Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Michała Szcząchora „Gravity and Supergravity as a BF theory of MacDowell-Mansouri type"

Teoria grawitacji Einsteina to najpiękniejsza teoria klasyczna, w której ogromną rolę odgrywają symetrie. Podstawową symetrią jest niezmienniczość ze względu na transformacje układu współrzędnych, czyli tzw. symetrie dyfeomorfizmów. Wkrótce po powstaniu ogólnej teorii względności zaproponowano inne sformułowanie, nazwane teorią Einsteina-Cartana, w którym zakłada się istnienie większej symetrii, lokalnej analogii symetrii Poincarégo w przestrzeni zakrzywionej. W sformułowaniu tym, oprócz symetrii dyfeomorfizmów, mamy symetrię niezależnego w każdym miejscu wyboru orientacji przestrzeni stycznej. Aby obie teorie, Einsteina i Einsteina-Cartana, miały tę samą liczbę stopni swobody, ta dodatkowa symetria musi być cechowana, czyli powinny istnieć dwa rodzaje pól wektorowych – pole koneksji ω, odpowiadające lokalnym obrotom Lorentza, i pole reperu (w czterech wymiarach zwykle zwane polem tetrady) e, odpowiadające lokalnym translacjom. W niektórych przypadkach, na przykład przy opisie fermionów w przestrzeni zakrzywionej, formalizm ten jest konieczny, gdyż pola fermionowe definiowane są w przestrzeni stycznej. .

W formalizmie Einsteina-Cartana możliwe jest sformułowanie teorii topologicznej, (czyli takiej, w której nie ma lokalnych propagujących się stopni swobody). Jeżeli w takiej teorii założymy istnienie dużej symetrii i dodamy człon redukujący tę symetrię do symetrii Lorentza, pozwala to na opis standardowej grawitacji jako zaburzenia teorii topologicznej. Podejście to jest punktem wyjścia w pracy doktorskiej mgra Michała Szcząchora pt. „Gravity and Supergravity as a BF theory of MacDowell-Mansouri type". Praca, napisana pod kierunkiem prof. Jerzego Kowalskiego-Glikmana, liczy 54 strony, składa się z wprowadzenia, 6 rozdziałów i bibliografii liczącej 39 pozycji, w tym dwóch, w Phys. Rev. D i w Mod. Phys. Lett., współautorstwa mgra Szcząchora – w sumie mgr Michał Szcząchor ma 4 opublikowane prace.

W rozdziałach 1. autor przedstawił wprowadzenie do tzw. teorii BF, czyli teorii Yanga-Millsa z narzuconym warunkiem znikania tensora F. Teoria ta jest topologiczna, gdyż nie ma w niej dynamicznych stopni swobody, lecz nie jest ona pusta ze względu na możliwą zależność od warunków brzegowych i niezmienników topologicznych. Opisana konstrukcja ma swoje źródła w pracach Plebańskiego, w których grawitacja zapisana jest przy pomocy dwuform i koneksji z użyciem więzów, a MacDowell i Mansouri użyli tej konstrukcji przy sformułowaniu grawitacji i supergrawitacji. W pracy opisano rozszerzenie teorii BF na grupę de Sittera lub antydeSittera $SO(2,3)$ lub $SO(1,4)$. W teorii tej, oprócz zwykłych wyrazów teorii BF, wprowadza się wyraz kwadratowy dla części składowych tensora B odpowiadających podgrupie $SO(1,3)$, co jawnie łamie grupę do $SO(1,3)$ oraz wyrazy odpowiadające niezmiennikom topologicznym. W rozdziale 2. autor omawia krótko $N = 1$ czystą supergrawitację jako teorię BF oraz wpływ parametru Immirziego na klasyczne równania ruchu.

Rozdział 3. omawia samodzielną pracę autora. Autor omówił wyraz Holsta w supergrawitacjach $N = 1,\ 2,\ 4,\ 8$ i wyprowadził sposób otrzymywania tego wyrazu w ogólnej teorii. Wyraz ten jest związany jest z tzw. tensorem kontorsji czyli tensorem różnicy między tensorem skręcenia i koneksją beztorsyjną. Pokazał również, że wyraz ten nie wpływa na klasyczne równania ruchu, choć może wpływać na obserwable kwantowe. Istnieje wiele możliwości dodania do działania wyrazów zależnych od skręcenia, ale ze względu na to, że skręcenie związane jest algebraicznie ze źródłami (tensorem spinu materii), a źródła te w realistycznych sytuacjach znikają, znika również skręcenie. W teorii supersymetrycznej analogiem tensora skręcenia są tensory „superskręcenia", które autor podał dla $N = 1,\ 2,\ 4,\ 8$ supergrawitacji jawnie w pracy razem z wyrazem Holsta. Autor omówił sprzężenie materii do teorii z jedną supersymetrią i problem łamania parzystości przez wyraz Holsta oraz ogólną dyskusję parametru Immirziego w kanonicznym sformułowaniu ogólnej teorii względności.

