

Warszawa, 12.06.2025 r.

Prof. dr hab. inż. Henryk Fiedorowicz
Instytut Optoelektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna
Warszawa

**Recenzja w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
dr Katarzynie Batani**

Podstawowe dane o kandydatce

Pani dr Katarzyna Batani (Jakubowska) ukończyła studia wyższe na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Opolskiego w roku 2000 na kierunku fizyka. Tytuł pracy magisterskiej: „*Uzupełnienie i usystematyzowane poziomów energetycznych żelaza*”.

Stopień doktora nauk fizycznych otrzymała w 2012 roku w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Otwocku-Świerku, na podstawie rozprawy doktorskiej pod tytułem: „*Metody emisyjnej spektroskopii optycznej w zastosowaniu do badań gorącej plazmy w układach typu Tokamak i Plasma-Focus*”. Promotorem przewodu doktorskiego był prof. dr hab. Marek Sadowski.

W trakcie studiów i po ich ukończeniu studiów była zatrudniona w latach 1998-2009 na Uniwersytecie Opolskim, jako pracownik techniczny. Następnie, w latach 2001-2005 pracowała naukowo w ośrodku badawczym FOM-Institute for Plasma Physics Rijnhuizen w Nieuwegein, Holandia. Pracę naukową kontynuowała w zespole Atomic and Molecular Physics w Royal Institute of Technology w Sztokholmie, Szwecja, gdzie pracowała w okresie 2006-2007. Od roku 2009 jest zatrudniona w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie, początkowo na stanowisku asystenta, a od roku 2012, na stanowisku adiunkta, gdzie pracuje do dnia dzisiejszego. Dwukrotnie odbyła w latach 2014-2015 oraz 2017-2018 ponad roczne staże podoktorskie w znanym ośrodku laserowym Centre Lasers Intenses et Applications (CELIA) na Uniwersytecie w Bordeaux.

Ocena osiągnięcia naukowego, stanowiącego podstawę ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Zgodnie z wymogami określonymi w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r. poz. 1571) kandydatka przedstawiła osiągnięcie naukowe zatytułowane: „*Badania materii w ekstremalnych warunkach indukowanych przez lasery*”. Osiągnięcie zostało przedstawione w postaci cyklu artykułów naukowych, na które składają się następujące pozycje:

1. **K. Batani**, S. Malko, M. Toutati, J-L Feugeas, A. D. Lad, K. Jana, G. Ravindra Kumar, D. Raffestin, O. Turianska, D. Kaghani, A. Tentori, D. Mancelli, A. S. Martynenko, S. Pikuz, R. Benocci, L. Volpe, G. Zeraouli, J. A. Perez Hernandez, E. Garcia-Garcia, V. Narayanan, J. Santos, D. Batani, *Characterization of blast waves induced by femtosecond laser irradiation in solid targets*, High Power Laser Science and Engineering 12, e59 (2024); DOI: <https://doi.org/10.1017/hpl.2024.36>

