

Prof. dr hab. Andrzej Wereszczyński
Instytut Fizyki Teoretycznej
Uniwersytet Jagielloński
ul. Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków
&
Department of Applied Mathematics
University of Salamanca
Casas del Parque 2, 31008 Salamanca
&
International Institute for Sustainability with Knotted Chiral Meta Matter
Hiroshima University
Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8526

15.07.2024



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKOW

Faculty
of Physics,
Astronomy
and Applied
Computer Science

**Ocena osiągnięć naukowych dr. Francisco J. Pena-Beniteza
w związku z postępowaniem habilitacyjnym**

Moją ocenę osiągnięć naukowych dr. Francisco J. Pena-Beniteza rozpocznę od przedstawienia ogólnej charakterystyki kandydata. Następnie omówię rozprawę habilitacyjną przedstawiając tematykę badawczą i prezentując oryginalne wyniki osiągnięte przez habilitanta. W dalszej części przedstawię ocenę dorobku naukowego. Recenzję zakończę podsumowaniem.

I. Charakterystyka kandydata

Dr Francisco J. Bena-Benitez uzyskał stopień doktora fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Autonomicznym w Madrycie w roku 2013. Promotorem jego pracy doktorskiej pt. „*Anomalous hydrodynamics, from weak to strong coupling*” był prof. Karl Landsteiner. Następnie dr Pena-Benitez odbył serię staży podoktorskich w uznanych ośrodkach badawczych: University of Crete, w INFN w Perugii, w Instytucie Maxa-Plancka w Dreźnie. Obecnie, od roku 2021, jest on adiunktem w Instytucie Fizyki Teoretycznej na Politechnice Wrocławskiej.

Zainteresowania naukowe dr Francisco J. Bena-Beniteza skupiają się na fizyce, a w szczególności na termodynamice, hydrodynamice i zjawiskach transportu, w nieliniowych, często anomalnych, układach ciał stałych. W szczególności można wyróżnić dwa główne nurty badań:

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-48-90

fax +48(12) 664-49-05

e-mail:

wydzial.fais@uj.edu.pl

Fraktony czyli cząstko-podobne wzbudzenia pojawiające się w układach gdzie występuje jednoczesne zachowanie ładunku i momentu dipolowego a charakteryzujące się ograniczoną propagacją (lub jej brakiem) w niektórych kierunkach przestrzennych. Obiekty te związane są z niestandardowymi równaniami ciągłości wynikającymi z symetrii związanymi z zachowywanymi wielkościami (ładunek i moment dipolowy) i znajdują zastosowanie w fizyce materii skondensowanej np. w cieczach spinowych, kwantowym efekcie Halla czy w opisie worteksów, będących topologicznymi wzbudzeniami w nadprzewodnikach. Dodatkowo fraktony są analogiczne do *galileonów*.

Być może najważniejszą cechą fraktonów jest ich związek z tzw. *polynomial shift symmetries*. Są to symetrie względem translacji na target space (w przestrzeni pól), przy czym element translacji zawiera komponent liniowy we współrzędnej przestrzennej. Właśnie efektem takiej symetrii jest zachowanie ładunku (translacja nie zawiera zmiennej czasowej) i momentu dipolowego (co jest skutkiem występowania współrzędnej przestrzennej). Co istotne, te prawa zachowania wykluczają ruch pojedynczej naładowanej kwazi-cząstki, pozwalając jednocześnie na propagację układów związanych, np. dipoli, o zerowym ładunku całkowitym.

Półprzewodniki Weyla czyli półprzewodniki, które nie mają przerwy energetycznej, a zatem posiadają bezmasowe wzbudzenia fermionowych stopni swobody.

II. Ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe mające stanowić podstawę do nadania stopnia doktora habilitowanego Pan dr Bena-Benitez wybrał cykl czterech publikacji pt. „*Systemy z ograniczeniami kinematycznymi*”. Prace te oznaczę w mojej recenzji symbolami **PB1...PB4** zgodnie z kolejnością na stronie 3 Autoreferatu. Są to prace opublikowane w bardzo dobrych (**PB4** w PRE) oraz dobrych (**PB1, PB3** w PRR i **PB2** w Front. Phys.) czasopismach. Omówię te prace zgodnie z kolejnością ich prezentacji w osiągnięciu naukowym.

