

**Recenzja – ocena osiągnięcia naukowego i istotnej działalności naukowej
dra Pawła Kankiewicza
w związku z wnioskiem o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego**

W skład wzmiankowanego w tytule osiągnięcia naukowego, które dalej będę nazywał rozprawą habilitacyjną lub rozprawą, wchodzi pięć artykułów opublikowanych w międzynarodowych czasopismach naukowych (z których jedno – *Acta Astronomica* – wydawane jest w Polsce), oznaczonych jako H1 – H5. We wszystkich publikacjach wchodzących w skład rozprawy pierwszym autorem jest dr Kankiewicz, przy czym w artykule H4 jest autorem jedynym (w pozostałych współautorem jest prof. I. Włodarczyk). Należy odnotować to in plus dla kandydata w sytuacji, gdy z roku na rok artykuły naukowe podpisywane są przez coraz większą liczbę współautorów.

Przedmiotem rozprawy jest *Dynamika małych ciał na orbitach wstecznych*. Autor postawił sobie za cele badawcze (1) dobór metod badawczych do śledzenia długookresowej ewolucji orbit wstecznych małych ciał Układu Słonecznego, (2) zbudowanie modeli dynamicznych powiązanych z obserwacjami i efektami niegrawitacyjnymi w ruchu tych ciał, (3) zbadanie czasów życia ciała na orbitach wstecznych w Układzie Słonecznym, (4) zbadanie obecności czynnika chaotycznego w ich ruchu oraz (5) zbadanie prawdopodobieństwa powstawania orbit wstecznych wskutek inwersji orbit prostych. Realizacja tych celów opisana jest w artykułach H1–H5 i zrekapitulowana w dobrze napisanym autoreferacie.

Wydaje się, że samo sformułowanie celów badawczych, jak ujął je autor rozprawy, nie jest do końca szczęśliwe. Zasadniczym celem było zbadanie dynamiki małych ciał na orbitach wstecznych, w tym zrozumienie (czy też zbliżenie się do zrozumienia) mechanizmu powstawania takich orbit w sytuacji, gdy są uzasadnione podejrzenia, że czas życia na takich orbitach jest krótki. Aby ten cel zrealizować, oczywiście trzeba dobrać odpowiednie metody badawcze, ale przecież nie one same w sobie są celem badawczym. Dlatego też cel (1) należy uznać za element realizacji celów (2)–(5), ale nie cel sam w sobie. Tym nie mniej pozostałe cele naukowe są istotne i dostatecznie szerokie, by spełnić ustawowe wymagania stawiane rozprawie habilitacyjnej.

W artykule H1, z punktu widzenia realizacji programu badawczego opisanego w rozprawie habilitant dobrał modele numeryczne do śledzenia orbit małych ciał w Układzie Słonecznym spośród dostępnych publicznie kodów numerycznych oraz rozwinął narzędzia do generowania pęków wirtualnych orbit tych ciał na podstawie niepewności rzeczywistych parametrów orbitalnych, wynikających z wyznaczenia ich orbit, a także narzędzia do szacowania obecności chaosu w ich ruchu mierzonego wykładnikami Lapunowa. W przewodniku rola tej pracy przedstawiona jest jako dobór i opracowanie narzędzi. Jednak artykuł ten nie jest cytowany w żadnym z pozostałych artykułów tworzących rozprawę, a habilitant pisze, że same narzędzia wymagały dalszego dostosowania i aktualizowania w trakcie pracy. W tym ostatnim fakcie nie ma nic dziwnego ani zaskakującego, ale to, że sam artykuł nie jest cytowany dalej wydaje się świadczyć, że uzyskane z nim wyniki nie miały wielkiego znaczenia dla realizacji pozostałych prac i włączenie H1 do rozprawy nie było niezbędne. Nie umniejsza to wartości artykułu samej w sobie, którego głównym tematem było badanie stabilności małych ciał przekraczających orbitę Marsa.