2. H. Zhang, Y. Yang, W. Yang, Z. Guan, X. Duan, M. Yang, Y. Liu, J. Shen, **K. Batani**, D. Singappuli, K. Lan, Y. Li, W. Huo, H. Liu, Y. Li, D. Yang, S. Li, Z. Wang, J. Yang, Z. Zhao, W. Zhang, L. Sun, W. Kang, and D. Batani, “*Equation of state for boron nitride along the principal Hugoniot to 16 Mbar*”, Matter and Radiation at Extremes 9, 057403 (2024); DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0206889>
3. **K. Batani**, D. Batani, X. T. He, K. Shigemori, *Recent progress in matter in extreme states created by laser*, Matter and Radiation in Extremes 7, 013001 (2022); DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0078895>
4. D. Mancelli, I. Errea, A. Tentori, O. Turianska, H. Larreur, K. Katagiri, N. Ozaki, N. Kamimura, D. Kamibayashi, K. Ishida, H. Ogura, K. Kawasaki, Y. Maeda, Y. Hironaka, K. Shigemori, **K. Batani**, G. Schaumann, O. Rosmej, P. Neumayer, B. Zielbauer, A.S. Martynenko, E.D. Filippov, S. Pikuz, and D. Batani, *Shock Hugoniot data for Water up to 5 Mbar obtained with quartz standard at high-energy laser facilities*, Laser and Particle Beams, 4141522 (2021); DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/4141522>
5. **K. Batani**, A. Aliverdiev, R. Benocci, R. Dezulian, A. Amirova, E. Krousky, M. Pfeifer, J. Skala, R. Dudzak, W. Nazarov, and D. Batani, *Shock dynamics and shock collision in foam layered targets*, High Power Laser Science and Engineering 9, e47 (2021); DOI: <https://doi.org/10.1017/hpl.2021.33>
6. **K. Jakubowska**, D. Mancelli, R. Benocci, J. Trela, I. Errea, A. S. Martynenko, P. Neumayer, O. Rosmej, B. Borm, A. Molineri, C. Verona, D. Cannat, A. Aliverdiev, H. E. Roman, and D. Batani, *Reflecting laser-driven shocks in diamond in the megabar pressure range*, High Power Laser Science and Engineering 9, e3 (2021); DOI: <https://doi.org/10.1017/hpl.2020.38>
7. **K. Jakubowska**, D. Batani, J. Clerouin and B. Siberchicot, *Theoretical and experimental refraction index of shock compressed and pre-compressed in the megabar pressure range*, Europhysics Letters 126, 56001 (2019); DOI: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/126/56001>
8. D. Batani, J. Santos, P. Forestier-Colleoni, D. Mancelli, M. Ehret, J. Trela, A. Morace, **K. Jakubowska**, L. Antonelli, D. del Sorbo, M. Manclossi, M. Veltcheva, *Optical Time-Resolved Diagnostics of Laser-Produced Plasmas*, Journal of Fusion Energy 38, 3-4, 299 (2019); DOI: <https://doi.org/10.1007/s10894-019-00218-4>
9. D. Batani, L. Antonelli, F. Barbato, G. Boutoux, A. Colaitis, J.-L. Feugeas, G. Folpini, D. Mancelli, Ph. Nicolai, J. Santos, J. Trela, V. Tikhonchuk, J. Badziak, T. Chodukowski, **K. Jakubowska**, Z. Kalinowska, T. Pisarczyk, M. Rosinski, M. Sawicka, F. Baffigi, G. Cristoforetti, F. D’Amato, P. Koester, L.A. Gizzi, S. Viciani, S. Atzeni, A. Schiavi, M. Skoric, S. Gus’kov, J. Honrubia, J. Limpouch, O. Klimo, J. Skala, Y.J. Gu, E. Krousky, O. Renner, M. Smid, S. Weber, R. Dudzak, M. Krus and J. Ullschmied, *Progress in understanding the role of hot electrons for the shock ignition approach to inertial confinement fusion*”, Nuclear Fusion 59, 032012 (2019); DOI: <https://doi.org/10.1088/1741-4326/aaf0ed>
10. **K. Jakubowska**, D. Batani, J.-F. Feugeas, P. Forestier-Colleoni, S. Hulin, Ph. Nicolai, J.J. Santos, A. Flacco, B. Vauzour, V. Malka, *Generation of high-pressures by short-pulse low-energy laser irradiation*”, Europhysics Letters 119, 35001 (2017); DOI: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/119/35001>
11. D. Batani, A. Morace, Y. Maheut, **K. Jakubowska**, L. Volpe, *Diagnostics of laser – produced plasmas*”, Nukleonika 61(4), 393 (2016); DOI: <https://doi.org/10.1515/nuka-2016-0065>

12. D. Batani, **K. Jakubowska**, A. Benuzzi-Mounaix, C. Cavazzoni, C. Danson, T. Hall, M. Kimpel, D. Neely, J. Pasley, M. Rabec Le Gloahec, and B. Telaro, *Refraction Index of Shock Compressed Water in the Megabar Pressure Range*, *Europhysics News* 47(1), 13 (2016); DOI: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/112/36001>
13. D. Batani, **K. Jakubowska**, A. Benuzzi-Mounaix, C. Cavazzoni, C. Danson, T. Hall, M. Kimpel, D. Neely, J. Pasley, M. Rabec Le Gloahec, and B. Telaro, *Refraction Index of Shock Compressed Water in the Megabar Pressure Range*, *Europhysics Letters* 112, 36001 (2015); (Editor's choice - najbardziej popularny artykuł w EPL w 2015 roku); DOI: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/112/36001>
14. A. Aliverdiev, D. Batani, L. Antonelli, **K. Jakubowska**, R. Dezulian, A.A. Amirova, G.M. Gajiev, M. Khan, and H.C. Pant, *Use of multilayer targets for achieving off-Hugoniot states*, *Physical Review E* 89, 053101 (2014); DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.89.059902>

