

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Arkadiusza Jakuba Bochniaka pt. „Non-product geometries for particle physics and cosmology”

Celem rozprawy doktorskiej mgr. Arkadiusza Jakuba Bochniaka, wykonanej na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego pod kierunkiem prof. dr. hab. Andrzeja Sitarza jest tworzenie modeli teorii pola i teorii grawitacji przy użyciu metod geometrii nieprzemiennej.

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 143 strony i składa się z części przeglądowej, poprzedzonych krótkimi omówieniami reprintów 5 oryginalnych prac naukowych, których (współ-) autorem jest doktorant, krótkiego podsumowania oraz liczącej 145 pozycji bibliografii. Spośród tych 5 prac, 3 opublikowane zostały w periodykach o najwyższej naukowej renomie, zaś 2 ukazały się w postaci preprintów w repozytorium internetowym ArXiv.

Licząca 33 stron wstępna część przeglądowa rozprawy doktorskiej mgr. A. J. Bochnaka zawiera streszczenie formalizmu teorii fizyki matematycznej opisujących rozszerzenie konstrukcji teoriopolowych mających zastosowanie w fizyce cząstek elementarnych i w teorii grawitacji na przypadek nieprzemiennej czasoprzestrzeni. Ten fragment rozprawy doktorskiej potwierdza znakomite rozeznanie doktoranta w tematyce geometrii nieprzemiennej i opartych o nią modeli fizyki matematycznej jak i dobrą znajomość literatury przedmiotu. W moim odczuciu jednak część ta jest zbyt skondensowana: nie zawiera ona w ogóle dyskusji motywacji fizycznych, stojących za modelami z nieprzemienią czasoprzestrzeni. Wydaje mi się też być trudną do zrozumienia dla kogoś, kto omawianego w niej formalizmu dobrze nie zna.

Pierwszą pracą wchodzącą w skład rozprawy doktorskiej mgr. A. J. Bochnaka jest „Spectral geometry for the standard model without fermion doubling” napisana wspólnie z A. Sitarzem i opublikowana w Physical Review D. Celem tej interesującej pracy jest stworzenie uogólnienia modelu części fermionowej standardowego fizyki cząstek elementarnych na przypadek nieprzemiennej czasoprzestrzeni z zachowaniem Lorentzowskiej sygnatury, braku podwojenie liczby fermionów i obecności niezłamanej symetrii SU(3) oraz zrozumienie geometrycznych podstaw stojących za strukturą tego modelu. W moim przekonaniu, najciekawszym, nowatorskim wynikiem tej pracy jest geometryczna interpretacja łamania symetrii PC w Modelu Standardowym jako konsekwencji niemożności nałożenia warunku rzeczywistości na skończoną trójkę spektralną.

Kolejna publikacja wchodzącą w skład rozprawy doktorskiej mgr. A. J. Bochniaka jest, również napisana z A. Sitarzem, praca „Spectral action and the electroweak θ -terms for the Standard Model without fermionic doubling” opublikowana w JHEP jest naturalną kontynuacją

omawianej wyżej pracy. Zawiera ona konstrukcję części bozonowej uogólnionego Modelu Standardowego opisywaną przez działanie spektralne opisane w poprzedniej pracy. Niestety nie jest znana konstrukcja tego działania przy zachowaniu pełnej symetrii Lorentza i dlatego autorzy zbadali najpierw przypadek statyczny, uzyskując zgodność ze statyczną granicą Modelu Standardowego, a następnie przeszli do badania wersji Euklidesowej modelu. Najciekawszym wynikiem tej pracy jest pojawienie się w działaniu nowych, topologicznych θ -członów w sektorze elektrostałym, przy braku takiego członu w sektorze oddziaływań silnych. Niestety w pracy nie znalazło się nawet skrótowe omówienie potencjalnych konsekwencji obecności tych nowych członów dla fenomenologii cząstek elementarnych. Kolejnym interesującym wynikiem uzyskanym w tej pracy jest możliwa modyfikacja potencjału pola Higgsa, która przy zazwyczaj przyjmowanym założeniu dodatniości odpowiednich parametrów modelu powoduje brak lokalnych minimów w potencjale Higgsa, a w konsekwencji, uniemożliwia działanie mechanizmu Higgsa. Ponieważ mamy tutaj do czynienia z modelem, który być może łączy strukturę będącego fundamentem Modelu Standardowego, w moim przekonaniu, ten aspekt pracy zasługuje również na szerszą dyskusję, jeśli nie w samej publikacji, to z pewnością przy okazji jej omówienia w rozprawie doktorskiej.