W artykule H2 autorzy przebadali czasy życia planetoid na orbitach wstecznych. Artykuł ten spotkał się z największym jak dotąd oddźwiękiem w społeczności badaczy dynamiki małych ciał Układu Słonecznego spośród artykułów włączonych do habilitacji i w chwili sporządzania tej recenzji cytowany był 12 razy. Za szczególnie wartościowe i słuszne z punktu widzenia metodologii badań naukowych uważam uwzględnienie w tym studium efektów niegrawitacyjnych w ruchach badanych ciał i ich potencjalnego wpływu na czas życia badanych obiektów. Problem polegał na tym, że dla dokładnego uwzględnienia efektów niegrawitacyjnych potrzebne są dane o kształcie ciała oraz okresie i położeniu jego osi obrotu, a także jego model cieplny. Jednak dla niemal wszystkich badanych ciał dokładnych wartości tych parametrów nie ma. Jak słusznie wskazują autorzy artykułu H2, w takiej sytuacji nie należy po prostu zaniedbywać efektów niegrawitacyjnych, lecz podjąć próbę zbadania przynajmniej potencjalnego ich wpływu na orbitalny czas życia poprzez symulacje na siatce rozsądnie dobranych wartości. To właśnie podejście zostało opracowane w pracy H2, i następnie zastosowane w H3—H5. Artykuł H2 należy uznać za pomyślną realizację celu naukowego (2).

Oszacowanie czasu życia małych ciał (cel naukowy 3), szczególnie tych na orbitach wstecznych, nie jest łatwe ze względu na niekiedy dość znaczną niepewność parametrów orbitalnych. Z punktu widzenia zasadniczego celu naukowego rozprawy, jakim jest znalezienie mechanizmu odwracania orbit, sytuację dodatkowo komplikuje fakt, że małych ciał na orbitach wstecznych znanych jest stosunkowo niewiele, a w dodatku część z nich to „zwykłe” komety. Niewielka statystyka utrudnia wyciągnięcie dobrze uzasadnionych statystycznie wniosków.

W tej sytuacji habilitant posłużył się dobrze znaną metodą klonowania orbit obiektów o orbitach wyznaczonych z dostatecznie dużej liczby obserwacji, będącą w istocie odmianą metody Monte Carlo: na podstawie założenia normalnie rozłożonych niepewności parametrów orbitalnych losuje ich zbiory, służące jako parametry początkowe do symulacji zachowania się orbit, a w szczególności czasów życia na tych orbitach; ocena kończy się wyznaczeniem czasu życia licznego jako czas, po którym 50% klonów wyrzuconych zostanie na orbity hiperboliczne.

Ten sposób oceny wymaga moim zdaniem trochę głębszej dyskusji, której nie znalazłem w pracach włączonych do rozprawy. Czy niepewności parametrów orbitalnych są ze sobą skorelowane, czy nie? Wydaje się, że założeniem poczynionym przez habilitanta było, że są nieskorelowane. Bez osobistego wykonania dopasowania parametrów orbitalnych trudno o macierz korelacji parametrów, jeśli nie została ona opublikowana wraz z parametrami orbitalnymi i do dyspozycji są wyłącznie niepewności poszczególnych parametrów, ale w zasadzie przy losowaniu parametrów klonów należałoby wziąć pod uwagę te korelacje, bo korelacja parametrów oznacza, że pewne ich kombinacje są bardziej prawdopodobne niż inne i to powinno być wzięte pod uwagę przy losowaniu parametrów klonów. Dobór parametrów klonów mógł mieć wpływ na szacunek czasów życia. Ten aspekt powinien zostać przedstawiony jeśli nie w samym artykule, to przynajmniej w przewodniku. Generalnie jednak wydaje się, że zastosowana metoda analiza czasów życia i wnioski wyciągnięte na podstawie jej zastosowania są poprawne; skorzystanie z mediany, a nie średniej jako estymatora czasów życia należy w tym kontekście uznać za słuszne.

Uzyskane czasy dynamiczne porównane zostały z czasami Lapunowa, czyli obrazowo mówiąc z czasami, po których ruch się „chaotyzuje”. Okazało się, że czasy dynamiczne i czasy Lapunowa niekoniecznie są ze sobą skorelowane, gdyż orbita może wykazywać cechy chaotyczności, ale w stabilny sposób pozostawać związana ze Słońcem. Efekt ten był już opisany w literaturze, na co wskazuje sam habilitant. Wskazuje to na potrzebę starannej analizy czasów życia i mierzenia ich różnymi miarami. W artykule H5 przeanalizowano niektóre przypadki znacznych rozbieżności między czasami dynamicznymi a chaotycznymi i stwierdzono, że za zmiany reżimu dynamicznego i w konsekwencji stabilności w sensie Lapunowa mogą być odpowiedzialne efekty niegrawitacyjne, czyli w zbadanym

