

Prof. dr hab. Tomasz A. Kowalewski

IPPT PAN, profesor emerytowany

Warszawa, 4.11.2024r

RECENZJA

dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
Pani dr inż. Marty Waławczyk w związku z postępowaniem habilitacyjnym w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne prowadzonym przez Radę Naukową Dyscypliny na Uniwersytecie Warszawskim

Pani dr inż. Marta Waławczyk 17 czerwca 2024 r. złożyła wniosek do Rady Doskonałości Naukowej o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie **nauk ścisłych i przyrodniczych** w dyscyplinie **nauki fizyczne**. Jako osiągnięcie dorobku naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego Kandydatka wskazuje cykl 9 publikacji powiązanych tematycznie i zatytułowany „Symetrie i skalowanie w turbulencji: od analiz teoretycznych do zastosowań w badaniach przepływów atmosferycznych”, wnioskując na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu jawnym.

Kandydatka uzyskała dyplom magistra-inżyniera w dyscyplinie fizyki ze specjalnością mechanika płynów na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej w 2001 r., a w 2007 r. stopień doktora nauk technicznych w zakresie mechaniki w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN (IMP PAN) w Gdańsku. Jej promotorem był prof. dr hab. inż. Jacek Pozorski, a rozprawa doktorska została wyróżniona nagrodą Prezesa Rady Ministrów w roku 2008. W latach 2007-2010 oraz w roku 2016 Kandydatka zatrudniona była w IMP PAN na stanowisku adiunkta. W latach 2010-2015 przebywała na prestiżowym stypendium na Uniwersytecie Technicznym w Darmstadt (Niemcy).

Pani dr inż. Marta Waławczyk prowadzi badania z zakresu mechaniki płynów, szczególnie teorii turbulencji. Są to zarówno prace badawcze o charakterze teoretycznym, jak i dotyczące zastosowań w obszarze fizyki atmosfery. Od kwietnia 2016 r. dr inż. Marta Waławczyk jest zatrudniona w Instytucie Geofizyki UW (IGF UW) kolejno na stanowisku adiunkta badawczego, starszego specjalisty naukowo-technicznego (zatrudnienia z projektu), a po wygraniu otwartego konkursu od lutego 2019 r. na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego.

Ocena osiągnięć naukowych

Kandydatka jest autorką lub współautorką 43 publikacji z listy Web of Science. Cykl artykułów zgłoszony przez Kandydatkę do oceny składa się z 9 prac opublikowanych w latach 2014-2024, dotyczących zastosowania teorii symetrii do wyznaczania praw skalowania dla turbulencji oraz wykorzystania praw skalowania w analizie danych pomiarowych turbulencji atmosferycznej. Kandydatka jest pierwszym lub korespondencyjnym autorem tego cyklu prac, jej wkład w tych pracach jest znaczący.

Zgłoszony do oceny cykl jest poświęcony matematycznej analizie równań opisujących przepływ turbulentny. Koncepcja analitycznego opisu przepływów turbulentnych ma długą historię; wysiłki na rzecz stworzenia takiego opisu opierają się głównie na pomocniczych założeniach, takich jak skalowanie struktury przepływu, wprowadzanie dyskretnych wirów, poszukiwanie cech podobieństwa oraz wydzielenie obszaru matematycznie opisywalnego przepływu laminarnego od chaosu typowego dla przepływu turbulentnego. Co istotne, wszystkimi tego typu procesami rządzi jedno fundamentalne równanie mechaniki płynów – równanie Naviera-Stokesa. Mogłoby się wydawać, że stanowi ono znaczne ułatwienie, jednak w rzeczywistości rozwiązanie tego równania dla kluczowej klasy przepływów, jaką są przepływy turbulenty, pozostaje jednym z największych nierozwiązanych problemów fizyki klasycznej. Wciąż aktualna jest nagroda ufundowana przez Clay Mathematics Institute w wysokości miliona dolarów dla osoby, która wykaże matematyczną jednoznaczność rozwiązań tego, z pozoru prostego, równania.

Kandydatka w przedstawionych do oceny publikacjach konsekwentnie dąży do udoskonalenia opisu turbulencji, ostatnio z zamiarem wykorzystania tej wiedzy w badaniach przepływów atmosferycznych. Przedstawiony cykl prac opiera się na przyjęciu, że matematyczna analiza struktury przepływu jest kluczem do opisu zjawisk turbulencji przepływów w atmosferze. Wskazany przez Kandydatkę cykl dziewięciu wysoko punktowanych publikacji doskonale ilustruje główne zalety obranej przez nią strategii badawczej: od teorii do praktycznego zastosowania wyników badań.

