Welsbach zaproponował, nawiązujące do gwiazd i ich konstelacji, nazwy dwóch nowych pierwiastków: aldebaranium i cassiopeium. Wyniki jego badań zakwestionował francuski chemik Georges Urbain, który przed Auerem von Welsbachem, już w 1905 r., opublikował pracę dotyczącą rozdzielenia itru na dwa nowe pierwiastki, które nazwał neo-iterbem i lutetem [2]. Mimo że dane liczbowe zgłaszane przez Urbaina były niekompletne i obarczone błędami, wywiązał się wieloletni spór o pierwszeństwo ostatecznie zakończony zwycięstwem francuskiego badacza.

1.3. PRZESZKODY NA DRODZE DO LANTANOWCÓW

Na kanwie podobieństwa właściwości chemicznych lantanowców budowano teorie, które potencjalnie mogły kierować badania na niewłaściwą drogę, tym samym opóźniając dalsze odkrycia. Oto uznany brytyjski fizyk William Crookes, odkrywca talu i konstruktor wyładowczych lamp próżniowych, ukuł pojęcie meta-pierwiastków [8]. Według niego dotychczas znane pierwiastki były grupami meta-pierwiastków, które z kolei charakteryzowały się bardzo podobnymi właściwościami

i znikomymi różnicami w wartościach masy atomowej (czyli kryterium, które wówczas definiowało tożsamość pierwiastka). Oczywiście ta błędna teoria miała swoich zwolenników. Dziewiętnastowieczny naukowiec podpisujący się jedynie inicjałami po wysłuchaniu wykładu Crookesa poszedł o krok dalej i na łamach czasopisma Nature zasugerował, że być może mamy do czynienia z wielką, wręcz nieskończoną liczbą pierwiastków, podobnie jak jest w przypadku liczby izomerycznych węglowodorów [9]. Teorię meta-pierwiastków ostatecznie obalił Georges Urbain [10].

Ambicje poszczególnych naukowców i ich udział w chaotycznym wyścigu o pierwszeństwo w połączeniu z podobieństwem właściwości fizycznych i chemicznych lantanowców oraz ograniczeniami ówczesnych metod laboratoryjnych doprowadziły do tego, że odkrywanie kolejnych pierwiastków z tej grupy zajęło ponad 100 lat, licząc od daty odkrycia lantanu i ceru aż do sztucznie otrzymanego prometu (Rys. 1). Nawet gdy pominiemy ostatni z wymienionych pierwiastków, to wtedy poszukiwania i tak trwały 68 lat. Trudności w rozdzielaniu zazwyczaj rosną wraz ze wzrostem liczby atomowej pierwiastka (i jego malejącym rozpowszechnieniem); stąd lutet jest przedostatnim poznanym lantanowcem.



Rysunek 1. Chronologia odkryć lantanowców; dane zaczerpnięte z pracy [11].
Figure 1. Timeline of lanthanide discovery; data taken from Ref. [11].

Wspomniane przeszkody są odzwierciedlone w mnogości proponowanych nazw lantanowców, powodującej dodatkowe zamieszanie. Nazwy popierane przez różnych naukowców, lecz niezaakceptowane przez społeczność chemików, dziś brzmią egzotycznie i stanowią ciekawostkę (Tab. 1). Z tego też powodu w literaturze pojawiają się rozbieżności co do dat odkryć poszczególnych pierwiastków lub nawet brak danych. Przykładowo, rok odkrycia prometu na Rys. 1 został pobrany z pracy [12].