Rozdział 4. omawia rozszerzoną algebrę wiążącej algebrę Maxwella i anty de Sittera. Różne kontrakcje Wignera-Inönü prowadzą albo do algebry Poincarégo albo Maxwella. W pracy opisane jest cechowanie grupy AdS-Maxwella w kontekście teorii BF dla wszystkich trzech rodzajów generatorów transformacji cechowania – parametry w działaniu zostały tak dobrane, żeby grupy Lorentza i Maxwella pozostawały niezłamane, a naruszeniu ulegała jedynie symetria dyfeomorfizmów. Istotną rolę w konstrukcji odgrywa żądanie samodualności sektora Yanga-Millsa. Na końcu rozdziału autor omawia dalsze rozszerzenie algebry AdS-Maxwella do tzw. bi-grawitacji.

Rozdział 5. poświęcony jest rozszerzeniu algebry AdS-Maxwella do superalgebry (z $N = 1$ supersymetrią) – rozdział ten oparty jest o dwie współautorskie, opublikowane prace. Konstrukcja działania BF w przypadku supersymetrycznym uwzględnia dodatkowe pola fermionowe (np. dwuformę fermionową związaną z superładunkami) i prowadzi na końcu do standardowego działania $N = 1$ supergrawitacji (z możliwymi innymi wyrazami brzegowymi).

W rozdziale 6. autor omawia konforemną teorię BF opartą o grupę $SO(d-1,2)$ z dodatkowymi generatorami skalowania i pchnięcia konforemnego. Teoria ta okazuje się równoważna teorii grawitacji Weyla z kwadratem tensora Weyla jako działaniem.

Praca doktorska mgra Michała Szcząchora dotyczy problemu opisu teorii grawitacji i supergrawitacji jako teorii BF z symetrią AdS i Maxwella. Sformułowanie MacDowella-Mansouriego w naturalny sposób włącza człony topologiczne. Teoria ta nie różni się od standardowego sformułowania w sektorze równań ruchu czy zmiennych dynamicznych, ale daje możliwość uwzględnienia warunków brzegowych i niezmienników topologicznych. Główne wyniki opisane w pracy są nowe i zostały opublikowane (jedna samodzielnie, pozostałe we współautorstwie z promotorem R. Durką) we wiodących czasopismach.

Praca napisana jest w sposób zwięzły, z logicznym układem rozdziałów i jasnym przedstawieniem uzyskanych rezultatów. Mam jednak do niej kilka uwag. Przy wprowadzaniu teorii BF spodziewałbym się analizy, dlaczego podejście poprzez grupę $SO(2,3)$ lub $SO(1,4)$ i działanie topologiczne jest użyteczne, skoro jest jawnie łamane przez wyrazy kwadratowy w polach B, (niezmiennicze jedynie ze względu na podgrupę $SO(1,3)$ lub symetrię Maxwella). O ile łamanie spontaniczne jest jedynie reinterpretacją stopni swobody, o tyle łamanie jawne niesie ze sobą zwykle dużo dalej idące konsekwencje i używanie symetrii jawnie złamanej jest użyteczne jedynie w niektórych przypadkach, przede wszystkim jeżeli to łamanie jest w jakimś sensie małe – w pracy nie wskazano, czy tak jest w istocie. Bardzo dużo w pracy jest odwołań do nieistniejących w bibliografii prac lub nieistniejących równań. W pracy brakuje również podsumowania, gdzie autor mógłby zebrać wyniki pracy i opisać ich użyteczność, szczególnie, że po złamaniu topologiczności teorii wyniki doprowadzały do znanych rezultatów (np. $N = 1$ supergrawitacji czy teorii grawitacji Weyla). Uwagi te nie zmieniają ogólnej pozytywnej opinii o pracy, gdyż podejście do symetrii w teorii grawitacji, w którym startuje się w systematyczny sposób od teorii topologicznej i potem stopniowo wprowadza wyrazy zależne od mnożnika Lagrange'a B i łamiące topologiczność wydaje się bardzo interesujące.

Konkludując stwierdzam, że prezentowana praca doktorska spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony.

Warszawa, 17.09.2014, prof. Krzysztof A. Meissner