H1. M. Waclawczyk, N. Staffolani, M. Oberlack, A. Rosteck, M. Wilczek, R. Friedrich, 2014, Statistical symmetries of the Lundgren-Monin-Novikov hierarchy, *Physical Review E*, vol. 90, 013022 (140pkt)

H2. Waclawczyk M., Grebenev V.N., Oberlack M., 2017, Lie symmetry analysis of the Lundgren-Monin-Novikov equations for multi-point probability density functions of turbulent flow, *Journal of Physics A - Mathematical and Theoretical*, vol. 50, 175501 (100pkt)

H3. Waclawczyk M., Ma Y., Kopec J.M., and Malinowski S.P., 2017, Novel approaches to estimating the turbulent kinetic energy dissipation rate from low- and moderate-resolution velocity fluctuation time series, *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 10, 4573-4585 (140pkt)

H4. Akinlabi E.O., Waclawczyk M., Mellado J.P., and Malinowski S.P., 2019, Estimating Turbulence Kinetic Energy Dissipation Rates in the Numerically Simulated Stratocumulus Cloud-Top Mixing Layer: Evaluation of Different Methods, *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 76(5), 1471–1488 (140pkt)

H5. Waclawczyk M., Grebenev V. and Oberlack M., 2020, Conformal invariance of characteristic lines in a class of hydrodynamic models, *Symmetry*, vol. 12(9), art. 1482 (70pkt)

H6. Waclawczyk M., Grebenev V.N. and Oberlack M., 2021, Conformal invariance of the 1-point statistics of the zero-isolines of 2d scalar fields in inverse turbulent cascades, *Physical Review Fluids*, vol. 6(8), art. 084610 (70pkt)

H7. Waclawczyk M., Nowak J.L., Siebert H. and Malinowski S.P., 2022, Detecting non-equilibrium states in atmospheric turbulence, *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 79(10), 2757-2772 (140pkt)

H8. Yano J.-I., Waclawczyk M., 2024, Symmetry Invariant Solutions in Atmospheric Boundary Layers, *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 81(2), pp. 263-277 (140pkt)

H9. Waclawczyk M., Yano J.-I., Florczyk G.M., 2024, Local Similarity Theory as the Invariant Solution of the Governing Equations, *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 190, 23 (100pkt).

Tematyka tych prac przedstawionych do oceny opiera się na analizie matematycznej równań opisujących przepływ turbulentny w sensie statystycznym. Problemem tego matematycznego opisu jest brak domknięcia, związany z występowaniem w badanych równaniach niewiadomych statystyk pochodnych wyższych rzędów. Pomimo tego sama struktura równań i wynikające z niej własności niezmienniczości względem transformacji zmiennych, dostarczając istotnych informacji o badanym zjawisku pozwalają na wyprowadzenie pewnych charakterystycznych dla niego praw skalowania. Proponowane w pracach Habilitantki skalowanie inercyjnych struktur przepływu jest typowym praktycznym podejściem do interpretacji i prognoz przepływów wielkoskalowych. Wyprowadzona lokalna teoria podobieństwa dla stabilnej warstwy atmosferycznej stwarza perspektywę uwzględniania w statystyce transportu energii zależności od położenia warstwy granicznej przepływów atmosferycznych.

W swoich pracach Kandydatka usiłuje pogodzić surowy opis matematyczny nieliniowych równań transportu ze złożonością zjawisk charakterystycznych dla przepływów turbulentnych. Jak wiemy obecnie otrzymanie pełnego obrazu turbulencji przepływu jest dostępne jedynie przy zastosowaniu metod numerycznych DNS tzn. przez bezpośrednie rozwiązanie równań Naviera-Stokesa. Wiąże się to z koniecznością stosowania bardzo gęstych siatek obliczeniowych oraz małego kroku całkowania w czasie, dostępnych praktycznie jedynie dla małych geometrii i bardzo krótkich czasów analizowanego przepływu. Kandydatka słusznie wybrała drogę analitycznego poszukiwania opisu pola turbulencji. W kolejnych przedstawionych do oceny pracach znajdujemy próby wyznaczania charakterystyk statystycznych pozwalających na skalowanie opisu fluktuacji i tworzenia się lokalnych i dużych struktur wirowych. Zastosowanie takiego skalowania Kandydatka w swoich pracach demonstruje metodykę praktycznego problemu jakim jest analiza stanów turbulencji i wielkoskalowe modelowanie przepływów atmosferycznych. Kluczowe aspekty badań Habilitantki to inercyjne skalowanie struktur przepływu, podejście praktyczne, które umożliwia efektywną interpretację i prognozy przepływów o dużej skali. W tym kontekście wyprowadzone przez Habilitantkę zależności skalowania są szczególnie przydatne do modelowania turbulencji atmosferycznej.

