

Rozprawa doktorska mgr Mehraveh Nikjoo pt. "The Gravitating Universe", przygotowana pod kierunkiem dr. hab. Thomasa Zlosnika w Instytucie Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki Uniwersytetu Gdańskiego, poświęcona jest szeroko rozszerzeniom teorii grawitacji Einsteina oraz jej związkom ze wczesną kosmologią i współczesnymi obserwacjami. Rozprawa liczy 203 strony pliku PDF, przy czym zasadniczy tekst kończy się wnioskami na stronie 145, po których następują cztery obszerne dodatki i bibliografia.

Rozprawa składa się ze wstępu, pięciu głównych rozdziałów, rozdziału podsumowującego oraz czterech dodatków (A-D) i obejmuje szeroki zakres zagadnień współczesnej fizyki grawitacyjnej poprzez jej zastosowania do fizyki wczesnego Wszechświata, aż do analizy współczesnych danych obserwacyjnych. Pod względem tematycznym można w niej wyróżnić trzy zasadnicze nurty badań. Pierwszy obejmuje formalną analizę hamiltonowskiej struktury teorii grawitacji traktowanej jako spontanicznie złamana teoria cechowania grupy Lorentza. Drugi ma charakter fenomenologiczny i dotyczy kosmologii inflacyjnej w modelu lewoprawosymetrycznym, z uwzględnieniem roli parametru Barbero-Immirziego. Trzeci nurt ma charakter obserwacyjny i obejmuje analizy słabego soczewkowania grawitacyjnego przez wielkoskalową strukturę Wszechświata oraz tomografię stochastycznego tła fal grawitacyjnych.

Z tekstu i bibliografii można zidentyfikować trzy prace bezpośrednio odpowiadające głównym wynikom rozprawy: dwie opublikowane w renomowanych czasopismach: *Classical and Quantum Gravity* (2024) oraz *Physical Review D* (2024) oraz jeden preprint z 2026 r. Materiał przedstawiony w rozdziale 4, dotyczący inflacji w modelu lewoprawosymetrycznym, wydaje się natomiast dotychczas nieopublikowany, co wskazuje, że rozprawa nie ma wyłącznie charakteru kompilacyjnego, lecz zawiera również nowe wyniki przedstawione po raz pierwszy w doktoracie.

Rozdziały 1 i 3 mają przede wszystkim charakter wprowadzający i służą przedstawieniu pojęć oraz formalizmu wykorzystywanych następnie w zasadniczych częściach rozprawy: rozdział 1 przygotowuje aparat matematyczny i formalizm teorii grawitacji potrzebny w rozdziale 2, a rozdział 3 wprowadza podstawy kosmologii, perturbacji kosmologicznych, fal grawitacyjnych i słabego soczewkowania, wykorzystywane następnie w rozdziałach 4 i 5.

Mam jednak zastrzeżenia do sposobu prezentacji materiału w obu tych rozdziałach. Stosunkowo dużo miejsca poświęcono zagadnieniom podstawowym, które są omawiane niekiedy z podręcznikową szczegółowością. Jednocześnie bardziej specjalistyczne pojęcia i elementy formalizmu, które są rzeczywiście niezbędne do zrozumienia oryginalnych wyników przedstawionych w rozdziałach 2, 4 i 5, bywają wprowadzane znacznie szybciej i mniej precyzyjnie. Przykładowo w rozdziale 3 szczegółowo omawiane są podstawy kosmologii FLRW oraz liniowych fal grawitacyjnych, podczas gdy formalizm perturbacji kosmologicznych i widm mocy, bezpośrednio wykorzystywany następnie w analizie modelu inflacyjnego, przedstawiony jest bardziej skrótowo.

Nie traktuję tego jednak jako istotnego zarzutu merytorycznego. Przeciwnie, oba rozdziały pokazują, że Doktorantka opanowała bardzo szeroki zakres materiału matematycznego i fizycznego, obejmującego teorię grup i algebr Liego, formalizm pierwszego rzędu teorii grawitacji, analizę Hamiltonowską, kosmologię i teorię perturbacji oraz podstawy współczesnych obserwacji kosmologicznych. Na tym etapie kariery naukowej trudno również oczekiwać w pełni dojrzałego doświadczenia dydaktycznego w selekcji i hierarchii tak obszernego materiału. Niemniej przed ewentualną publikacją rozprawy zalecałabym ponowne wyważenie tych dwóch rozdziałów: skrócenie fragmentów dotyczących zagadnień elementarnych i jednocześnie rozwinięcie oraz doprecyzowanie tych części, które są bezpośrednio potrzebne do zrozumienia wyników własnych

Doktorantki. Np. zagadnienia elementarne umieściłabym w dodatkach, natomiast te bardziej zaawansowane, bazujące na elementarnych zagadnieniach, mogłyby być wstępem do wyników znajdujących się w głównej części doktoratu i być przydatnym wprowadzeniem nietrywialnych zagadnień dla tych, którzy zaczynają przygodę z tymi tematami.