Naturalną kontynuacją badań przedstawionych w omawianych powyżej dwóch pracach jest zastosowanie wykorzystywanych tam technik w celu stworzenia uogólnionej teorii grawitacji. Jest to przedmiotem kolejnej publikacji wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej mgr. A. J. Bochniaka „Stability of Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker solutions in doubled geometries”, opublikowanej w *Physical Review D*. W przypadku teorii względności nieprzemieniana geometria znajduje naturalną implementację w postaci teorii bi-metrycznej. Konsekwencjom kosmologicznym takich teorii poświęcona jest zaprezentowana w rozprawie doktorskiej publikacja. W pracy tej wyprowadzono z działania spektralnego równania pola dla modelu kosmologicznego bez materii oraz z materią charakteryzowaną stosunkiem ciśnienia do gęstości energii w . W moim przekonaniu najbardziej interesującym aspektem konstrukcji zaprezentowanej w tej pracy jest fakt, że w przeciwieństwie do standardowych modeli bi-metrycznych, w których sprzężenie pomiędzy dwiema metrykami wprowadzane jest *ad hoc*, w tym przypadku jest one generowane jednoznacznie przez działanie spektralne. Nie jest dla mnie jasna natomiast konstrukcja sprzężenia grawitacji z materią w tym modelu, w szczególności, dlaczego przyjęto, że współczynnik w jest taki sam dla obu metryk.

Naturalnym konsekwencją teorii bi-metrycznej pojawiającej się w kontekście geometrii nieprzemiennej i działania spektralnego jest pojawienie się uzyskanego z zasad pierwszych, a nie „włożonego rękami” członu oddziaływania dwóch metryk w działaniu teorii. Analizie tego członu w przypadku pełnej teorii (a nie tylko jej wysoko symetrycznej postaci, jak to ma miejsce w przypadku rozważań kosmologicznych) poświęcona jest kolejna praca wchodząca w skład rozprawy doktorskiej mgr. A. J. Bochniaka, umieszczona w ArXiv, „Spectral interactions between universes”, napisana wspólnie z A. Sitarzem. W pracy tej w przybliżeniu liniowym dla niezależnych od punktu perturbacji wokół przestrzeni euklidesowej skonstruowano człon oddziaływania a następnie porównano go z analogicznym członem w teorii bi-metrycznej. W moim przekonaniu, wbrew temu, co twierdzą autorzy, ograniczenie do stałych perturbacji jest silnym ograniczeniem, bowiem nie ma żadnego powodu, by zakładać *a priori*, że człon oddziaływanie dwóch metryk nie może zawierać pochodnych.

Ostatnią częścią rozprawy doktorskiej mgr. A. J. Bochniaka jest samodzielna praca „Towards modified bimetric theories with non-product spectral geometry”, również umieszczona w ArXiv, która zawiera analizę modeli z podwójną geometrią, dających wyprowadzić się z działania spektralnego. Choć w pracy tej badane są jedynie proste, niezależne od punktu metryki, stanowi ona kolejny krok na drodze do lepszego zrozumienia tych modeli.

W moim przekonaniu badanie właściwości bi-metrycznej teorii grawitacji uzyskanej z działania spektralnego jest najciekawszą nowatorską częścią rozprawy doktorskiej.

Rozprawę doktorską mgr. A. J. Bochniaka kończy krótkie podsumowanie.

Wyniki zaprezentowane w rozprawie doktorskiej mgr. A. J. Bochniaka są, w moim przekonaniu, bardzo interesujące, a ich uzyskanie wymagało od doktoranta wielkiego nakładu pracy. Stanowią one oryginalny wkład doktoranta do rozwoju teorii modeli fizycznych bazujących na geometrii nieprzemiennej. Wyniki zaprezentowane w rozprawie świadczą też o znakomitym opanowaniu przez mgr. A. J. Bochniaka zaawansowanych metod i zagadnień pojęciowych geometrii nieprzemiennej, teorii pola oraz teorii grawitacji.

Mgr A. J. Bochniak jest (współ-) autorem 19 oryginalnych prac naukowych, z których 10 opublikowanych w periodykach o najwyższej międzynarodowej renomie, 4 – w doniesieniach pokonferencyjnych, jednego nieopublikowanego doniesienia konferencyjnego oraz dwóch prac, zamieszczonych w ArXiv, które, jak przypuszczam, doczekają się publikacji w najbliższym czasie. Prace te cytowane były dotychczas 55 razy (według Inspire-Hep). W przypadku doktoranta jest to bardzo znaczący dorobek naukowy.

Pomimo krytycznych uwag zamieszczonych w recenzji uważam, że poziom naukowy rozprawy doktorskiej mgr. A. J. Bochniaka jest bardzo wysoki, uzyskane wyniki są ważne i stanowią znaczący wkład w rozwój dziedziny nieprzemiennej geometrii. Co więcej, mgr A. J. Bochniak poza badaniami przedstawionymi w rozprawie posiada znaczący dorobek naukowy w innych dziedzinach fizyki teoretycznej. Biorąc to pod uwagę **wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. A. J. Bochniaka.**

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Arkadiusza Jakuba Bochniaka spełnia ustawowe, formalne i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim z dziedziny fizyki teoretycznej. **Wnoszę o dopuszczenie mgr. Arkadiusza Jakuba Bochniaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Prof. dr hab. Jerzy Kowalski-Glikman

Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego i

Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Warszawa, 24 kwietnia 2022