Recenzent oceniając przedstawiony cykl prac, jako jednotematyczne osiągnięcie naukowe o znacznym wpływie na rozwój dyscypliny, może stwierdzić, że przedstawione prace całkowicie spełniają to kryterium: są to faktycznie prace w większości monotematyczne i dotyczą tego samego problemu: opisu zjawisk przepływowych towarzyszących zjawisku turbulencji przepływu. Zaproponowane rozwiązania analityczne i proponowane modelowanie numeryczne stanowią nie tylko osiągnięcie naukowe w dyscyplinie fizyki przepływów, ale również, albo przede wszystkim, ważne osiągnięcie praktyczne dla prognozowania wielkoskalowych ruchów atmosfery czy oceanów

W pierwszym artykule (H1) przedstawionego cyklu Habilitantka przedstawia zestaw przekształceń statystycznych dla funkcji gęstości prawdopodobieństwa prędkości (PDF), w których hierarchiczna struktura pozostaje niezmienną. Zauważa, że pochodna symetrii translacyjnej wpływa na udział rozwiązania laminarnego w funkcji PDF. Druga symetria statystyczna odnosi się do analiz gwałtownych fluktuacji w typowych przepływach turbulentnych (tzw. bursts). Zaprezentowany model przekształca PDF w funkcje opisujące przerywany przepływ, w którym obserwuje się nieregularne przejścia między stanem turbulentnym a nieturbulentnym, co pozwala ustalić pierwsze zasady ograniczające wartości skalowania parametrów PDF. W kolejnym artykule (H2) Habilitantka analizuje statystykę

turbulencji przy użyciu hierarchii równań całkowo-różniczkowych w kontekście cech grupowych. Przeprowadza analizę grupową, która wyraża te równania jako nieskończony zestaw warunków całkowalności dla wielopunktowych funkcji PDF, obejmujących standardowe pomiary. Dla jednego punktu wyprowadzany jest pełen zestaw transformacji punktowych PDF, gdzie zmiennymi niezależnymi są np. pole prędkości, przestrzeń oraz czas. Dzięki jednokierunkowemu sprzężeniu równań korelacji wyniki są kompletne — nie ma dodatkowych symetrii, nawet gdy uwzględnia się pełną, nieskończoną hierarchię struktur. Analiza symetrii równań transportu w pracach H1 i H2 okazała się istotna w dalszych badaniach Habilitantki, szczególnie w artykułach H8 i H9, gdzie bada ona obecność symetrii na poziomie statystycznym pomiarów atmosferycznych.

Szczególną uwagę recenzenta zwróciła praca H4 z podanej listy publikacji do oceny. W pracy tej analizowano dane eksperymentu numerycznego warstwy stratocumulusem przyjmując liczbę Reynoldsa tych symulacji 300 krotnie mniejszą od typowych liczb Reynoldsa obserwowanych w rzeczywistych przepływach w atmosferze. Mimo tego ograniczenia, analiza danych numerycznych pozwoliła na otrzymanie typowych wartości dyssypacji szacowanej na podstawie widma częstotliwości i funkcji struktury drugiego i trzeciego rzędu. Dodatkowo Habilitantka zaproponowała zmodyfikowaną wersję metody iteracyjnej, w której zamiast liczby przecięć przebiegu fluktuacji z poziomem zero wykorzystuje średni kwadrat gradientu fluktuacji prędkości. Habilitantka testuje dwie różne metody wyznaczania TKE (energii kinetycznej turbulencji). Do testów wykorzystuje bezpośrednią symulację numeryczną (DNS) warstwy mieszającej na szczycie chmury stratocumulus oraz różne podejścia do szacowania szybkości rozpraszania (TKE) z jednowymiarowego sygnału przypominające serie eksperymentalne. Wyniki tych szacunków porównuje z „prawdą” (DNS) dla warstwy przyściennej oraz dla niejednorodnych przepływów symulujących warunki w górnych warstwach atmosferycznych. Metody te są testowane na całkowicie rozdzielonych polach turbulencji i porównywane ze standardowymi źródłami energii widma i funkcją struktury. Habilitantka porównała sygnały prędkości analizując skuteczność odcięcia widma mierzone podczas lotu „wirtualnego statku powietrznego” przez chmurę stratocumulus. Zaproponowana przez Habilitantkę metoda opiera się na odzyskaniu brakującej części inercyjnej i rozpraszającą część widma turbulencji. Habilitantka pokazała, że Jej model analityczny opisu fluktuacji pola prędkości zapewnia najlepsze efekty i pasuje do danych otrzymanych metodą DNS.