Artykuły zostały **opublikowane w czasopismach o międzynarodowym zasięgu**, które są bardzo dobrze znane i renomowane w środowisku naukowym fizyków zajmujących się badaniami oddziaływania impulsów laserowych o bardzo dużej intensywności (irradiacji) promieniowania z materią oraz jej własnościami w wytworzonych w ten sposób ekstremalnych warunkach. Sześć artykułów opublikowano w czasopismach specjalizujących się w tej tematyce, trzy artykuły w czasopismach zajmujących się badaniami dotyczącymi syntezy termojądrowej oraz cztery artykuły w znanych na świecie czasopismach, poświęconych badaniom w dziedzinie fizyki. Wszystkie artykuły spełniają wymogi określone w art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Jedną z przedstawionych pozycji (nr 12) nie jest artykułem naukowym, ale notatką (*Highlights*) zamieszczoną w magazynie informacyjnym *Europhysics News*, wydawanym przez Europejskie Towarzystwo Fizyczne (ang. *European Physical Society – EPS*), informującą o opublikowanym wcześniej artykule w czasopiśmie naukowym *EPL (Europhysics Letters)*. Na podstawie dostępnych informacji można wnioskować, że notatkę opracowała kandydatka na zaproszenie redaktora czasopisma EPL, ze względu na największą jego popularność wśród czytelników. Taką notatkę można słusznie postrzegać, jako wyróżnienie artykułu oraz **wskazanie na wysoką wartość naukową** opublikowanych w nim wyników badań.

Zgodnie z podaną przez kandydatkę informacją, przedstawione artykuły były cytowane 82 razy, co nie jest liczbą imponującą. Jednakże należy wziąć pod uwagę, że badania w zakresie tej tematyki prowadzone są przez stosunkowo niewielką grupę naukowców, co wynika głównie z bardzo ograniczonego dostępu do aparatury naukowej, w tym głównie systemów impulsowych laserów wielkiej mocy, które są niezbędne do ich prowadzenia. Wpływ na taką liczbę cytowań miała niewątpliwie także relatywnie mała, w porównaniu z innymi działami fizyki, liczba opublikowanych artykułów naukowych, dotyczących tej tematyki. Ilościowe określenie tej relacji nie jest proste, ale pewne wyobrażenie może dać porównanie liczby artykułów wyszukanych w bazie Scopus, w których tytuły, streszczeniu i słowach kluczowych występują wyrażenia „extreme+matter+laser”, z liczbą artykułów, w których występują wyrażenia „semiconductor+material+laser”. Liczby te wynoszą, odpowiednio, 1110 oraz 37688. Pomimo stosunkowo małej liczby cytowań przedstawionych artykułów, **ich wpływ na rozwój wiedzy jest znaczący** w tym wąskim obszarze badań naukowych, o czym świadczy duża liczba wystąpień kandydatki, w tym zaproszonych referatów, na międzynarodowych konferencjach naukowych, a także zaproszenie jej do przygotowania wspomnianej wcześniej notatki.

Wszystkie przedstawione artykuły **powstały w wyniku pracy zespołowej**. Niektóre z nich, na przykład publikacje nr 1, 2, 4, 5, 6, 9 i 10, prezentują wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych z zastosowaniem systemów impulsowych laserów wielkiej mocy oraz zestawów różnego rodzaju aparatury pomiarowej służącej do diagnostyki procesu oddziaływania promieniowania laserowego z materią i jej parametrów w ekstremalnych warunkach. Tego rodzaju badania są **zawsze prowadzone z udziałem specjalistów z wielu różnych obszarów** nauki i techniki, co ma wpływ na wykazy współautorów publikacji. Pozostałe artykuły są artykułami przeglądowymi podsumowującymi stan wiedzy w zakresie badań materii w ekstremalnych warunkach wytwarzanych laserem, np. artykuł nr 3, prezentujący teoretyczną analizę wyników wcześniejszych eksperymentów, np. artykuł nr 7 lub będącymi przeglądem metod diagnostycznych stosowanych w tego rodzaju badaniach, których przykładem mogą być prace nr 8 oraz 11.