W przypadku rozdziału 1 problem jest nieco bardziej widoczny, ponieważ oprócz kwestii proporcji materiału występują również niedoskonałości notacyjne i definicyjne. Notacja nie jest wszędzie konsekwentna: te same lub ściśle powiązane obiekty są w kolejnych częściach rozdziału zapisywane przy użyciu zmieniających się oznaczeń, bez jasnego wskazania relacji pomiędzy nimi. Jest to szczególnie zauważalne w części poświęconej kompleksyfikacji grupy Lorentza i jej reprezentacjom: relacja między wprowadzonym wcześniej formalizmem $SU(2)$, rozkładem algebry Lorentza na sektory chiralne oraz późniejszym rozkładem koneksji i krzywizny na części self-dual i anti-self-dual nie jest dostatecznie wyeksponowana. Tymczasem właśnie ta konstrukcja stanowi jeden z kluczowych elementów modelu analizowanego w rozdziale 2. Wprowadzane są również kolejne obiekty algebraiczne bez dostatecznie wyraźnego uporządkowania ich wzajemnych relacji oraz definicji czy fizycznej interpretacji. W efekcie czytelnik musi miejscami sam rekonstruować, czy nowe oznaczenie oznacza nowy obiekt, konkretną reprezentację wcześniej zdefiniowanego obiektu, czy jedynie zmianę notacji. W wielu miejscach brakuje interpunkcji. Jest też niedokończone zdanie przed wzorem (3.21). Natomiast jeśli chodzi o fizyczną interpretację, trzeba przyznać, że w niektórych miejscach Doktoranka próbuje nadać fizyczne znaczenie kluczowym obiektom, jednak trzeba by to trochę dopracować. Przykładowo, przy wprowadzeniu operatora Casimira w równ. (1.44) szczegółowo omówiono jego własności algebraiczne i konstrukcję reprezentacji za pomocą operatorów drabinkowych, natomiast zabrakło krótkiej interpretacji fizycznej.

Podobny problem dotyczy definicji symboli pojawiających się we wzorach. Nie wszystkie wielkości są definiowane w momencie ich pierwszego użycia lub ich znaczenie można ustalić dopiero z dalszego kontekstu. Przykładami są m.in. znaczenie symbolu RP i P pojawiającego się przy konstrukcji algebraicznej w okolicy równania (1.23), oznaczenie „Mat” użyte w okolicy (1.39), a także M oraz parametr ϵ występujące w równaniu (1.63), różne G dla grup Liego, wielkości w (1.121) itp. Są to obiekty, których znaczenie można odtworzyć z wiedzy matematycznej i kontekstu, jednak tekst wprowadzający powinien zdejmować ten ciężar z czytelnika.

Z tego samego powodu niektóre definicje w rozdziale 1 sprawiają wrażenie mniej precyzyjnych, niż wymagałby tego matematyczny charakter prezentowanego materiału. Nie chodzi tu koniecznie o ich niepoprawność, lecz raczej o to, że zakres obowiązywania definicji, przestrzeni, do której należy dany obiekt, albo relacja pomiędzy kolejnymi konstrukcjami nie zawsze są explicite podane.

W dyskusji prowadzącej do równań (1.177) i (1.178) analizowana jest transformacja parzystości członów Palatiniego i Holsta. Czy Doktorantka mogłaby sprecyzować, czy parzystość jest tutaj rozumiana jako aktywna transformacja tetradu i koneksji, czy jako transformacja odwracająca orientację czasoprzestrzeni? W szczególności, jaka jest rola symboli Levi-Civity z indeksami wewnętrznymi i czasoprzestrzennymi w otrzymaniu znaków w równaniach (1.177) i (1.178)?