Warto również wyróżnić pracę H7 gdzie Habilitantka wykazała, że jej metoda jest wystarczająca do oszacowania tempa dyssypacji energii kinetycznej i skali długości do wyznaczenia ich zależności od liczby Reynoldsa. Było to pierwsze praktyczne zastosowanie tej nowej metody do badania turbulencji w atmosferze. W pracy H7 analizie poddane zostały dane z kampanii pomiarowej ACORES przeprowadzonej nad obszarem północnego Atlantyku. Celem kampanii było badanie własności atmosferycznej warstwy granicznej zwieńczonej stratocumulusem. Niskie chmury typu stratocumulus odgrywają ważną rolę w bilansie radiacyjnym Ziemi. Prace H8 i H9 dotyczyły zastosowania teorii symetrii w analizie przepływów w atmosferycznej warstwie granicznej (AWG). Ponieważ turbulencję charakteryzuje tendencja do przywracania symetrii w sensie statystycznym, można się spodziewać, że prędkość średnia i składowe naprężenia turbulentnych Reynoldsa będą przyjmowały w danej klasie przepływów pewną charakterystyczną postać bliską rozwiązaniom niezmienniczym. Przykładem jest znany logarytmiczny profil prędkości średniej w pobliżu ścianki. Jest on na tyle uniwersalny, że występuje w różnych rodzajach przepływów przyściennych, również w turbulencji atmosferycznej przy warunkach neutralnych (kiedy zmiany temperatury są na tyle małe, że nie wpływają na pole prędkości), jednocześnie warstwa graniczna jest tak cienka, że typowe modele atmosferyczne nie rozwiązują szczegółów jej

struktury. W pomiarach aby oszacować te fluktuacje należałoby użyć czujników o bardzo dużej częstotliwości, mierzących najmniejsze skale turbulencji. Dlatego opis fizyczny wymaga podejścia statystycznego dla fluktuacji pola prędkości i temperatury. Stało się to motywacją wcześniej wspomnianej pracy H3, w której Habilitantka zaproponowała nowe metody wyznaczania tempa dyssypacji na podstawie tzw. przybliżenia telegraficznego fluktuacji prędkości zmierzonych z niską rozdzielczością czasową.

Podsumowując, recenzent pozytywnie docenia jednotematyczność wybranego przez Habilitantkę cyklu prac, który świadczy o jasnym i spójnym kierunku badawczym w obszarze fizyki przepływów. Metody rozwiązywania problemów turbulencji atmosferycznej zaproponowane w tych pracach przez Habilitantkę przyczyniają się zarówno do rozwoju wiedzy teoretycznej w zakresie przepływów turbulentnych, jak i mają zastosowanie praktyczne, zwłaszcza w przewidywaniu wielkoskalowych zjawisk atmosferycznych. Zdaniem Recenzenta, opracowane i zastosowane narzędzia analityczne i numeryczne oraz przeprowadzona analiza otrzymanych rezultatów stanowią wymagany powołaną uprzednio Ustawą istotny wkład naukowy do dyscypliny nauk fizycznych.

Ocena aktywności naukowej

Pani dr Marta Waławczyk jest autorką i współautorką 43 artykułów naukowych w dobrych i bardzo dobrych czasopismach naukowych indeksowanych przez Web of Science (WoS). Wyniki swoich prac prezentowała również na licznych uznanych, międzynarodowych konferencjach. Warto zwrócić uwagę na wczesne prace Habilitantki dotyczące modelowania zjawiska turbulencji przyściennej, gdzie wykorzystuje metody funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu pola prędkości (POD) i filtrowanej funkcji gęstości. O jakości jej prac świadczą liczne publikacje w wiodących czasopismach. Po podjęciu pracy na Wydziale Geofizyki UW zaangażowała się w serię badań dotyczących tempa dyssypacji energii kinetycznej turbulencji. Jako promotor pomocniczy współpracowała nad tworzeniem modelu LES do symulacji turbulencji w chmurach, co pozwala uwzględnić wpływ skali na dynamikę dużych wirów i rozwiązać zagadnienia tych przepływów na dużych siatkach obliczeniowych. Wkład do dorobku naukowego obok publikacji Kandydatki w uznanych czasopismach, objawia się też w jej aktywności konferencyjnej. Współczynnik wpływu dorobku twórczego mierzony liczbą cytowań prac Kandydatki to 313, a indeks Hirsha $h=10$ (dane z 4.11.2024). Zważywszy, że znaczna część publikacji są to prace teoretyczne z pogranicza mechaniki płynów i fizyki matematycznej, gdzie średni poziom cytowań jest niewielki, dane bibliometryczne Kandydatki oceniam jako bardzo dobre.

