



prof. dr hab. Mariusz P. Dąbrowski

**Instytut Fizyki
Uniwersytet Szczeciński**

ul. Wielkopolska 15, 70-451 Szczecin
tel. (+48) 91 4441248; fax: (+48) 914441427
<http://cosmo.usz.edu.pl/mdabrowski>

Mariusz.Dabrowski@usz.edu.pl

Szczecin, 12.08.2022

***Ocena osiągnięcia naukowego pt.
„Eksperymentalne sygnatury kosmologicznych przemian fazowych”
przedstawionego do postępowania habilitacyjnego oraz dorobku naukowego,
dydaktycznego i organizacyjnego dra Marka Lewickiego***

I. Ocena osiągnięcia naukowego, o którym mowa w art. 219 ust. 1, pkt. 2 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018.

Dr Marek Lewicki przedstawił jako osiągnięcie naukowe cykl siedmiu (H1-H7) jednotematycznych publikacji dotyczących astrofizyki cząstek i kosmologii. Jest to cykl współautorski (m.in. wspólny ze znanym fizykiem Johnem Ellisem z King's College London), w którym zgodnie z przedstawionymi oświadczeniami konkretnie opisany jest jakościowy wkład Habilitanta. Są to prace najwyżej kilkuautorskie (maks. 4 autorów) z alfabetycznym układem nazwisk, więc bez wątplenia dr Lewicki musiał odegrać istotną, jak nie kluczową, rolę przy ich tworzeniu.

Korzystając z przedstawionych w autoreferacie danych (sprawdzonych przeze mnie niezależnie w bazach INSPIRE oraz NASA-ADS) całkowita liczba cytowań przedstawionego cyklu wyniosła niemal 600 cytowań i wydaje się stale rosnać.

Natomiast patrząc na całkowity dorobek habilitanta wraz ze współautorami oceniany odbiorem środowiska fizyków i astronomów, to osiąga on ponad 2000 cytowań z indeksem Hirscha $h=24$ (wg bazy INSPIRE na 58 prac w dorobku), ponad 1800 cytowań z indeksem Hirscha $h=22$ (wg bazy NASA-ADS na 57 prac). Baza Web of Science (dla 41 prac w dorobku) podaje natomiast ponad 1500 cytowań (bez autocytowań) i $h=17$ (lipiec 2022). Są to bez wątplenia wyniki znacznie przekraczające poziom przeciętnej habilitacji.

Aby dokładnie przyjrzeć się wkładowi własnemu Habilitanta do osiągnięcia naukowego, należy przeanalizować oświadczenia współautorów. Jest ich zasadniczo trzech: John Ellis, Jose No i Ville Vaskonen. Wkład J. Ellisa jest określony jednoznacznie jako koordynacja oraz pomoc w pisaniu pracy. Wkład J. No w pracach H4 i H7 dotyczy przeprowadzenia analiz przejść fazowych i korelacji natomiast w H6 polegał wyłącznie na pisaniu pracy. Jeśli chodzi o V. Vaskonena, to

faktycznie jego wkład w każdą pracę (H1-H3, H5, H6) jest znaczący i polegał na różnych obliczeniach analitycznych i numerycznych. Zatem na podstawie oświadczeń współautorów oraz opisem habilitanta można jednoznacznie wywnioskować, że wkład dr Lewickiego w prace (H1-H7) był znaczący, a nawet dominujący.