W pierwszej omawianej pracy wchodzącej w skład rozprawy habilitacyjnej, **PB3**, dr Pena-Benitez zajmuje się analizą fraktonów z perspektywy związanych z nimi symetrii i praw zachowania. Ponieważ zachowany ma być ładunek, jak i jego pierwszy moment, Pretko zaproponował opis w oparciu o uogólnione pole Maxwella (uogólniona symetria lokalna $U(1)$), gdzie standardowy cztero-potencjał jest zastąpiony przez symetryczne pole tensorowe (rzędu dwa). Teorie cechowanie wyższych rzędów (np. typu Kalb-Ramond) to intensywnie badana gałąź fizyki teoretycznej i matematycznej, gdzie wciąż szereg problemów wymaga rozwiązania lub głębszego zrozumienia. Z punktu widzenia symetrii istotnym faktem jest to, iż moment dipolowy (w odróżnieniu od ładunku) zależy od wyboru środka układu współrzędnych, tj. nie jest niezmienniczy względem translacji. Oznacza to, że prawa zachowania mieszają symetrie na target i base space (w odróżnieniu od zachowania ładunku będącego konsekwencją symetrii na target space).



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKOW

Faculty
of Physics,
Astronomy
and Applied
Computer Science

W szczególności rozważając algebrę opisującą sprzężenie transformacji na base space (translacje w czasie i przestrzeni, obroty) i transformacji generowanych przez ładunki fraktonowe (ładunek i moment dipolowy) habilitant znajduje mody Nambu-Goldstona, tj. najniższe energetycznie wzbudzenia będące tutaj wibracyjnymi stopniami swobody $n+1$ wymiarowej przestrzeni fizycznej (base space) wewnątrz $2n+2$ wymiarowej pełnej przestrzeni (uzupełnionej o „kierunki” fraktonowe).

Zidentyfikowanie goldstonowskich (bezmasowych) stopni swobody pozwoliło na podanie ogólnej postaci działania niskoenergetycznego w fazie ze złamaną symetrią (względem generatorów dla ładunku i momentu dipolowego) - r. (13), które w pewnych warunkach sprowadza się do działania Borna-Infelda dla „membrany”. W działaniu tym występuje pole skalarne oraz jego drugie pochodne.

Zaletą zaproponowanego geometrycznego opisu jest jego użyteczność w procedurze cechowania teorii fraktonowych. W szczególności jest to istotne w przypadku rozważania uogólnienia takich teorii na zakrzywione czasoprzestrzenie. Metoda jest bardzo klarowna i bazuje na wcześniej znalezionej formie Maurera-Cartana dla algebry Heisenberga. Autor znajduje koneksję, r. (18), oraz jej własności transformacyjne. Finalnym wynikiem jest działanie (26), które jest inwariantne względem dyfeomorfizmów i transformacji gauge. W granicy płaskiej przestrzeni zostaje odtworzony wynik znany w literaturze. Otrzymane działanie jest bezmasową uogólnioną elektrodynamiką.

W tym podejściu zrozumiałe staje się pewne „napięcie” pomiędzy symetrią fraktonową a krzywizną przestrzeni. Poprawna teoria wymaga wprowadzenia tzw. pól Stuckelberga (zwykle powiązanych ze złamaniem lokalnej symetrii translacyjnej). W konsekwencji w układach fraktonowych na zakrzywionej przestrzeni obserwujemy zjawisko spontanicznego złamania symetrii. Innymi słowy zakrzywiona przestrzeń prowadzi do pojawienia się masy dla pola cechowania. Jest to niewątpliwie ciekawy wynik.

Druga praca wliczona w osiągnięcie naukowe, **PB2**, jest pracą przeglądową prezentującą zbudzenia fraktonowe, a w szczególności ich symetrie, z perspektywy tzw. elastic duality.

Rozdział I i II wprowadzają fraktony i dyskutują ich związek w symetriami typu *polynomial shift symmetry*. Rozdział III jest w zasadzie powtórzeniem pracy **PB3**.