Zwraca uwagę rosnący w ostatnich latach poziom aktywności naukowej dr Marty Waławczyk. Wskazuje na to nie tylko rosnąca liczba publikacji, ale także aktywny udział w konferencjach i w projektach badawczych (w tym w ramach Horizon 2020 – projekt COMPLETE) oraz uzyskanie kolejnego grantu OPUS z NCN na badania turbulencji w warstwie granicznej atmosfery. Warto także podkreślić, że Kandytka wykazuje znaczną aktywność w aplikowaniu do projektów badawczych (w sumie 9 projektów, z czego kierowała trzema projektami), jest aktywnym członkiem międzynarodowej społeczności badaczy recenzując publikacje naukowe, była zapraszana do wygłaszania seminariów w szeregu instytucjach, wygłaszała liczne referaty konferencyjne, a ostatnio została redaktorem specjalnego wydania czasopisma „Atmosphere” na temat turbulencji atmosferycznej.

Ocena osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych

Na podstawie przedstawionej mi dokumentacji stwierdzam, że dr inż. Marta Waclawczyk wykazuje znaczące doświadczenie i osiągnięcia dydaktyczne. Opiekowała się 7 pracami magisterskimi na Politechnice Gdańskiej, TU Darmstadt, Afrykańskim Instytucie Matematycznym (AIMS), aktualnie prowadzi opiekę nad magisterium studentów Wydziału Fizyki UW. Była też promotorem pomocniczym doktoratu prowadzonego na Wydziale Fizyki UW.

W latach 2019 - 2022 dr Waclawczyk prowadziła liczne zajęcia dydaktyczne, zarówno specjalistyczne dla studentów IGF UW, jak i podstawowe na pierwszych latach studiów:

- Matematyka I, ćwiczenia – semestr zimowy 2019/2020
- Statistical Physics A, ćwiczenia – semestr zimowy 2019/2020
- Turbulence and atmospheric boundary layer - semestr zimowy 2019/2020
- Turbulence and atmospheric boundary layer - semestr letni 2019/2020
- Kurs Fizyka na start, poziom zaawansowany, wrzesień 2020
- Matematyka I, ćwiczenia – semestr zimowy 2020/2021
- Statistical Physics A, ćwiczenia – semestr zimowy 2020/2021
- Turbulence and atmospheric boundary layer - semestr letni 2020/2021

Długa lista zaproszonych wykładów i prezentacji konferencyjnych świadczy o nieustającej aktywności naukowej. Zwraca też uwagę jej działalność popularyzująca naukę, od aktywnego uczestnictwa w festiwalach nauki po współpracę z portalem „Zapytaj Fizyka” i publikację tekstu w periodyku „Fizyka w szkole”, oraz aktywność organizacyjna, od prac przy konferencjach naukowych, po działania środowiskowe w Sekcji Mechaniki Płynów KM PAN i w Radzie Wydziału Fizyki UW.

Wniosek końcowy

We wszystkich obszarach działalności akademickiej – od badań naukowych, przez dydaktykę i działania organizacyjne, po pozyskiwanie środków finansowych – moja ocena wniosku dr inż. Marty Waclawczyk jest pozytywna. Działalność Habilitantki w obszarze naukowym ma wyraźnie interdyscyplinarny charakter. Jej osiągnięcia zostały wyróżnione licznymi prestiżowymi nagrodami nadanymi przez znaczące instytucje naukowe, co pozwala jednoznacznie stwierdzić, że sylwetka naukowa Kandydatki jest w środowisku akademickim rozpoznawalna i wysoko ceniona, a jej wkład w rozwój wiedzy jest istotny i stanowi wzór dla innych pracowników naukowo-dydaktycznych. Na podstawie przygotowanego autoreferatu można stwierdzić, że dr inż. Marta Waclawczyk jest wybitnym specjalistą w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w szczególności w dyscyplinie nauk fizycznych.

Podsumowując, uważam dorobek dr inż. Marty Waclawczyk za wyróżniający się. Jest osobą, która swoją pasją badawczą stara się zarażać młodszych pracowników uczelni i studentów, co jest niezwykle cenne. Jej działalność naukową i dydaktyczną oceniam jako wybitną.

Stwierdzam, że dr inż. Marta Waclawczyk spełnia wymogi stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauk fizycznych.

Tomasz Kowalewski