Z informacji przedstawionej przez kandydatkę, w której określiła swój wkład w powstanie przedstawionych artykułów oraz z oświadczeń współautorów prac wynika, że brała ona **aktywny udział** w przeprowadzonych eksperymentach. Wykonywała pomiary określonymi przyrządami diagnostycznymi, najczęściej były to różnego rodzaju układy spektrometrów oraz interferometrów, prowadziła analizę otrzymanych danych pomiarowych i ich interpretację, zwykle z zastosowaniem programów do modelowania komputerowego badanych procesów, uczestniczyła w formułowaniu wniosków z badań oraz przygotowaniu i redagowaniu artykułów. W przypadku jednego eksperymentu, przeprowadzonego z zastosowaniem systemu laserowego GEKKO XII w ośrodku badawczym Institute of Laser Engineering Uniwersytetu w Osace, poza wymienionymi czynnościami, kierowała pracami na etapie planowania eksperymentu oraz realizacji. Jej procentowy udział w powstaniu tych artykułów został określony na około 50 %, co wskazuje, że kandydatka **odgrywała w nich wiodącą rolę**. W przypadku artykułu przeglądowego, przedstawiającego stan wiedzy w zakresie badań materii w warunkach ekstremalnych wywołanych laserem, jej udział wynosił 85%. W pozostałych artykułach, dotyczących stosowanych metod diagnostycznych, udział był na poziomie 10-20 %.

Przedmiotem badań przedstawionych w cyklu artykułów powiązanych tematycznie jest materia w ekstremalnych warunkach, w sensie bardzo wysokich wartości ciśnienia oraz/lub temperatury. W literaturze naukowej dotyczącej tego zagadnienia można napotkać informacje o przyjętych wartościach tych parametrów: powyżej 1 Mbar w przypadku ciśnienia oraz w zakresie od kilkudziesięciu do kilkuset eV, czyli około 1 mln K, dla temperatury. Badania materii w takich warunkach rozpoczęto kilkadziesiąt lat temu w związku z pracami nad zbudowaniem broni wykorzystującej energię wytwarzaną wyniku reakcji jądrowych, zarówno reakcji rozszczepiania ciężkich jąder pierwiastków, jak i reakcji syntezy jąder lekkich, gdzie występuje materia w takich warunkach. Dostęp do wyników tych badań był, z oczywistych względów, bardzo ograniczony. Sytuacja uległa radykalnej zmianie w latach 60-tych ubiegłego wieku, kiedy pojawiły się koncepcje wykorzystania energii termojądrowej do celów pokojowych, czyli do produkcji energii na potrzeby energetyki. Jedną z nich zakładała zastosowanie do stworzenia warunków umożliwiających przeprowadzenie reakcji syntezy z dodatnim uzyskiem wytwarzanej energii systemów impulsowych laserów wielkiej mocy. Prace teoretyczne oraz badania eksperymentalne, rozpoczęte na przełomie lat 60-tych i 70-tych, wskazywały, że jest to możliwe do osiągnięcia w niedalekiej przyszłości. Rzeczywistość okazała się trudniejsza od tych przewidywań i dopiero w 2022 roku przeprowadzono eksperyment, w którym wykazano, po raz pierwszy, możliwość tego rodzaju reakcji.

Przedstawiciele administracji odpowiedzialnej za badania naukowe w USA, uznali, że wynik ten należy zaliczyć do **największych osiągnięć nauki w XXI wieku**, który może mieć decydujący wpływ na rozwiązanie w przyszłości podstawowego problemu, jakim jest zaspokojenie potrzeb na energię. Należy zauważyć, że jednym z pionierów tych badań na świecie był prof. Sylwester Kaliski, twórca i patron Instytutu, w którym pracuje obecnie kandydatka, który opublikował w latach 1969-1978 około 100 teoretycznych prac naukowych dotyczących realizacji syntezy termojądrowej za pomocą laserów i badania materii w ekstremalnych warunkach.