W rozdziale IV podsumowany jest związek pomiędzy tensorowymi teoriami cechowania (naturalnie występującymi w kontekście modeli z *polynomial shift symmetries* a więc z fraktonami) a efektywnym opisem modeli elastycznych w $2+1$ wymiarach. Jest bardzo ważny związek stojący za szeregiem zastosowań fraktonów w materii skondensowanej. Związek ten bazuje na obserwacji, iż teoria elastyczności, w której podstawowym stopniem swobody jest przesunięcie pola (zaburzenie sieci), posiada dualny opis w języku pola cechowania. Opis ten rozwiązuje więc na cztero-dywergencję

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11
PL 30-348 Kraków
tel. +48(12) 664-48-90
fax +48(12) 664-49-05
e-mail:
wydzial.fais@uj.edu.pl

przestrzennej części tensora napięć. Ponieważ tensor ten jest tensorem rzędu 2, dualność wymaga symetrycznego pola cechowania rzędu 2. Ładunki w takiej dualnej teorii są generowane przez defekty topologiczne. Dualność taka uogólnia się dalej na kwazi-kryształy tj. systemy gdzie pozycja atomu nie jest dowolna (kwazi-periodyczna) lecz translacyjna symetria jest złamana. Przykładem takiego układu jest sieć krystaliczna zdefiniowana przez dwie podsieci. I tym razem fraktiony są dualnym opisem defektów topologicznych w sieci.

Rozdział V poświęcony jest dynamice fraktonów. Pierwszym podejściem jest konstrukcja modelu efektywnego opisującego dynamikę (pojedynczego) fraktonu. Lagranżjan postulowany jest w analogii do Langranżjanu skalarne pola zespolonego z symetrią $U(1)$. W tym przypadku symetria globalna $U(1)$ jest zamieniona na globalną symetrię wektorową wynikającą z polynomial shift symmetry. Otrzymana teoria charakteryzuje się występowaniem drugich pochodnych w działaniu. W przypadku gdy kwadrat masy (współczynnik przy kwadracie modułu pola skalarne) jest ujemny stanem podstawowym jest kondensat fraktonowy z odpowiednim modem Nambu-Goldstona. Fizycznie podejście to opisuje fraktonowy stan nadciekły. Drugim podejściem jest hydrodynamiczny opis termiczne wzbudzonych fraktonów stosujący się do sytuacji gdy zaburzony układ fraktonowy relaksuje do położenia równowagi termodynamicznej (stan jednorodny). W opisie tym nie występują pola lecz (gęstości) zachowywane ładunki: monopole, dipole lub wyższe momenty w bardziej rozbudowanych teoriach.

Kolejna praca, **PB4**, skupia się na hydrodynamicznym opisie płynów fraktonowych, tj. płynów zachowujących moment dipolowy. Opis ten opiera się na gęstościach zachowywanych wielkości (ładunku, pędu, energii, moment dipolowy i nomen pędu) i związanych z nimi równaniach ciągłości (prawach zachowania). Istotną modyfikacją, prowadzącą do pojawienia się specyficznych hydrodynamicznych własności, jest to, że pęd nie jest niezmienniczy przy transformacjach generowanych przez ładunek dipolowy.

Pierwszym krokiem jest skonstruowanie pierwszego prawa termodynamiki stanu uzupełnionego o zachowywany moment dipolowy. Wymaga to wprowadzenie symetrycznej wielkości tensorowej V_{ij} (symetria parzystości) i sprzężonej do niej zmiennej F_{ij} będącej strumieniem dipolowym. Wyprowadzone są także relacje termodynamiczne pomiędzy gęstością energii, ładunku i V_{ij} a odpowiadającymi im wielkościami sprzężonymi (potencjał chemiczny, strumień dipolowy).

Hydrodynamika wzbudzeń wokół jednorodnego stanu równowagi została wyprowadzona w oparciu o rozwinięcie gradientowe. Analizowane jest przybliżenie zerowego i pierwszego rzędu. Pojawiające się współczynniki transportu są zdeterminowane przez narzucenie odpowiednich praw termodynamicznych i relacji Onsagera.

Rozdział IV rozpoczyna się od analizy hydrodynamiki zerowego rzędu. Używając równań ciągłości Autorzy formułują pierwsze prawo termodynamiki



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKOW

Faculty
of Physics,
Astronomy
and Applied
Computer Science

w języku wprowadzonego przez siebie przesuniętego prądu energii i (gradientów) wielkości tensorowych J^{ij} oraz T^{ij} . Następnie, korzystając z warunku na produkcję entropii i standardowych relacji termodynamicznych, wyprowadzone zostają relacje na prądy w zerowym rzędzie (tzw. relacje konstytutywne). Relacje te wprowadzają jeden współczynnik transportu - przewodnictwo cieplne α . Ważną obserwacją jest fakt, iż prędkość V_i i przewodnictwo cieplne dają wkład do prądu entropii w tym samym, zerowym rzędzie. Zatem dla układów zachowujących moment dipolowy hydrodynamika zerowego rzędu dopuszcza dyssypację (niezerowy współczynnik transportu). Jest to ciekawy i nowy wynik.