Astrofizyka cząstek w połączeniu z kosmologią obserwacyjną są obecnie jednymi z najbardziej burzliwie rozwijających się dziedzin nauki. Urządzenia obserwujące Wszechświat sięgają coraz głębiej (dalej) w czasie i przestrzeni, a czułość przyrządów rośnie z roku na rok. Pojawiają się mniej lub bardziej futurystyczne projekty obserwacji bardzo wczesnych etapów ewolucji Wszechświata za pomocą teleskopów grawitacyjnych i elektromagnetycznych. Panujące wówczas warunki pozwalały na realizację najbardziej wyrafinowanych procesów fizyki cząstek elementarnych, takich jak przejścia fazowe od stanu fałszywej do stanu prawdziwej próżni fizycznej, które pozostawiają trwałe ślady w późniejszej strukturze Wszechświata. Te ślady są śledzone obecnie nie tylko za pomocą teleskopów elektromagnetycznych, ale także za pomocą teleskopów grawitacyjnych, czy jak do tej pory je nazywaliśmy – detektorów fal grawitacyjnych. Te detektory mogą sięgać znacznie bliżej początku Wszechświata niż jakikolwiek teleskop elektromagnetyczny i to nowe „okno” powinno być dobrze wykorzystane dla poznania zjawisk zachodzących w tej fazie ewolucji.

W ten nurt badań wpisuje się osiągnięcie przedstawione przez dr Marka Lewickiego, który zajął się wpływem tunelujących do stanu niżej energetycznej próżni pól fizycznych tworzących nową fazę w postaci rozszerzających się bąbelków. Samo generalnie sferycznie symetryczne rozszerzanie się bąbli nie produkuje żadnego widzialnego do dzisiaj śladu, natomiast zderzenia ścian bąbli produkują charakterystyczne spektrum fal grawitacyjnych, które można zaobserwować. Inne zjawiska, takie jak propagacja fal akustycznych w płazmie oraz turbulencje w płazmie także są rozważane jako źródła fal grawitacyjnych. Zatem Habilitant w szerokim obszarze badań kosmosu wpisuje się w ważny nurt rozważań, mających konkretne konsekwencje obserwacyjne.

Aby nie być gołosłownym, należy skomentować zawartość prac H1-H7 przedstawionych jako osiągnięcie i podjąć ich krytyczną ocenę.

Chronologicznie patrząc, należy zacząć od pracy H1, w której zbadana została produkcja fal grawitacyjnych w silnie przechłodzonej przemianie fazowej w teorii cechowania $U(1)$ z potencjałem konforemnej skalarnej elektrodynamiki. Za pomocą symulacji na sieci liczone były najpierw zderzenia dwóch bąbli nowej fazy w celu wyskalowania źródła fali grawitacyjnej dla późniejszych obliczeń zderzeń wielu bąbli. Nowością jest, iż otrzymane spektrum fal grawitacyjnych daje gęstość energii fal grawitacyjnych inną niż tzw. przybliżenie kopertowe (ang. envelope approximation) zarówno dla małych jak również dla dużych częstości fal, osiągając maksimum wówczas, gdy częstość i parametr nukleacji bąbla są w przybliżeniu sobie równe.

Kolejna praca H2, rozszerza rozważania związane z produkcją fal grawitacyjnych w przechłodzonych przejściach fazowych na teorię cechowania $U(1)_{B-L}$, która jest rozszerzeniem modelu standardowego zawierającym bozon cechowania Z' , trzy prawoskrętne neutrina oraz

jedno zespolone pole skalarne. Nowością jest tutaj założenie kwadratowej, a nie liniowej, zależności tarcia od czynnika Lorentza w trakcie ewolucji ściany bąbla. Przy małym współczynniku rozpadu - łamiącego symetrię pola skalarnego - pojawia się dodatkowa faza dominacji materii podczas ewolucji wszechświata, co powoduje powstanie charakterystycznego płaskiego („plateau”) spektrum generowanych fal. Ten sygnał w niskich częstotliwościach może być zaobserwowany w planowanym do umieszczenia w przestrzeni kosmicznej detektorze LISA (Laser Interferometer Satellite Antena), a także w detektorach AION/MAGIS (an Atom Interferometer Observatory and Network/Mid-band Gravitational wave detection with precision atomic Sensors) i AEDGE (Atomic Experiment for Dark matter and Gravity Exploration in space) oraz w obserwatorium naziemnym fal grawitacyjnych LIGO i Teleskopie Einsteina (ET).