Badania dotyczące syntezy termojądrowej z użyciem laserów są uzależnione głównie od dwóch czynników. Pierwszym jest rozwój technologii impulsowych laserów wielkiej mocy, natomiast drugim czynnikiem – stan wiedzy dotyczącej materii w ekstremalnych warunkach ciśnienia i temperatury. Badania materii w takich warunkach mają także duże znaczenie dla astrofizyki i chemii kosmicznej, ponieważ dostarczają informacji dotyczących budowy wnętrza gwiazd oraz planet. Stanowi to dodatkowy argument świadczący o tym, że tematyka prac przedstawionych przez kandydatkę bardzo dobrze **wpisuje się w działania** dotyczące zarówno zaspokojenia potrzeb społecznych, jak również poszerzenia wiedzy o wszechświecie.

Przedstawione przez kandydatkę artykuły można podzielić na **trzy zasadnicze grupy**:

- prace dotyczące metod pomiarowych zastosowanych w przeprowadzonych przez nią badaniach,
- prace poświęcone badaniom przemian fazowych zachodzących w wodzie i węglu w ekstremalnych warunkach wywołanych działaniem nanosekundowych impulsów laserowych,
- prace dotyczące badania dynamiki fali uderzeniowej wytwarzanej z zastosowaniem laserów femtosekundowych.

Pierwsza grupa prac obejmuje dwa artykuły (nr 8 i 11), w których przedstawione zostały różnego rodzaju metody pomiarowe, oparte na spektrometrii rentgenowskiej, radiografii protonowej, optycznej cieniografii i interferometrii, w tym także techniki VISAR, która jest jedną z podstawowych metod stosowanych obecnie w badaniach dynamiki fal uderzeniowych wytwarzanych laserem. Publikacje te wskazują na **wysokie kompetencje kandydatki**, jako eksperymentatora w tym obszarze badań.

Artykuły w drugiej grupie, stanowiące większość w przedstawionym cyklu, prezentują wyniki badań z **zastosowaniem systemów laserów nanosekundowych**, takich jak laser SGIII-p w ośrodku badań jądrowych Laser Fusion Research Center (LFRC) w Mianyang, Chiny, odpowiedniku ośrodków w Los Alamos i w Livermore (praca nr 2), lasery w ośrodkach PALS w Czechach, LULI we Francji, GSI w Niemczech, RAL w W. Brytanii oraz ILE w Japonii (prace nr 4-6, 9, 13). Tego rodzaju badaniom dotyczą także prace nr 7 i 14, w których przedstawione zostały **wyniki prac teoretycznych**, dotyczących eksperymentów wykonanych z użyciem tych laserów, w których zastosowano modelowanie komputerowe do symulacji badanych procesów. Badania przedstawione w tej grupie artykułów związane były zarówno z problematyką dotyczącą realizacji syntezy termojądrowej, jak i wewnętrznej budowy obiektów kosmicznych (planet). Przykładem prac dotyczących syntezy są eksperymenty przeprowadzone w Chinach (praca 2), gdzie badano własności azotku boru w warunkach ekstremalnych ciśnień oraz w Czechach (praca 9), gdzie badano bardzo ważny problem nagrzewania paliwa jądrowego wysokoenergetycznymi elektronami podczas jego kompresji falą uderzeniową.

Także dużą wartość naukową mają wyniki badań przedstawione w pracy nr 14, które wskazują na możliwość otrzymania bardzo wysokich wartości ciśnienia, przy stosunkowo niskiej temperaturze, w przypadku naświetlania laserem układów warstwowych. Wyniki przedstawione w tych pracach są **znacznym wkładem do wiedzy** odnośnie właściwości azotku boru, który ma zastosowanie w układach syntezy opartych na reakcji p-B, jak również odnośnie nowych metod wytwarzania ekstremalnych ciśnień oraz znaczenia wysokoenergetycznych elektronów na proces syntezy termojądrowej z zastosowaniem metody nagrzewania i kompresji paliwa jądrowego za pomocą symetrycznej, silnej fali uderzeniowej (tzw. *shock ignition*). Przedmiotem badań przedstawionych w pozostałych pracach w tej grupie są woda i węgiel (diament), które, będąc podstawowym składnikiem budowy wielu planet, stanowią obiekt zainteresowania badaczy w obszarze astrofizyki i chemii kosmicznej. Badania diamentu mają także znaczenie dla realizacji syntezy termojądrowej, gdzie syntetyczny diament jest stosowany do konstrukcji pojemników z paliwem jądrowym, które są naświetlane impulsami laserowymi. Otrzymane **wyniki badań dla tych materiałów**, w szczególności badań propagacji fali uderzeniowej w diamencie, przejść fazowych i właściwości optycznych wody w warunkach ekstremalnych ciśnień, uzyskania wartości eksperymentalnych potwierdzających równania stanu dla wody w tych warunkach, które potwierdzają dane teoretyczne, są dużym osiągnięciem naukowym kandydatki.

