

**Recenzja w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych
Pani dr Anecie Gójskiej**

Pani dr Aneta Gójska ukończyła w 2000 roku studia magisterskie w zakresie fizyki w Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach, a stopień doktora nauk fizycznych uzyskała w 2011 roku w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Otwocku na podstawie rozprawy poświęconej fizyce zderzeń atomowych. Od 2001 roku jest pracownikiem Instytutu Problemów Jądrowych, następnie, Narodowego Centrum Badań Jądrowych, gdzie zatrudniona jest obecnie na stanowisku adiunkta pełniąc funkcję kierownika Pracowni Rozwoju i Zastosowań Metod Fizyko-Chemicznych w Archeometrii. W latach 2011-2014 odbyła trzy i pół miesięczny (łącznie) staż naukowy w ramach Europejskiego Programu Badań Fuzyjnych EUROATOM w laboratorium Joint European Torus (JET) w Culham w Anglii, a na przełomie lat 2022/2023 odbyła trzymiesięczny staż naukowy w Katedrze Fizyki w Uniwersytecie Technologiczno-Przyrodniczym w Radomiu. W swojej karierze badawczej zajmowała się fizyką zderzeń atomowych, diagnostyką plazmy, spektroskopią rentgenowską i scyntylicyjną spektroskopią promieniowania γ . Z czasem Habilitantka wykształciła swój indywidualny profil badawczy koncentrując się na wykorzystaniu zjawiska fluorescencji rentgenowskiej w badaniach interdyscyplinarnych z zakresu archeometrii, gdzie rentgenowska analiza fluorescencyjna (XRF) okazała się znakomitą metodą badawczą umożliwiającą śledzenie pochodzenia, metod wytwarzania (technologii), kontaktów handlowych, szlaków migracji oraz związków kulturowych w starożytności poprzez szczegółowe badania składu chemicznego i struktury obiektów archeologicznych.

Tej tematyce poświęcone jest przedłożone mi do oceny osiągnięcie naukowe dr Anety Gójskiej p.t. „*Fluorescencyjna spektroskopia rentgenowska w badaniach obiektów stopowych Ag-Cu oraz jej zastosowanie w archeometrii*” będące, wraz z innymi załączonymi informacjami o Jej karierze naukowej, podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych. Omawiane osiągnięcie naukowe stanowi cykl powiązanych tematycznie publikacji dotyczących różnych aspektów wykorzystania fluorescencji rentgenowskiej w badaniach obiektów archeologicznych wytwarzanych ze stopów Ag-Cu. Są to następujące prace oznaczone jako A1-A9:

A1. **A. Gójska**, K. Kozioł, E. Mišta-Jakubowska, R. Diduszko, Determination of the $K\beta/K\alpha$ intensity ratios of silver in Ag-Cu alloys. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 468 (2020) 65-70, DOI: 10.1016/j.nimb.2020.02.027, IF: 1.21, pkt. 70

A2. **A. Gójska**, A. Wasilewski, K. Kozioł, E. Mišta-Jakubowska, P. Mazerewicz, J. Szymanowski, FLUKA simulations of $K\beta/K\alpha$ intensity ratios of copper in Ag-Cu alloys. *Materials* 14 (2021) 4462, DOI: 10.3390/ma14164462, IF: 3.623, pkt. 140

A3. **A. Gójska**, E. Miśta-Jakubowska, Analysis of the elemental composition of the artefacts from the Kosewo archaeological site. *Acta Physica Polonica A* Vol. 130 No 6 (2016) 1415-1419 DOI: 10.12693/APhysPolA.130.1415, *IF*:0.569 pkt. 20

A4. **A. Gójska**, E. Miśta-Jakubowska, Calibration and detection limits of homemade ED-XRF system in the analysis of silver-copper alloys. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 433 (2018) 28-33 DOI: 10.1016/j.nimb.2018.07.026, *IF*:1.323, pkt. 70

A5. **A. Gójska**, E. Miśta-Jakubowska, D. Banaś, A. Kubala-Kukuś, I. Stabrawa Archaeological applications of spectroscopic measurements. Compatibility of analytical methods in comparative measurements of historical Polish coins. *Measurement* 135 (2019) 869–874 DOI: 10.1016/j.measurement.2018.11.089, *IF*: 3.927, pkt. 200

A6. E. Miśta-Jakubowska, R. Czech Błońska, W. Duczko, **A. Gójska**, P. Kalbarczyk, G. Żabiński, K. Trela, Archaeometric studies on early medieval silver jewellery from Central and Eastern Europe. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11 No 12 (2019) 6705-6723 DOI: 10.1007/s12520-019-00935-z, *IF*: 2.414, pkt. 100 3