Tabela 1. Historyczne nazwy lantanowców w języku angielskim na podstawie pracy [8]
Table 1. Historical English names of lanthanides taken from Ref. [8]

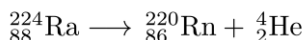
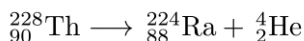
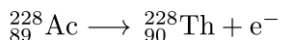
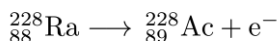
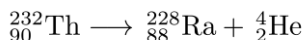
Symbol pierwiastka	Nazwy
Ce	ochroite
Pr + Nd	didymium
Pm	florentium, illinium, cyclonium
Yb	neoytterbium, aldebaranium
Lu	cassiopeium, celtium, lutecium

2. AUER von WELSBACH JAKO WYNAŁAZCA I PRZEDSIĘBIORCA

2.1. OŚWIETLENIE GAZOWE

Auer von Welsbach był nie tylko naukowcem, lecz także wynalazcą, innowatorem i przedsiębiorcą. Jeszcze w czasie pobytu w Heidelbergu u Bunsena Auer von Welsbach zauważył, że tlenki wielu lantanowców umieszczone w płomieniu palnika emitują intensywne, barwne światło. Jego spostrzeżenie mogło być inspiracją do opracowania tzw. siatki (lub koszulki) Auera [2, 11] zwanej również siatką (lub koszulką) żarową. Służyła ona do zwiększenia efektywności powszechnego wówczas w miastach oświetlenia gazowego. Początkowo zawierała mieszaninę tlenku cyrkonu(IV) i tlenku lantanu(III), ale nie do końca spełniała oczekiwania konsumentów, co ostatecznie doprowadziło do czasowego zamknięcia przedsiębiorstwa Auera von Welsbacha w Atzgersdorf [13]. Ulepszona siatka, emitująca światło o neutralnym odcieniu, składała się z fragmentu tkaniny nasączonej roztworem azotanu(V) toru(IV) z niewielkim dodatkiem soli ceru(III). Po umieszczeniu takiej siatki w płomieniu palnika substancje organiczne wchodzące w skład tkaniny ulegały spaleni, a zawarte w niej azotany(V) metali rozkładały się do odpowiednich tlenków (ThO_2 i CeO_2) tworzących kruchy szkielek emitujący silne światło w płomieniu lampy gazowej.

Od pewnego czasu pojawiają się obawy związane z promieniowaniem jonizującym wynikającym z zawartości związków toru w siatce. Wprawdzie emitowane przez nią promieniowanie zasadniczo nie jest szkodliwe przy zachowaniu odpowiedniej odległości, lecz dostanie się pyłu radioaktywnego pochodzącego ze skruszonego szkieleku tlenku toru(IV) do wnętrza organizmu stanowi zagrożenie dla zdrowia. Ponadto niepokój mogą budzić nuklidy potomne tworzące się w wyniku rozpadu toru, w tym rad i toron, czyli radon-220 (którego ilość jest jednak pomijalnie mała ze względu na krótki okres półtrwania). Powstają one zgodnie z poniższymi równaniami reakcji [14]:



Produkty zawierające substancje promieniotwórcze podlegają ścisłym regulacjom prawnym. W niektórych krajach stosowanie siatek Auera jest niedozwolone; w innych kontrolowana jest ich sprzedaż i utylizacja [15]. Siatki zawierające tor są nadal używane w celach turystycznych (i służą do oświetlenia gazowego na biwakach), a ponadto instaluje się je w lampach służących do oświetlenia stoisk na ulicznych targach nocnych w Malezji [16]. Z uwagi na opisane powyżej potencjalne zagrożenia opracowano siatki o zmodyfikowanym składzie bazujące na związkach itru i cyrkonu, które współcześnie wykorzystywane są w celach turystycznych. W literaturze przedmiotu istnieją dane wskazujące na porównywalną efektywność świetlną siatek zawierających itr zamiast toru [17]. Z drugiej strony wykazano, że deklaracje producentów umieszczane na opakowaniach mogą odbiegać od faktycznego składu i zawartości radionuklidów.

Stwierdzono np., że pewien rodzaj siatek posiadających na opakowaniu przekreślony symbol koniczyny (i dodatkowo przymiotnik „nieradioaktywny” zapisany w kilku językach), zawierała do 259 mg toru w jednej sztuce [15].