Trzecia grupa prac obejmuje tylko dwa artykuły (praca nr 1 i 10), ale ich wartość naukowa w pełni równoważy tę różnicę między obiema grupami. Przedstawiają one wyniki badania wytwarzania silnej fali uderzeniowej w ciałach stałych w wyniku oddziaływania silnego impulsu laserowego o **czasie trwania w zakresie kilkudziesięciu femtosekund**. Struktura fali uderzeniowej wywołanej takim impulsem różni się znacznie od struktury fali wytwarzanej impulsem nanosekundowym. Charakteryzuje się występowaniem silnego gradientu ciśnienia zarówno na froncie, jak i na tylnym zboczu fali oraz bardzo dużą wartością jej amplitudy, która szybko maleje wraz z propagacją fali w ośrodku. Struktura tej fali przypomina charakterystyczną strukturę fali uderzeniowej wytwarzanej w gazach, tzw. fali podmuchu (ang. *blast wave*), która powstaje podczas wybuchu lub ruchu ciała z prędkością naddźwiękową. Możliwość wytwarzania takich fal za pomocą laserów femtosekundowych stwarza nowe możliwości badawcze tych zjawisk, a ponadto, ze względu na niższe koszty tego rodzaju systemów laserowych, daje szansę zwiększenia dostępu do tych badań. Prace przedstawione w tych artykułach należy zaliczyć do pionierskich. Eksperymenty zostały przeprowadzone w ośrodku LULI w Ecole Polytechnique w Palaiseau we Francji oraz w ośrodku CLPU na Uniwersytecie w Salamance w Hiszpanii. W obydwu eksperymentach zastosowano systemy laserowe wytwarzające impulsy o czasie trwania 24 fs (LULI) oraz 30 fs (CLPU) i energii około 3 J w impulsie. Dzięki zastosowaniu różnej średnicy wiązki laserowej zogniskowanej na próbkach, w których wytwarzano fale uderzeniową (folie aluminiowe o grubości około 50 mikrometrów), możliwe było przeprowadzenie badań dla dwóch różnych wartości intensywności promieniowania: 10^{21} Wcm^{-2} (LULI) oraz 10^{19} Wcm^{-2} (CLPU). Eksperymentalne badania wytwarzanej w folii aluminiowej fali uderzeniowej prowadzono z zastosowaniem szerokiego zestawu przyrządów pomiarowych. Do analizy otrzymanych wyników pomiarów oraz ich interpretacji fizycznej zastosowano cztery rodzaje programów do symulacji komputerowej procesu propagacji wysokoenergetycznych elektronów (tzw. gorących elektronów), które są głównie odpowiedzialne za powstanie fali uderzeniowej, procesu wytwarzania plazmy w wyniku oddziaływania impulsu laserowego w jego początkowej fazie profilu czasowego (tzw. pre-impulsu) i powstawania elektronów wysokoenergetycznych oraz

dynamiki wytwarzanej fali uderzeniowej. Ze względu na innowacyjny charakter wyników tych badań, które dostarczyły nowej wiedzy, pozwalającej lepiej zrozumieć procesy zachodzące podczas oddziaływania femtosekundowych impulsów laserowych o bardzo wysokich intensywnościach, obydwa artykuły należy **ocenić bardzo wysoko**. Udział kandydatki w tych eksperymentach był znaczący, zarówno w prowadzeniu pomiarów, jak i analizie i interpretacji otrzymanych.

Podsumowując, uważam, że przedstawiony przez kandydatkę cykl artykułów dotyczących badania materii w ekstremalnych warunkach wytwarzanych laserami jest bardzo znaczącym osiągnięciem naukowym w skali światowej. Jest wynikiem wielu lat bardzo intensywnej pracy naukowej, zarówno eksperymentalnej, jako i teoretycznej, wykonanej w bardzo silnych zespołach naukowców w czołowych na świecie ośrodkach badawczych. Rezultaty przedstawionych w tych artykułach badań **znacznie poszerzają wiedzę w tym obszarze fizyki**.