W pracy H3 obliczono efektywność produkcji fal grawitacyjnych w zderzeniach bąbli w silnie przechłodzonej przemianie fazowej z zaniedbywalnym tarciem w płazmie. W tym celu użyto zespolonego pola skalarnego z potencjałem o symetrii $U(1)$. Do tego założono przybliżenie cienkich ścian bąbli i przeprowadzono obliczenia dla wielu zderzeń tych bąbli. Okazało się, iż wyprodukowane spektrum fal grawitacyjnych dla niskich częstotliwości jest wprost proporcjonalne do częstotliwości (pole zespolone) lub do trzeciej potęgi częstotliwości (pole rzeczywiste), a dla wysokich częstotliwości jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu częstotliwości, czyli systematycznie zanika. Ciekawostką jest, iż ściany bąbli przed zderzeniem a nawet po zderzeniu, poruszają się niemal z prędkością światła. Jest to obecnie najlepiej cytowana praca spośród zawartych w cyklu.

Jeśli chodzi o pracę H4, to został w niej wykonany przegląd ogólnych parametryzacji dla przejść fazowych pierwszego rodzaju w modelach cząstek elementarnych. Zwrócono uwagę szczególnie na modele z potencjałami wielomianowymi zawierającymi, lub nie zawierającymi, barierę potencjału przy zerowej temperaturze oraz na potencjały Colemana-Weinberga dające niezależne od skali spektrum zaburzeń. Rozważono mechanizm turbulencji i powstawanie fal dźwiękowych jako źródła fal grawitacyjnych podczas przejścia fazowego w trzech scenariuszach: detonacji, gwałtownego spalania (deflagracji) i hybrydowym. Jak udowodniono, generacja fal grawitacyjnych następuje po dłuższym czasie w przypadku modeli z barierą potencjału w zerowej temperaturze, co sygnalizuje znaczne przechłodzenie starej fazy podczas przejścia fazowego. Ten wynik został poddany analizie w kontekście możliwości jego obserwacji w przyszłych eksperymentach grawitacyjnych takich jak LISA, ET oraz AEDGE, wspomnianych już przy okazji omawiania wyników pracy H2.

W pracy H5 rozważane jest zderzenie dwóch bąbli w silnie przechłodzonej przemianie fazowej. Pod uwagę wzięto pole skalarne Φ z wielomianowym potencjałem czwartego rzędu z jednym globalnym minimum w $\Phi = 0$ oraz lokalnym minimum w $\Phi = v = \text{const}$. W wyniku symulacji okazało się, iż w zderzeniu 2 bąbli, pole może albo powrócić („odbić się”) z powrotem do stanu fałszywej próżni albo oscylować wokół stanu prawdziwej próżni w zależności od współczynnika a wielomianu potencjału (a duże - „odbicie”, a małe - oscylacje). Zbadana została tutaj dokładnie możliwość powstawania czarnych dziur (jako ewentualnego kandydata dla ciemnej materii), ale – w przeciwieństwie do wcześniejszych prac innych autorów w tym temacie – została ona wyeliminowana.

W pracy H6 ponownie wracamy do rozszerzonego modelu standardowego z symetrią cechowania $U(1)_{B-L}$ (patrz H2) wraz z jego rozszerzeniem na dodatkowy człon z nierormalizowalnym oddziaływaniem typu $|H|^6$, które jak się okazuje, produkuje zaniedbywalną ilość fal grawitacyjnych podczas kolizji bąbli nowej fazy. Istotnym nowym wynikiem jest, iż okres dominacji fal dźwiękowych jest krótszy od czasu Hubble'a – to w przeciwieństwie do poprzednio uzyskanych wyników w literaturze. W pracy przedstawiono też sporą dyskusję teoretyczną zjawisk dotyczących energii zgromadzonej w bąblach nowej fazy oraz wymienionych powyżej rozszerzonych modeli cząstek elementarnych.