przypadku efektu Jarkowskiego., co przedstawiono w H5. W pracy wskazano jednak, że oprócz efektu Jarkowskiego równie istotne znaczenie z punktu widzenia stabilności orbit mogą być efekty niegrawitacyjne typu kometarnego. Choć w rozprawie autor zajmował się głównie planetoidami, to rozważanie w ich kontekście efektów niegrawitacyjnych typu kometarnego ma sens, gdyż coraz więcej jest opisanych przypadków wykrycia aktywności kometopodobnej w ciałach uznawanych za planetoidy i granica między tymi dwoma rodzajami ciał Układu Słonecznego bywa nieostra. Generalnie w tej części rozprawy wysnuto wniosek, że efekty niegrawitacyjne mogą mieć kluczowe znaczenie przy określaniu przyszłych losów danego ciała i w śledzeniu jego historii dynamicznej. Wniosek ten, jak się wydaje słuszny, rzutuje na badanie scenariuszy powstawania orbit wstecznych, gdyż efekty niegrawitacyjne bardzo trudno przewidzieć bez posiadania jakichś wskazań opartych na obserwacjach, a to z kolei wymaga długich i szczegółowych obserwacji poszczególnych obiektów, których obecnie zwykle nie ma.

Z tym zastrzeżeniem autor podjął statystyczne badanie możliwych scenariuszy powstawania orbit wstecznych przez odwrócenie orbit prostych wskutek perturbacji planetarnych. Zastosował metodę analizy klonów orbit rzeczywistych obiektów z wariacjami parametrów zbliżonymi do rozkładu niepewności obserwacyjnych ich parametrów orbitalnych i badał zarówno samo prawdopodobieństwo odwrócenia orbity (czyli zmiany jej nachylenia do wartości przekraczających 90°) jak i czas życia na tych wstecznych orbitach. Wynik oparty o dostępną niezbyt liczną statystykę 39 ciał wskazuje, że odwracanie orbit przez perturbacje planetarne jest mniej wydajne niż wskazuje na to liczba zaobserwowanych orbit wstecznych, co sugeruje, że dynamika małych ciał (w każdym razie ta zastosowana w badaniu) nie do końca precyzyjnie opisuje rzeczywistość. Wniosek ten nie jest zaskakujący biorąc pod uwagę podniesione przez autora znaczenie efektów niegrawitacyjnych, których dokładne ilościowe oszacowanie jest na razie niemożliwe w stosunku do poszczególnych obiektów ze względu na brak danych.

Efektom prac wykonanych przez habilitanta jest stworzenie środowiska do badania numerycznego orbit małych ciał w Układzie Słonecznym, w tym na orbitach wstecznych, mogące służyć do ilościowego szacowania zachowań chaotycznych. Środowisko to zostało przez autora zastosowane do wypracowania wyników stanowiących jądro osiągnięcia habilitacyjnego. Same wyniki nie mają charakteru przełomowego, o co nie można mieć do habilitanta pretensji. Przeprowadzone badania zostały dobrze zaplanowane i zrealizowane, a wysnute wnioski są oryginalne. Prace wchodzące w skład rozprawy tworzą spójną całość i realizują cele badawcze nakreślone w rozprawie.

Udział habilitanta w uzyskaniu wyników, jak można ocenić na podstawie oświadczeń jego samego i jedyne go współautora czterech spośród pięciu prac wchodzących w skład rozprawy, jest dominujący. Dr. Włodarczyk wykonywał przede wszystkim obliczenia numeryczne orbit i współdziałał przy wyznaczaniu parametrów orbitalnych, natomiast pozostałą część pracy, włącznie z opracowaniem koncepcji i zaplanowaniem badania wykonał dr Kankiewicz. Tak więc habilitant wykazał znaczną samodzielność naukową i potrafi prowadzić pracę naukową na wysokim poziomie merytorycznym.

Artykuły wchodzące w skład rozprawy opublikowane zostały w czasopiśmie astronomicznym o zasięgu światowym, w tym w dwóch (MNRAS i A&A) cieszących się bardzo wysoką renomą. Jestem przeciwnikiem oceniania wartości artykułu naukowego na podstawie rangi czasopisma, w którym się ukazał. Czasopismo, moim zdaniem, ma znaczenie o tyle, o ile liczne jest grono jego czytelników: publikując w poczytnych czasopiśmie autor zwiększa szansę na dotarcie ze swoim przekazem do większego grona odbiorców. Miarą zainteresowania wynikami i przydatności ich w badaniach prowadzonych przez innych badaczy są cytowania. Tych niestety nie ma za dużo, przynajmniej na razie. Artykuły tworzące rozprawę habilitacyjną dotychczas cytowane były 22 razy, z czego H2 12 razy. Dwie ostatnie prace ukazały się dość niedawno i w poczytnych czasopiśmie, więc być może wzbudzą jeszcze zainteresowanie szerszego grona odbiorców. Wydaje się jednak, że jedną z przyczyn niezbyt