W celu analizy wzbudzeń hydrodynamicznych rozważane jest liniowe zaburzenie wokół (jednorodnego) stanu równowagi, co prowadzi do równań hydrodynamicznych zerowego rzędu, r. (27). Dalsza część podrozdziału koncentruje się na rozwiązaniu otrzymanego układu równań i znalezieniu relacji dyspersji na mody Fourierowskie. Sektor poprzeczny zawiera tylko mod zerowy. Sektor podłużny jest nietrywialny. Równanie na mody jest równaniem trzeciego stopnia i posiada trzy niezależne rozwiązania, tj. trzy mody z odrębnymi relacjami dyspersji. W zależności od wartości (bezwymiarowego) przewodnictwa cieplnego rozróżniono trzy jakościowo różne reżimy. W reżimie I trzy mody mogą być jednocześnie urojone (dla pewnych wartości parametrów). W reżimie II nie jest to możliwe - dwa mody zawsze posiadają część rzeczywistą. Reżim III to punkt krytyczny rozdzielający oba sektory. Posiada on punkt w którym wszystkie trzy mody są sobie równe (modę crossing). Punkt ten jest czysto urojony. Część urojona modów (wzbudzeń termodynamicznych) jest zawsze nieujemna, co dowodzi liniowej stabilności.

W ostatniej części pracy **PB4** Autorzy dyskutują hydrodynamikę pierwszego rzędu. Najważniejszym, nowym wynikiem jest wykazanie, iż sektor poprzeczny przestaje być trywialny ze względu na przewodnictwo cieplne. Poprawki pierwszego rzędu powodują, że pojawią się dyfuzyjne wzbudzenie w sektorze poprzecznym a przez to poprzeczne fluktuacje hydrodynamiczne mogą się rozprzestrzeniać w układzie fraktonowym. Wyliczone są również poprawki pierwszego rzędu do sektora podłużnego.

Ostatnia praca wchodząca w skład osiągnięcia naukowego, **PB1**, również dotyczy hydrodynamiki idealnej cieczy fraktonowej. Jest to praca wcześniejsza do pracy **PB4** i opisuje sytuacje gdy nałożony jest warunek braku dyssypacji (współczynnik $\alpha=0$). Wyliczone są relacje dyspersji dla modów hydrodynamicznych w tym przybliżeniu.

Zaprezentowane osiągnięcie (ściśle mówiąc wchodzące w jej skład trzy prace, gdyż praca czwartą jest pracą przeglądową) oceniam pozytywnie. Niewątpliwie znalezione wyniki są nowe i ciekawe (np. pojawienie się masy pola cechowania rzędu dwa na zakrzywionej przestrzeni czy zaobserwowanie dyssypacji w rozwinięciu gradientowym zerowego rzędu).

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11
PL 30-348 Kraków
tel. +48(12) 664-48-90
fax +48(12) 664-49-05
e-mail:
wydzial.fais@uj.edu.pl

Praca PB3 jest samodzielną pracą habilitanta. W pracach dotyczących hydrodynamiki, PB1 i PB4, wkład p. Pena-Beniteza wydaje się być znaczący - wykonał on nie tylko wszystkie obliczenia, uczestniczył w interpretacji wyników i pisaniu artykułów, ale też był inicjatorem problemu badawczego. Pozwala to na pozytywną ocenę samodzielności p. Pena-Beniteza.

III. Ocena dorobku naukowego

Oprócz 4 prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego habilitant jest współautorem 18 artykułów opublikowanych w bardzo dobrych czasopiśmie (m.in. PRL, JHEP, PRD) z czego 11 ukazało się po uzyskaniu stopnia doktora (po roku 2013). Prace te są niewątpliwie zauważone przez środowisko naukowe, co przejawia się ilością cytowań (bez autocytowań): 1006 według WoS na dzień 15.07.2024. Indeks Hirsza wynosi 13.