Ostatnia praca cyklu H7 poświęcona jest scenariuszowi, w którym następuje silna przemiana fazowa pierwszego rodzaju i uwzględnione jest dodatkowe pole skalarnie w modelu standardowym (SM) mogącym pełnić rolę ciemnej materii. Okazuje się, iż w tym scenariuszu duża część uwolnionej w przemianie energii prowadzi do powstania turbulencji w plaźmie, które mogą mieć widmo podobne do widma fal dźwiękowych dając interesujące konsekwencje fizyczne. Innym ciekawym wynikiem jest to, że potencjały wielomianowe, pomimo iż utrzymują barierę potencjału nawet w zerowej temperaturze, niestety prowadzą do problemów z perkolacją, tym samym zatrzymując przemianę (bąbel osiąga jedynie skończony rozmiar we współrzędnych konforemnych).

Reasumując powyższe rezultaty zawarte w pracach H1-H7, chciałbym zwrócić uwagę na ich wszechstronność (teoria, eksperyment), różnorodność i klarowność przedstawienia. Czytając prace, miałem ochotę dużo bardziej wgłębić się w przedstawiane tam zagadnienia, a nawet przeprowadzić niezależne obliczenia sprawdzające, ale ze względu na stosunkowo krótki okres czasu jaki pozostaje na napisanie recenzji, było to raczej niemożliwe.

W podsumowaniu mogę wskazać, iż całość rozprawy (jak opisano w autoreferacie) składa się na jeden ciąg logiczny. Rozpoczyna się od analizy dynamiki przejść fazowych pierwszego rodzaju dla różnych modeli cząstek elementarnych. Potem jest analiza energetyczna zjawisk tam zachodzących (kolizje ścian bąbli, fale akustyczne i turbulencje w plaźmie) i dalej obliczenie spektrum fal grawitacyjnych jakie mogą być wyprodukowane w tego typu zjawiskach. W końcu, Habilitant proponuje jakimi narzędziami badawczymi (teleskopy i eksperymenty) można osiągnąć skale pozwalające na udowodnienie realności tych zjawisk. Całość jest faktycznie zgodna z tytułem rozprawy jako przedstawienia eksperymentalnych (obserwacyjnych) konsekwencji zachodzenia *wciąż hipotetycznych* przejść fazowych związanych z łamaniem symetrii pomiędzy cząstkami elementarnymi we Wszechświecie. Niewątpliwie, pierwsza obserwacja tego typu, będzie przełomowym potwierdzeniem słuszności modeli przejść fazowych na wczesnych etapach ewolucji.

Spośród innych osiągnięć Habilitanta, które zwróciły moją szczególną uwagę, są badania spektrum fal grawitacyjnych będących następstwem powstania sieci defektów topologicznych – strun kosmicznych – podczas przejścia fazowego łamiącego symetrię $U(1)$ we wczesnym Wszechświecie. Tym bardziej, że zagadnieniem jako młody naukowiec zajmowałem się już w latach 80-tych XX wieku wzbudzając uśmieški na ustach ówczesnych relatywistów i kosmologów, jako tematu zupełnie abstrakcyjnego. Badania dr M. Lewickiego dobitnie

wskazują, iż istnieje sposób na wykrycie (być może nieco wytłumionej) sieci strun, poprzez wytwarzany przez nią charakterystyczny sygnał fal grawitacyjnych. Dr Lewicki przewiduje w swojej (nota bene wzbudzającej ogromne zainteresowanie środowiska fizyków oraz społeczeństwa) niedawnej pracy O1, iż struny kosmiczne najlepiej dopasowują się do źródeł produkujących stochastyczne tło fal grawitacyjnych, które mogą być wykryte przez przyszły teleskop NANOGrav.