Ocena dorobku naukowego kandydatki oraz jej osiągnięciach organizacyjnych, dydaktycznych i popularyzujących naukę

Kandydatka opublikowała dotychczas 70 artykułów w czasopismach naukowych, w tym 52 artykuły po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Jest także autorką rozdziału zatytułowanego „*Short-pulse laser-driven strong shock*”, zamieszczonego w **monografii** poświęconej impulsowym laserom wielkiej mocy, wydanej przez wydawnictwo Springer. Artykuły jej są rozpoznawalne w środowisku naukowym zajmującym się badaniami w zakresie tematyki badawczej kandydatki. Artykuły te były cytowane prawie 1200 razy. Oprócz artykułów w czasopismach naukowych kandydatka upowszechniała wyniki swoich badań poprzez udział w konferencjach naukowych. Wygłosiła 19 ustnych wystąpień, w tym 3 referaty zapraszone. Jest także współautorką ponad 60 komunikatów konferencyjnych, przedstawianych przez współpracowników.

Poza tematyką dotyczącą badań materii w ekstremalnych warunkach wytwarzanych laserem, która jest podstawą jej wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego, kandydatka po doktoracie zajmowała się badaniami spektroskopowymi plazmy w urządzeniach „plasma-focus” oraz plazmą powstającą podczas ablacji laserowej metalu (molibdenu). Ważnym tematem jej działalności w tym okresie było opracowanie nowego typu gazowych detektorów promieniowania rentgenowskiego typu GEM (*Gas Electron Multiplier*) na potrzeby diagnostyki plazmy w układzie tokamaka JET, którą prowadziła w zespole z Instytutu Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy oraz we współpracy z zespołem prof. W. Dominika z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

W roku 2013, w związku ze stażem podoktorskim w ośrodku laserowym CELIA Uniwersytetu w Bordeaux, rozpoczęła badania plazmy wytwarzanej laserem. Początkowo prace jej dotyczyły głównie opracowania nowych metod pomiarowych do diagnostyki plazmy laserowej, w tym: zastosowanie wcześniej opracowanych detektorów rentgenowskich typu GEM, zastosowanie do pomiarów promieniowania rentgenowskiego oraz protonów i elektronów wytwarzanych w plazmie laserowej, detektorów pasywnych w postaci płyty obrazującej (ang. *imaging plate*), opracowanie nowego typu spektrometru rentgenowskiego, dla szerokiego zakresu widmowego promieniowania, opartego na wygiętych kryształach oraz badanie nowego spektrometru masowego typu Thomsona. Uzyskane w ten sposób doświadczenie oraz **wysokie kompetencje** w zakresie stosowania tak różnych technik pomiarowych, zapewne zdecydowały o rozpoczęciu badań dotyczących wytwarzania stanów materii w ekstremalnych warunkach ciśnienia i temperatury, które doprowadziły do złożenia wniosku habilitacyjnego.

Bardzo **charakterystyczną cechą działalności naukowej kandydatki**, która wynika ze specyfiki prowadzonych przez nią badań, ale także świadczy o jej nadzwyczajnej aktywności, jest szeroka współpraca z wieloma ośrodkami badawczymi na świecie. Było to częściowo wymuszone przez konieczność stosowania w badaniach, w interesującym ją obszarze, systemów impulsowych laserów wielkiej mocy, które są obecnie dostępne w kilku tylko ośrodkach badawczych, ale także wskazuje na wyjątkowe umiejętności nawiązywania kontaktów naukowych. Tak wysoka aktywność naukowa kandydatki, realizowana w ramach współpracy międzynarodowej, zasługuje na wyróżnienie. Warto w tym miejscu powołać się na słowa Marii Skłodowskiej-Curie, która w lipcu 1929 roku pisała do córki Ewy: „Myślę, że współpraca międzynarodowa jest zadaniem bardzo ciężkim, które jednak trzeba podjąć choćby kosztem wielu wysiłków i prawdziwego poświęcenia...”.