Dr Pena-Benitez odbył trzy staże podoktorskie (Heraklion, Perugia oraz Drezno) oraz 10 krótkich wizyt badawczych. Wygłosił też kilkanaście referatów na międzynarodowych konferencjach i workshopach. Na pozytywną uwagę zasługuje również fakt, iż badania prowadzone są w międzynarodowej grupie badawczej, w której skład wchodzi naukowcy z m.in. Niemiec, Hiszpanii, Grecji, Indii i Chin.

Habilitant otrzymał jeden grant z Narodowego Centrum Nauki - konkurs POLS (24 miesiące, kwota 862 825 PLN). Był on też wykonawcą w kilku innych grantach.

Jest to bardzo dobry dorobek naukowy. Nie mam wątpliwości, że odpowiada wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Z przykrością muszę jednak stwierdzić, iż moją pozytywną ocenę prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego oraz dorobku naukowego, obniża zaprezentowany Autoreferat, jak i jakość przygotowania Wykazu Osiągnięć Naukowych.

Niestety Autoreferat został przygotowany bez należytej staranności. Pomijając pewną liczbę niedociągnięć edytorskich (np. przecinek już w pierwszym wzorze sugerujący, że $\rho=0$) moje główne zarzuty są następujące:

- 1) Nagminne niedefiniowanie wielkości we wzorach. Np. wzór (2) używa wielkości n i J^{ab} . Co więcej, n jest wcześniej oznaczone jako ilość wymiarów przestrzennych. Na stronie 11, ten sam symbol oznacza rząd równań ruchu. Wielkości występujące we wzorze (24) są albo zdefiniowane później albo w ogóle nie są zdefiniowane. Itd...



JAGIELLONIAN
UNIVERSITY
IN KRAKOW

Faculty

of Physics,

Astronomy

and Applied

Computer Science

- 2) Podobnie wprowadzane są pojęcia, które w żaden sposób nie są wyjaśnione. Np. arystotelesowskie źródła tła.
- 3) Rozdział Wnioski z zasadzie nie odnosi się w ogóle do wyników przedstawionych wcześniej, a zawiera nieprzyjemne ogólniki jak np. „... prawdopodobnie w niedalekiej przyszłości doprowadzi do znaczącego postępu.”
- 4) Literatura jest przygotowana w sposób bardzo niestaranny. Pozycje [7], [21] i [22] nie zawierają nazwy czasopisma. Pozycje [19] i [22] są identyczne. Dodam, że literatura zawiera 24 pozycje więc nie jest to wielkość, która mogłaby się przyczynić do takich niedociągnięć.

Autoreferat czyta się porostu źle. Powinien ukazać problem i oryginalny wkład habilitanta w jego rozwiązania. Zupełnie nie wiadomo dlaczego fraktony są ważnym kierunkiem badań. Nie wiadomo do końca co zrobił habilitant (wraz ze współpracownikami) a co jest wynikiem prac innych grup badawczych. Zamiast tego, habilitant przygotował mało interesującą i techniczną prezentację, gdzie naprawdę ciekawe wyniki giną w gąszczu wzorów.

Podobny zarzut braku należytej staranności dotyczy Wykazu Osiągnięć Naukowych.

- 1) Wykaz publikacji habilitanta zawiera pozycje dla których brak jest roku publikacji.
- 2) Wymagana jest liczba cytowań, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań. Brak tej pozycji.
- 3) Dla Phys. Rev. Res. punktacja jest znacznie niższa niż 420.

IV. Podsumowanie

Pomimo nieprzyjemnego wrażenia związanego z jakością przygotowanych dokumentów, cykl prac stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego prezentuje wysoki poziom naukowy. Jest to jednolity program badawczy mający na celu całościowe i systematyczne zrozumienia fraktonów - ich podstaw matematycznych, w języku teorii mikroskopowej, jak również ich własności fenomenologicznych obejmujących zagadnienie termodynamiczne i hydrodynamiczne. Moja ocena dorobku naukowego dr Pena-Beniteza jest pozytywna. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie go do dalszych etapów procedury habilitacyjnej.

Prof. dr hab. Andrzej Wereszczyński

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-48-90

fax +48(12) 664-49-05

e-mail:

wydzial.fais@uj.edu.pl