Dodatkowo, w świetle ilości literatury, w której używa się niepoprawnie formalizm ADM, wydaje się kluczowe uzupełnienie podrozdziału 1.3.2 oraz appendixu A o informację, dla jakiej klasy obserwatorów (w przypadku formalizmu tetradowego: transformacji Lorentza) możliwy jest rozkład 3+1 dopuszczający formalizm hamiltonowski i analizę stopniów swobody. Jest to kluczowe do rozdziału 2 oraz rozdziału 4.

W rozdziale 3 notacja jest zasadniczo bardziej konsekwentna niż w rozdziale 1, jednak również tutaj występują drobne niespójności. Dotyczą one m.in. przechodzenia pomiędzy czasem kosmicznym t i konforemnym τ (wzory (3.100), (3.101), (3.104)), równoległego stosowania kilku

oznaczeń dla widm perturbacji (wzory (3.93) – (3.99)) i analogicznie w kolejnej części tensorowej oraz zmiany konwencji znaku perturbacji krzywizny R pomiędzy rozdziałem 3 a Dodatkiem D. Ta ostatnia zmiana jest przez Autorkę explicite zaznaczona i nie prowadzi do błędu w dalszych wynikach. Są to w większości kwestie redakcyjne, które nie podważają wyników rozprawy, lecz przemawiają za staranniejszym ujednoliceniem notacji przed ewentualną publikacją tekstu.

Podobnie jak w rozdziale 1, podstawowe pojęcia ekspansji kosmologicznej są szczegółowo omawiane, a standardowe wyprowadzenie liniowych fal grawitacyjnych zajmuje znaczną część sekcji 3.3.1, począwszy od równania (3.122). Jednocześnie wielkości bezpośrednio wykorzystywane w dalszej części rozprawy są wprowadzane dość skrótowo: perturbacje ζ , R i Q w równaniach (3.80)–(3.84), widma perturbacji skalarnych i tensorowych w równaniach (3.93)–(3.116), zaś kluczowe obserwable inflacyjne A_s , n_s i r odpowiednio w równaniach (3.99), (3.96)/ (3.118) oraz (3.120). Lepsze wyważenie poziomu szczegółowości pomiędzy materiałem elementarnym a formalizmem bezpośrednio wykorzystywanym w rozdziałach 4 i 5 poprawiłoby czytelność rozprawy.

Podsumowując, moje uwagi do rozdziałów 1 i 3 dotyczą przede wszystkim sposobu prezentacji, a nie poziomu wiedzy Doktorantki. Rozdziały te niewątpliwie świadczą o opanowaniu przez nią szerokiego zakresu materiału, jednak ich wartość dydaktyczna i czytelność znacznie by wzrosły po lepszym zrównoważeniu poziomu szczegółowości, ujednoliceniu notacji oraz bardziej systematycznym definiowaniu wszystkich wprowadzanych wielkości.

Rozdział 2 odtwarza, przy zmienionej notacji i bardziej pedagogicznym sposobie prezentacji, zasadniczą analizę oraz wnioski z wcześniej opublikowanej pracy [10]. Jest to oczywiście w pełni uzasadnione w przypadku rozprawy doktorskiej opartej na publikacjach, jednak nie zawsze dostatecznie jasno wskazano, które elementy przedstawionych wyprowadzeń stanowią rozszerzenie lub samodzielne rozwinięcie wyników wykraczające poza treść tej publikacji.

Pomimo bardziej pedagogicznego charakteru prezentacji, niektóre z najistotniejszych elementów rozdziału 2 wymagają, moim zdaniem, doprecyzowania. Dotyczy to przede wszystkim fizycznej interpretacji parametrów określających względny udział sektorów self-dual i anti-self-dual oraz jakościowo odmiennej struktury więzów dla poszczególnych wartości parametru γ . Szczególnie interesujący wynik, zgodnie z którym teoria posiada odpowiednio trzy zespolone lokalne stopnie swobody lub nie posiada lokalnych stopni swobody, zasługiwałaby na bardziej szczegółową interpretację fizyczną, w tym wyjaśnienie roli dodatkowej symetrii pojawiającej się w przypadku $g^+ = g_-$. Warto również dokładniej omówić status warunków rzeczywistości dla ogólnego przypadku oraz ich znaczenie dla interpretacji otrzymanych zespolonych stopni swobody. Analiza więzów mogłaby być przedstawiona bardziej transparentnie, np. poprzez jednoznaczne zestawienie więzów pierwszej i drugiej klasy dla poszczególnych przypadków. Obecnie część szczegółów dla tej analizy została pozostawiona w pracy [10], podczas gdy w rozprawie doktorskiej korzystne byłoby przedstawienie ich w sposób bardziej samowystarczalny, tj. bez potrzeby posilania się pracą [10].