Obecnie kandydatka jest bardzo **mocno zaangażowana** w działalność dotyczącą stosunkowo nowej metody realizacji syntezy termojądrowej poprzez zastosowanie reakcji p-B. Działalność ta ma charakter zarówno naukowy, jak i organizacyjny. W ramach działalności naukowej kandydatka uczestniczyła w eksperymentach naukowych dotyczących tej tematyki. Poza eksperymentem przedstawiony w artykule załączonym do przedstawionego cyklu (praca nr 1), uczestniczy w badaniach prowadzonych w ośrodku laserowym ELI Beamlines w Czechach, gdzie znajdują się obecnie najnowocześniejsze systemy impulsowych laserów wielkiej mocy na świecie, które są udostępniane użytkownikom zewnętrznym. Kandydatka jest jedną z nielicznych osób reprezentujących polską naukę w tym unikalnym ośrodku naukowo-badawczym. Działalność kandydatki dotycząca problematyki syntezy termojądrowej poprzez reakcję p-B obejmuje także godną uznania działalność organizacyjną. Ta metoda syntezy, która została zaproponowana stosunkowo niedawno, stwarza możliwość produkcji energii bez wytwarzania neutronów, co ma ogromne znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa działania przyszłych generatorów energii. Na dużą wagę prowadzenia badań w tym obszarze wskazuje ustanowienie akcji CA21128 w ramach programu COST (*European Cooperation in Science and Technology*), zatytułowanej: *PROton BORon Nuclear fusion: from energy production to medical applicatiOns (PROBONO)*, która celem jest zbudowanie środowiska naukowego w Europie, zajmującego się tą tematyką. Kandydatka jest przewodniczącą komitetu zarządzającego tą akcją (*Action Chair*). W ramach tej działalności zorganizowała szereg przedsięwzięć, typu seminaria, spotkania robocze, szkolenia i inne, mające na celu popularyzowanie tej tematyki badawczej oraz organizowanie wspólnych badań.

Poza działalnością w ramach akcji COST, kandydatka uczestniczyła w komitetach organizacyjnych kilkunastu różnych konferencji naukowych i spotkań roboczych, zarówno krajowych, jak i międzynarodowych. Była kierownikiem trzech projektów naukowo-badawczych i wykonawcą w jedenastu projektach. Kierowała realizacją sześciu zespołowych eksperymentów naukowych przeprowadzonych w laserowych ośrodkach za granicą oraz była uczestniczką 36 tego typu eksperymentów. Należy do czterech towarzystw naukowych, w tym do Europejskiego Towarzystwa Fizycznego. Aktywnie działa w komitetach naukowych kilku czasopism naukowych. Jest redaktorem naczelnym renomowanego czasopisma naukowego *Lasers & Particle Beams*. Recenzowała ponad 30 artykułów zgłoszonych do publikacji w czasopiśmie naukowym. Uczestniczy w panelu ekspertów oceniających wnioski na realizację projektów z zastosowaniem infrastruktury badawczej ELI Beamlines przez zewnętrznych użytkowników. W mojej ocenie, wskazana powyżej działalność naukowa i organizacyjna kandydatki oraz wybitne osiągnięcia w tym obszarze **zasługują na wyróżnienie**.

Pomimo tak dużej aktywności naukowej i organizacyjnej kandydatka prowadziła także, wprawdzie ograniczoną, działalność dydaktyczną. Uczestniczyła w komisjach przyznających tytuł zawodowy magistra na uniwersytecie w Mediolanie we Włoszech oraz stopnie naukowe doktora na Uniwersytecie w Bordeaux we Francji. Sprawowała także opiekę nad trójką studentów we Włoszech i Francji oraz prowadziła kursy laboratoryjne w ramach studiów magisterskich. Zauważyć należy także jej aktywną działalność społeczną wśród Polonii we Francji, w tym nauczanie języka polskiego i kultury polskiej w szkole w Bordeaux oraz organizowanie imprez kulturalnych.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując ocenę dorobku naukowego kandydatki, w tym osiągnięcia naukowego w postaci cyklu artykułów dotyczących badania materii w ekstremalnych warunkach wytwarzanych laserem oraz jej osiągnięć organizacyjnych i dydaktycznych, stwierdzam, że spełniają one w pełni wymagania określone w art., 219 ust.1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

W związku z powyższym wnioskuję o nadanie dr Katarzynie Batani stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.