Na uwagę zasługuje też zaangażowanie dr M. Lewickiego w eksperymenty i misje kosmiczne mające na celu wykrywanie fal grawitacyjnych (AION, AEDGE, LISA, Teleskop Einsteina). Spośród nich mnie osobiście fascynuje projekt LISA, który znam już od lat 90-tych i wciąż oczekuję uruchomienia. Nie wspomnę, iż do całkiem niedawna (ok. 2015) duża grupa fizyków których znałem, całkowicie wątpiła w istnienie fal grawitacyjnych, a obecnie jest to niezwykle dynamicznie rozwijająca się dziedzina badań eksperymentalnych (lub raczej obserwacyjnych), w którą wchodzi coraz większa grupa młodych naukowców takich jak dr Lewicki. Swoją drogą ciekawym byłoby wyobrażenie sobie czym zajmowałby się Habilitant, jeśli nie doszłoby do odkrycia fal grawitacyjnych?

Reasumując, po dokonaniu powyższej analizy, a także biorąc pod uwagę oświadczenia zarówno Habilitanta jak i współautorów mogę stwierdzić, że dr M. Lewicki ma wystarczający wkład w przedstawionym do oceny osiągnięciu naukowym i wobec tego spełniony jest warunek formalny autorstwa tego osiągnięcia. Opisane osiągnięcie stanowi znaczący wkład habilitanta w rozwój astrofizyki cząstek i kosmologii, i bez wątpienia może służyć jako podstawa do nadania stopnia doktora habilitowanego.

II. Ocena aktywności naukowej, o której mowa w art. 219 ust. 1, pkt. 2 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018.

Aktywność naukowa dr Macieja Bilickiego obejmuje również inne badania, których wyniki zostały opublikowane w 33 artykułach listy A MEiN (ponumerowane od O1 do O33), przy czym imponująca liczba 17 z nich, zostało napisanych w trakcie przygotowywania doktoratu.

W obszarze aktywności naukowej istotnym elementem dorobku jest też fakt, że dr Marek Lewicki kierował 3 zakończonymi projektami badawczymi dla początkujących badaczy a obecnie kieruje dwoma poważnymi projektami dla dojrzałych naukowców (NAWA Polskie Powroty, SONATA) rozciągających się na wielomilionowe budżety.

Istotnym elementem kariery dr M. Lewickiego były kilkuletnie pobyty zagraniczne w charakterze postdoka w dwóch ośrodkach naukowych: Uniwersytet w Adelajdzie (Australia) oraz King's College w Londynie (UK).

Z tymi wyjazdami oraz ogólną aktywnością Habilitanta wiąże się fak wygłoszenia 36 referatów, seminariów itp. na prestiżowych konferencjach oraz w znakomitych ośrodkach naukowych takich jak CERN, Argonne National Laboratory (USA), Kavli Institute w Santa Barbara (USA), Uniwersytet Cambridge (UK), Uniwersytet Sussex (UK), Uniwersytet Southampton (UK) itd.

W mojej opinii, przedstawione powyżej dowody aktywności naukowej Habilitanta świadczą o nabyciu przez Niego zaawansowanej wiedzy i wyspecjalizowanych umiejętności gwarantujących prowadzenie oryginalnych badań naukowych na wysokim poziomie w zakresie astrofizyki cząstek i kosmologii.

W tym miejscu chciałbym jednak przedstawić moją uwagę, która powtarza się już w kolejnej napisanej przeze mnie recenzji rozprawy habilitacyjnej. Otóż brakuje mi w niewątpliwie imponującym dorobku samodzielnej publikacji Habilitanta. Pisząc recenzje rozpraw habilitacyjnych, lub uczestnicząc w komisjach habilitacyjnych, odczuwam spory niedosyt z tego tytułu, bowiem według mojego poglądu definicja „samodzielnego pracownika naukowego” (choć nie sankcjonowana ustawowo) powinna obejmować także udowodnienie umiejętności w pełni autonomicznego przygotowania swoich własnych przemyśleń, hipotez, teorii, czy też opracowań. Tym bardziej, iż w dorobku dr M. Lewickiego pojawia się wiele publikacji kilkautorских od których jest już blisko do jednoautorских. Ograniczona liczba współautorów i klarowny wydzźwięk oświadczeń w tym przypadku ułatwia ocenę – na szczęście nie jest to bowiem ocena dorobku zawartego w dużych wieloautorских współpracach, która jest jeszcze bardziej skomplikowana.