Jaka jest relacja między spontanicznym złamaniem wewnętrznej symetrii Lorentza przez pole ϕ^I a rozkładem 3+1 zastosowanym w analizie Hamiltonowskiej? Czy foliacja czasoprzestrzeni jest w jakikolwiek sposób wyznaczona przez ϕ^I (a konkretniej, jej Lorentzowsko-kowariantną pochodną), czy też oba wybory są niezależne? Inaczej ujmując, czy dla studiowanego przypadku został sprawdzony warunek całkowalności 3-dystrybucji, bez którego rozkład 3+1 jest niemożliwy? Boosty zwykle łamią warunek całkowalności.

Rozdział 4, przedstawiający model inflacji oparty na lewoprawosymetrycznym rozszerzeniu sektora materii oraz sformułowaniu grawitacji Einsteina-Cartana, zawiera interesujące i aktualne wyniki, jednak pod względem sposobu prezentacji jest, moim zdaniem, jednym ze słabszych fragmentów rozprawy. Poszczególne etapy konstrukcji modelu i ich fizyczna motywacja nie zawsze są przedstawione w wystarczająco przejrzysty sposób. Przykładowo, przy przejściu od działania

(4.29) do efektywnego działania (4.31) Autorka jedynie stwierdza, że po transformacji konforemnej (4.30) torsyjna część koneksji może zostać rozwiązana algebraicznie i podstawiona z powrotem do działania. Jest to jednak istotny krok rachunkowy i fizyczny, ponieważ właśnie eliminacja torsji prowadzi do nietrywialnej funkcji kinetycznej $K(h)$, która następnie wpływa na dynamikę inflacji. Przydatne byłoby pokazanie przynajmniej najważniejszych etapów tego wyprowadzenia. Podobnie perturbacje w sekcji 4.2 są zbyt skrótowo omówione. Autorka zaczyna od bardzo ogólnych perturbacji tetradów i spin connection, (4.57)-(4.60), po czym po dekompozycji (4.62) stwierdza, że można wykorzystać równania pola, aby wyrazić wszystkie perturbacje skalarne przez h , i praktycznie od razu dochodzi do działania (4.63) oraz Mukhanova-Sasakiiego. Nie pokazano dostatecznie jasno, które perturbacje są "gauge", które są niedynamicznymi więzami, które zostały wyeliminowane i dlaczego ostatecznie zostaje dokładnie jeden skalarny propagujący stopień swobody. Nie jest również dostatecznie wyjaśniona motywacja przejścia do układu Einsteina ani znaczenie tego wyboru dla późniejszego wyznaczania obserwabli inflacyjnych.

Prezentację utrudnia również nie zawsze fortunny dobór oznaczeń, zwłaszcza w kontekście całej rozprawy. Symbol h , używany w (4.29)–(4.32) dla pola Higgsa, wcześniej oznacza perturbację tensorową h_{ij} , jej amplitudę oraz występuje w widmie Δh^2 , natomiast w części 4.2.1 ponownie h oznacza skalarną perturbację. Takie wykorzystywanie tych samych lub bardzo podobnych symboli dla fizycznie różnych obiektów niepotrzebnie utrudnia śledzenie wyprowadzeń. Podobnie z parametrami γ_2 oraz γ_4 w rozdziale 4. W przydadku tak wielu wielkości fizycznych i matematycznych, przydałaby się tabela z użytymi oznaczeniami w rozprawie.

Podobnie, alternatywne rozszerzenia działania, takie jak człon Nieh-Yana, są wspomniane bardzo krótko bez szerszego wyjaśnienia ich relacji do przyjętego modelu. Dyskusja taka byłaby bardziej naturalna we wprowadzeniu do rozdziału, gdzie można byłoby jasno uzasadnić wybór rozważanego działania, wskazać możliwe alternatywy oraz wyjaśnić, dlaczego w dalszej analizie zachowany zostaje człon Holsta, natomiast człon Nieh-Yana zostaje pominięty. W obecnej wersji autorka jedynie stwierdza po (4.29), że Nieh-Yan może zostać dodany, ale nie będzie rozważany, ponieważ dalsza analiza koncentruje się na efektywnym sektorze Barbero-Immirziego.