2.2. ELEKTRYCZNE OŚWIETLENIE ŻAROWE

Należy w tym miejscu wspomnieć, że Auer von Welsbach miał również istotny wkład w rozwój konkurencyjnej technologii, która – jak się okazało – wkrótce wyeliminowała oświetlenie gazowe. Oto amerykański wynalazca Thomas Alva Edison zaprezentował nową lampę, w której źródłem światła był drucik platynowy rozżarzony wskutek przepływu prądu elektrycznego. Wadą tego rozwiązania było to, że drucik łatwo ulegał stopieniu; zatem aktywnie poszukiwano innych materiałów. Auer von Welsbach zaproponował, aby żarnik wykonać z osmu; myślał bowiem, że jest to metal o najwyższej temperaturze topnienia [13]. Choć w swoich poszukiwaniach przeoczył obiecujący i wykorzystywany szeroko w następnych dekadach wolfram, to i tak jego wynalazek przyniósł znaczne dochody [18]. Historia zmagania odzwierciedlona jest w nazwie niemieckiej firmy do dzisiaj produkującej artykuły oświetleniowe. Niefortunna z punktu widzenia języka polskiego zbitka wyrazowa OSRAM wywodzi się od niemieckich nazw pierwiastków: *osmium* i *wolfram*.

2.3. KAMIEŃ DO ZAPALNICZEK

Jako utalentowany wynalazca, Auer von Welsbach poszukiwał zastosowań dla wielu lantanowców, z których cer jest najbardziej rozpowszechnionym w przyrodzie. W trakcie swych eksperymentów zauważył, że stop ceru z żelazem ma właściwości piroforyczne [2] i był w stanie skomercjalizować swoje odkrycie. Opracowany przez niego produkt – kamień do zapalniczek – jest wykorzystywany do dziś.

2.4. PLUS LUCIS

Wymienione powyżej wynalazki związane z oświetleniem zmieniły sposób funkcjonowania ludzi na całym świecie. O ich znaczeniu świadczy fakt, że przed wynalezieniem siatki Auera jedynymi dostępnymi źródłami sztucznego światła były świece i lampy parafinowe [19]. Dlatego motto życiowe Auera von Welsbacha (Plus Lucis – więcej światła) [2, 13, 19] adekwatnie odzwierciedla jego wysiłki i osiągnięcia.

UWAGI KOŃCOWE

O postaci Auera von Welsbacha autor niniejszego artykułu dowiedział się po raz pierwszy jako uczeń szkoły podstawowej. Źródłem informacji była książka Stefana Sękowskiego, znanego polskiego popularyzatora chemii, na łamach której instruował on młodego adepta chemii, w jaki sposób pozyskać preparat promieniotwórczy do eksperymentów [20]. Pozornie trudna misja polegała na zdobyciu nowej lub używanej siatki Auera; ostatecznie udało się ją z powodzeniem zrealizować. Prawdopodobnie te wydarzenia stały się pierwszym przyczynkiem do dalszego zgłębiania tematu (i zapewne genezę niniejszego artykułu).

Warto wiedzieć, że frakcjonowana krystalizacja (technika obecnie już przestarzała) była na przełomie XIX i XX w. kluczową metodą rozdzielania substancji. Maria Skłodowska-Curie, polska laureatka Nagrody Nobla, wykorzystywała ją do wyodrębnienia po raz pierwszy związków radu z minerału uranu – blendy smolistej. Wkrótce potem Auer von Welsbach wyprodukował znaczną ilość pierwszego z tych pierwiastków, a Instytut Radowy Austriackiej Akademii Nauk w Wiedniu stał się drugim do do ważności – po Instytucie Radowym w Paryżu – światowym ośrodkiem specjalizującym się w tej tematyce [13]. Choć Auer von Welsbach, a także jego konkurent Georges Urbain, byli wielokrotnie nominowani do Nagrody Nobla, to nigdy jej nie otrzymali [7].