W nawiązaniu do punktów oceny oraz do p. 6.2 autoreferatu znalazłem informację o tylko jednym wyróżnieniu dla Habilitanta jakim było stypendium ministra nauki z 2015 roku. Dziwi mnie trochę, iż na tę skalę dorobku naukowego nie ma innych wyróżnień (jeśli oczywiście nie liczyć przyznanych prestiżowych grantów jako wyróżnienia).

Mam niestety sporo uwag redakcyjnych dotyczących zaprezentowanego autoreferatu w języku polskim. Wstęp (rozdz. 4.3) wygląda jakby był mechanicznym tłumaczeniem za pomocą Google Translator tekstu z języka angielskiego (pozwoliłem sobie czytać wersję polską ponieważ obowiązuje ustawa o języku polskim i także recenzję byłem zobligowany napisać w tym języku). Czasami naprawdę trudno jest zrozumieć o co chodzi nawet dla specjalisty (np. co oznacza „zasięg częstotliwości” w przedostatnim akapicie?). Dalsze rozdziały merytoryczne już nie zawierają tylu błędów językowych i stylistycznych. To zapewne „standardowy” błąd piszących opracowania wynikający z faktu, iż wstęp jest pisany na końcu i nie starcza czasu na jego dopracowanie.

III. Charakterystyka dorobku dydaktycznego, organizacyjnego i popularyzatorskiego.

W związku z pracą w instytutach naukowych, a także zaraz po doktoracie jako postdok w Australii i Wielkiej Brytanii, najprawdopodobniej dr Marek Lewicki miał ograniczone możliwości prowadzenia regularnych zajęć dydaktycznych, chociaż miało to miejsce na Uniwersytecie Warszawskim w latach 2012-14. Niedawno wypromował tam też 1 magistranta.

Habilitant ma doświadczenie w recenzowaniu publikacji do prestiżowych czasopism z fizyki takich jak „Physical Review Letters”, „Physical Review D”, „European Physics Journal C”, „Journal of High Energy Physics”, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics” i „Springer Nature”. Nie jest jednak podana dokładna liczba wykonanych recenzji (cyt.: „liczne prace”).

Pan dr Marek Lewicki wykazał się pewną działalnością organizacyjną na rzecz nauki. Był członkiem komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji naukowej w 2021 roku oraz organizatorem seminariów z kosmologii w King's College London w latach 2019-20.

Habilitant nie przedstawił żadnej informacji na temat działalności popularyzatorskiej.

IV. Konkluzja

Osiągnięcie naukowe p. dr Marka Lewickiego pt. „Eksperymentalne sygnatury kosmologicznych przemian fazowych” *stanowi istotny wkład w rozwój zarówno kosmologii teoretycznej jak również obserwacyjnej i wraz z pozostałymi osiągnięciami przedstawionymi do oceny, zostało dobrze zauważone przez środowisko astrofizyków cząstek i kosmologów.* Stwierdzam, że to osiągnięcie wraz z innymi osiągnięciami naukowymi, w połączeniu z całym dorobkiem dydaktycznym, organizacyjnym i popularyzatorskim spełnia nawet z nadmiarem wymogi ustawowe (art. 219 ust. 1, pkt. 2 i 3 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dn. 20 lipca 2018) stawiane osobom ubiegającym się o stopień naukowy doktora habilitowanego.