dużego zainteresowania społeczności tymi wynikami jest niedostateczne rozpropagowanie ich na konferencjach międzynarodowych, szczególnie zagranicznych. Habilitant dość często prezentował swoje wyniki na konferencjach organizowanych w kraju, jednak polskie środowisko jest niestety dość ograniczone liczebnie. Astronomia jest nauką uniwersalną, a prezentacji dotyczących tematyki habilitacji w wykonaniu habilitanta naliczyłem zaledwie siedem od 2004 roku. Również publikacja części wyników w mniej poczytnym czasopiśmie, jakim jest *Planetary & Space Science*, nie sprzyja szerokiemu odbiorowi wyników, a szkoda, bo przykład publikacji H2 i H5 wykazuje, że najważniejsze czasopisma astronomiczne są zainteresowane tematyką podniesioną w rozprawie.

Dr Kankiewicz jest doświadczonym i aktywnym badaczem, zaangażowanym w kilka projektów naukowych spoza bezpośredniego zakresu tematycznego habilitacji, co niewątpliwie zaliczyć należy na plus. Pełni w nich jednak role pomocnicze. Lista pozostałych publikacji naukowych, w których jest współautorem, wg bazy ADS obejmuje 19 pozycji, łącznie cytowanych 155 razy, co nie jest osiągnięciem imponującym, lecz moim zdaniem należy uwzględnić przy ocenie znaczne obciążenie dydaktyczne habilitanta (prowadził 15 przedmiotów, 8 wykładów kursowych, 9 ćwiczeń, 4 konwersatoria itp. w okresie 2004—2021) i organizacyjne (w tym prace przy organizacji krajowych konferencji naukowych), opiekę nad 8 magistrantami, oraz czas, jaki poświęca na popularyzację nauki. To ostatnie pole działalności warto podkreślić, gdyż obejmuje nie tylko obecność w mediach, lecz znacznie bardziej wymagające przedsięwzięcia takie jak wykłady popularnonaukowe oraz otwarte zajęcia obserwacyjne dla szerokiej publiczności oraz dla uczniów szkół średnich i podstawowych, a także grup studenckich.

Również warte podkreślenia jest opracowanie programu badawczego dla lokalnego obserwatorium astronomicznego w UJK: wdrożenie podstawowych obserwacji, zarejestrowanie teleskopu w bazach danych astronomicznych, rozbudowę jego instrumentarium oraz zaplanowanie i wdrożenie programu obserwacyjnego, którego efekty zostały opublikowane w 11 pracach (współautorstwo).

Wydaje się jednak, że wskazane by było większe otwarcie się habilitanta na współpracę nie tylko z kolegami z Polski, ale także z zagranicy i położenie większego nacisku na stworzenie własnego programu badawczego (bądź kontynuowanie obecnego, z habilitacji), jednak w szerszej koordynacji z pracami innych badaczy zajmujących się podobną tematyką. Dzięki temu możliwe by było wykorzystanie efektu synergii. Sprzyjałoby temu także bardziej aktywne staranie się o środki na te badania – jak dotąd habilitant brał udział w zaledwie trzech projektach badawczych, w żadnym z nich jako kierownik projektu.

Dr Kankiewicz jest znany w swoim środowisku naukowym, o czym świadczą m.in. zlecenia recenzji artykułów składanych do druku w czasopismach naukowych – dotychczas recenzował artykuły w *Nature Astronomy*, *Journal of Physics and Astronomy*, *Advances in Astronomy* oraz w *Planetary & Space Science*. O recenzje te proszony był w ostatnich latach (od 2017), co świadczy o jego rosnącej pozycji naukowej, która wiąże się z pierwszoautorskimi publikacjami. Jest również zapraszany do krajowych ciał powoływanych do oceny aplikacji – dwie kadencje w panelu powołanym przez ministra właściwego do spraw nauki do oceny aplikacji o stypendia dla wybitnych młodych naukowców.

Uważam, że przedstawiona przed dra Kankiewicza rozprawa spełnia formalne i zwyczajowe wymagania stawiane przed pracą habilitacyjną. On sam jest samodzielnym uczonym, prowadzącym ciekawe badania naukowe, aktywnym nauczycielem akademickim oraz zaangażowanym i bardzo skutecznym katalizatorem życia naukowego i popularyzacji astronomii. Moim zdaniem nadanie mu stopnia doktora habilitowanego jest w pełni uzasadnione i stanowić będzie formalne potwierdzenie tego stanu rzeczy.

dr hab. Maciej Bzowski