A7. E. Miśta-Jakubowska, R. Diduszko, **A. Gójska**, P. Kalbarczyk, J.J. Milczarek, K. Trela, G. Żabiński, I. Fijał-Kirejczyk, A silvered shield grip from the Roman Period: a technological study of its silver coating. *Archaeological and Anthropological Sciences* Vol. 11 No 7 (2019) 3343, DOI: 10.1007/s12520-018-0761-0, *IF*: 2.414, pkt. 100

A8. E. Miśta-Jakubowska, R. Diduszko, **A. Gójska**, B. Kontny, A. Łozinko, D. Oleszak, G. Żabiński, 2017, Material description of the unique relief fibula from Poland. *Archaeological and Anthropological Sciences* Vol. 11 No 1 (2019) 973-983 DOI: 10.1007/s12520-017-0576-4, *IF*: 2.414, pkt. 100

A9. E. Miśta-Jakubowska, R. Czech Błońska, W. Duczko, **A. Gójska**, G. Żabiński, P. Ciepielewski, R. Diduszko, A. Kosińska, A. Brojanowska, Research on chemical soldering in early medieval jewellery: the case of lunula-type Viking Age ornaments *Archaeometry* 64 (2022) 698-713 DOI: 10.1111/arc.12730, *IF*: 1.519, pkt. 200

Główna idea przedłożonego we wniosku cyklu prac jest pokazanie, że stosunek intensywności linii $K\beta/K\alpha$ charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego jest subtelnym narzędziem badawczym umożliwiającym określanie proveniencji metalowych znalezisk archeologicznych wytworzonych na bazie stopu srebra i miedzi, ze szczególnym uwzględnieniem struktury warstwy powierzchniowej. Prace A1 i A2 omawianego cyklu mają charakter metodyczny i dyskutują wpływ otoczenia chemicznego na wartości stosunku $K\beta/K\alpha$ w stopach Ag-Cu na gruncie strukturalnych obliczeń atomowych przeprowadzonych wielo-konfiguracyjną metodą Diraca-Hartree-Focka (MCDHF) [A1] oraz omawiają wpływ zachodzących procesów fizycznych i warunków eksperymentalnych na wartości $K\beta/K\alpha$ w tych stopach wykorzystując metodę symulacyjną zaimplementowaną w programie FLUKA [A2]. Metodycznym aspektem eksperymentalnym poświęcona jest również praca omawiająca generator promieniowania rentgenowskiego zbudowany w NCBJ [A4], który był wykorzystywany w badaniach prowadzonych przez Habilitantkę. W szczególności, praca ta dyskutuje zagadnienia kalibracji układu do przeprowadzania analizy ilościowej badanych próbek oraz osiągnięte granice wykrywalności pierwiastków. Istotnym aspektem przedstawionych prac było zagadnienie badania warstw powierzchniowych obiektów

archeologicznych metodą fluorescencji rentgenowskiej co ma duże znaczenie praktyczne w archeometrii [praca B1 zamieszczona w arXiv].

Dominującą częścią przedłożonego mi do oceny osiągnięcia naukowego dr Anety Gójskiej są prace poświęcone wykorzystaniu fluorescencji rentgenowskiej w badaniach wybranych obiektów archeologicznych [prace A3, A4-A9]. Szerokie spektrum badanych obiektów jak również różnorodność aspektów badawczych jednoznacznie wskazują na znaczącą rolę fluorescencji rentgenowskiej jako istotnej metody badawczej wykorzystywanej w archeometrii. Wymienić tu należy przede wszystkim metalowe ozdoby, biżuterię i monety, jako znaleziska archeologiczne, które były badane pod względem składu chemicznego, struktury powierzchni (metody srebrzenia, potencjalne fałszerstwa) czy też techniki lutowania. Pod względem eksperymentalnym, faktem godnym odnotowania jest stosowanie w opisywanych badaniach różnorodnych technik eksperymentalnych. I tak w zakresie fluorescencyjnej spektroskopii rentgenowskiej Habilitantka wykorzystywała techniki XRF z dyspersją energii (ED-XRF) i dyspersją długości fali (WD-XRF) (tzn. spektroskopię dyfrakcyjną), fluorescencję rentgenowską wzbudzaną protonami (PIXE) oraz techniki mikroskopowe jakie jak skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM-EDX) i mikrowiązkowe techniki μ -XRF i μ -PIXE czy też techniki dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego (XRD). Badania te prowadzone były we współpracy z kilkoma ośrodkami naukowymi takimi jak Uniwersytet Jana Kochanowskiego (UJK) w Kielcach (WD-XRF, XRD), Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH) w Krakowie (μ -XRF) oraz Instytut Josefa Stefana (ISI) w Ljublanie w Słowenii (PIXE, μ -PIXE).

Prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego dr Anety Gójskiej opublikowane były w renomowanych międzynarodowych czasopismach naukowych takich jak *Nuclear Instruments and Methods B* (2), *Materials* (1), *Measurement* (1), *Acta Physica Polonica A* (1), *Archeological and Antropological Sciences* (3), *Archeometry* (1). Łączny dorobek publikacyjny Habilitantki jest znaczący: obejmuje 193 publikacje cytowane 2397 razy (2267 bez autocytowań) co skutkuje wysokim indeksem Hirscha $h=32$. Należy jednak odnotować że dominującą część przedstawionego całkowitego dorobku publikacyjnego stanowią prace wieloautorski związane z udziałem Habilitantki w dużej współpracy międzynarodowej JET działającej w zakresie fizyki plazmy. Z drugiej strony należy odnotować, że doświadczenia badawcze Habilitantki zdobyte poza ocenianym habilitacyjnym osiągnięciem naukowym są cenne z punktu widzenia rozwoju Jej przyszłej kariery badawczej jako samodzielnego badacza. Wymienić tu należy prace z zakresu zderzeń atomowych, diagnostyki plazmy, scyntylicyjnej spektroskopii γ , spektroskopii mas czy też detekcji neutronów. Habilitantka uczestniczyła również jako wykonawca w realizacji kilku projektów badawczych finansowanych przez NCN (OPUS, HARMONIA, 2017), EUROfusion (2014/5) JET oraz MKiDN (2019), co pozwoliło Jej zdobyć dodatkowe doświadczenia badawcze jak również organizacyjne.

W zakresie osiągnięć dydaktycznych, popularyzacyjnych i organizacyjnych dr Aneta Gójska pełniła funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim przeprowadzonym w NCBJ (2021) oraz opiekunki praktyki studenckiej (2019), brała aktywny udział w organizacji Dni Otwartych NCBJ (2015) i pełniła rolę edytora wydania specjalnego czasopisma *Materials*. Była delegatem Association of the Sports Communities of the European Research Institute (ASCERI) na konferencji w Antwerpii w 2018 roku. Obecnie pełni funkcję kierownika Pracowni Rozwoju i Zastosowań Metod Fizyko-Chemicznych w Archeometrii w Departamencie Aparatury i Techniki Jądrowych NCBJ.

Podsumowując opinię dotyczącą oceny osiągnięcia naukowego dr Anety Gójskiej do uzyskania stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych, jak również Jej dotychczasowego

dorobku naukowego należy stwierdzić że Habilitantka osiągnęła znaczące wyniki naukowe w zakresie wykorzystania fluorescencyjnej spektroskopii rentgenowskiej w badaniu obiektów archeologicznych, w szczególności wytwarzanych na bazie stopów Ag-Cu. Jest to specyficzna interdyscyplinarna tematyka badawcza, rozwinięta istotnie poprzez indywidualny wkład Habilitantki, umożliwiającą uzyskanie znacznego postępu w rozwiązywaniu wielu problemów z zakresu archeologii metodami eksperymentalnymi fizyki. W szczególności Habilitantka pokazała że badanie stosunku intensywności rentgenowskich linii fluorescencyjnych $K\beta/K\alpha$ w stopach Ag-Cu, będących typowym materiałem stosowanym do wytwarzania ozdób i monet starożytnych, jest subtelnym narzędziem badawczym które może być wykorzystane w archeometrii do badania proveniencji obiektów archeologicznych. Dodatkowym ważnym aspektem dotychczasowej działalności badawczej dr Anety Gójskiej jest zdobycie znacznego doświadczenia w posługiwaniu się wieloma technikami eksperymentalnymi, co jest typowe dla badań interdyscyplinarnych i ma duże znaczenie dla Jej przyszłej kariery jako samodzielnego badacza.

W świetle obowiązujących uregulowań prawnych dotyczących nadawania stopnia naukowego doktora habilitowanego (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) przedstawione powyżej argumenty pozwalają mi w konkluzji wyrazić jednoznacznie pozytywną opinię w sprawie przedłożonego wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych Pani dr Anecie Gójskiej i dopuszczenie Jej do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