Postać Auera von Welsbacha została upamiętniona na znaczkach pocztowych, banknotach i monetach. W setną rocznicę jego urodzin wprowadzono do obiegu monetę srebrną o nominale 25 szylingów austriackich z popiersiem uczonego na rewersie (Rys. 2). Z kolei pięćdziesiąt lat później wyemitowano wykonaną ze srebra i niobu monetę kolekcjonerską o nominale 25 euro, na której awersie widoczna jest lampa gazowa, a na rewersie podobizna Auera von Welsbacha i ewolucja źródeł światła (Rys. 3).



Rysunek 2. Rewers monety 25 szylingów (ze zbiorów autora).
Figure 2. Reverse of the 25 schilling coin (from the author's collection).



Rysunek 3. Rewers monety 25 euro (ze zbiorów autora).
Figure 3. Reverse of the 25 euro coin (from the author's collection).

Czytelnik pragnący poszerzyć swoją wiedzę może odwiedzić muzeum Auera von Welsbacha, które znajduje się w miejscowości Althofen położonej w Karyntii, kraju związkowym Austrii. Muzeum prezentuje oryginalny sprzęt z jego laboratorium, a także wynalazki, w tym imponującą kolekcję zapalniczek [21, 22]. Niezwykle intrygujące są kolorowe zdjęcia wykonane własnoręcznie przez Auera von Welsbacha w pierwszej dekadzie XX w., które jakością dorównują współczesnym fotografiom.

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE

1. L. Tansjö, Episodes from the History of the Rare Earth Elements, Carl Gustaf Mosander and his research on rare earths, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.
2. R. Adunka, M. V. Orna, Carl Auer von Welsbach: Chemist, Inventor, Entrepreneur, Springer, Cham, 2018.
3. W. J. Evans, Inorg. Chem., 2007, **46**, 3435.
4. S. Cotton, Lanthanide and Actinide Chemistry, Wiley, Hoboken NJ, 2024.
5. B. F. Thornton, S. C. Burdette, Nat. Chem., 2017, **9**, 194.
6. C. Auer von Welsbach, Monats. Chem., 1885, **6**, 477.
7. C. Auer von Welsbach, Monats. Chem., 1908, **29**, 181.
8. M. Fontani, M. Costa, V. Orna, The Lost Elements. The Periodic Table's Shadow Side, Oxford University Press, Nowy Jork, 2015.
9. H.E.A., Nature, 1888, **37**, 540.
10. G. Urbain, Compt. Rend. Chim., 1907, **145**, 1335.
11. W. H. Brock, Historia Chemii, Prószyński i S-ka, Warszawa, 1999.
12. J. A. Marinsky, L. E. Glendenin, C. D. Coryell, J. Am. Chem. Soc. 1947, **69**, 2781.
13. V. Gutmann, J. Chem. Educ., 1970, **47**, 209.
14. J. W. Luetzelschwab, S. W. Googins, Health Phys., 1984, **46**, 873.
15. K. Poljanc, G. Steinhauser, J. H. Sterba, K. Buchtela, M. Bichler, Sci. Total Environ., 2007, **374**, 36.
16. H. J. Hassan, S. Hashim, M. S. M. Sanusi, D. A. Bradley, A. Alsubaie, R. G. Tenorio, N. F. Bakri, R. M. Tahar, Appl. Sci., 2021, **11**, 1311.
17. E. Furuta, Y. Yoshizawa, T. Aburai, J. Radiol. Prot., 2020, **20**, 423.
18. S. Katzir, Hist. Technol., 2017, **33**, 109.
19. E. Baumgartner, Episodes from the History of the Rare Earth Elements, Carl Auer von Welsbach: a Pioneer in the Industrial Application of Rare Earths, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.
20. S. Sękowski, Ciekawe doświadczenia cz. II, WSiP, Warszawa, 1985.
21. R. Adunka, Science History: A Traveller's Guide, The Auer von Welsbach Museum, American Chemical Society, Washington, 2014.
22. Auer von Welsbach Museum. [online], [dostęp 2026-08-20]. Dostępny w Internecie: <https://www.auer-von-welsbach-museum.at/en/en-infopoint-mobil>

Praca wpłynęła do Redakcji 30 sierpnia 2026 r.