Nie jest wystarczająco jasne, co dokładnie jest „modelem” analizowanym w rozdziale 4. Sekcje 4.1.1 i 4.1.2 omawiają inflację w teoriach Palatiniego-Higgsa i Einstein-Cartan Higgsa, dopiero 4.1.3 wprowadza się lewoprawosymetrycznym model. Czytelnik musi sam odtworzyć, które elementy wcześniejszych dwóch modeli są tylko pedagogicznym przygotowaniem, a które faktycznie zostają przejęte do analizowanego modelu.

Wyniki numeryczne są rozbudowane, ale ich interpretacja fizyczna mogłaby być bardziej uwypuklona. Abstrakt podaje właściwie najważniejszy wynik: w dopuszczonym przedziale ("viable region") zmiana efektywnego parametru Barbero-Immirziego nie ma statystycznie istotnego bezpośredniego wpływu na obserwabli skalarne. Skoro sektor perturbacji skalarnych ostatecznie redukuje się do standardowej postaci Mukhanova-Sasakiiego dla pojedynczego pola, a przeprowadzona analiza nie wykazuje statystycznie istotnej bezpośredniej zależności obserwabli skalarnych od efektywnego parametru Barbero-Immirziego, jaka sygnatura obserwacyjna pozwoliłaby odróżnić proponowany lewoprawosymetryczny model inflacyjny w formalizmie Einsteina-Cartana od standardowych modeli inflacji z pojedynczym polem skalarnym?

Ogólnie rozdział sprawia wrażenie najmniej dojrzałego redakcyjnie niż pozostałe części rozprawy: część istotnych kroków rachunkowych jest pominięta, podczas gdy niektóre poboczne możliwości rozszerzenia modelu pojawiają się bez wystarczającego osadzenia w głównej argumentacji. Może to częściowo wynikać z faktu, że przedstawione w tym rozdziale badania są najnowszą częścią rozprawy i, w przeciwieństwie do pozostałych głównych wyników, nie zostały jeszcze poddane pełnemu procesowi przygotowania i publikacji w formie artykułu. Co więcej, recenzentka wyraża nadzieję, że wyniki przedstawione w rozdziale 4 zostaną opublikowane, gdyż pomimo ich w dużej mierze fenomenologicznego charakteru stanowią interesujący i wartościowy materiał, zasługujący na publikację w dobrym czasopiśmie naukowym.

Rozdział 5 ma w dużej mierze charakter obserwacyjny i opiera się na zaawansowanych

metodach analizy danych, które wykraczają poza główny obszar specjalizacji recenzentki. Z tego względu recenzentka nie podejmuje się szczegółowej oceny zastosowanych procedur numerycznych i statystycznych ani technicznych aspektów przetwarzania danych.

Z tej perspektywy rozdział 5 stanowi wartościowe uzupełnienie wcześniejszych, bardziej teoretycznych części rozprawy, pokazując zdolność Doktorantki do zastosowania metod obserwacyjnych do problemów współczesnej kosmologii. Na szczególne podkreślenie zasługuje różnorodność wykorzystanych obserwacji oraz próba powiązania przewidywań teoretycznych z rzeczywistymi danymi. Pewien niedosyt pozostawia jednak fakt, że część obserwacyjna nie została bezpośrednio powiązana z modelami teoretycznymi rozwijanymi we wcześniejszych rozdziałach rozprawy, w szczególności w rozdziałach 2 i 4. Analiza możliwych sygnatur obserwacyjnych tych modeli stanowiłaby naturalne i bardzo interesujące domknięcie pracy, łącząc jej część formalną i fenomenologiczną z analizą danych przedstawioną w rozdziale 5.

Na pozytywną uwagę zasługuje fakt, że Autorka we Wstępie jednoznacznie określa swój indywidualny wkład w wieloautorskie prace stanowiące podstawę rozdziału 5. W przypadku analizy słabego soczewkowania obejmował on istotną część konstrukcji i analizy numerycznej, natomiast w badaniach korelacji galaktyk-SGWB udział Doktorantki był, jak sama zaznacza, bardziej ograniczony i dotyczył przede wszystkim testowania zachowania zmierzonych cross-spectra dla różnych założeń analizy.

Rozprawę uzupełniają cztery obszerne dodatki zawierające techniczne szczegóły dotyczące formalizmu ADM, statystycznego opisu pól kosmologicznych oraz perturbacji skalarnych i tensorowych. Ich obecność jest w większości uzasadniona i pozwala odciążyć główny tekst od długich wyprowadzeń technicznych. Pewne zastrzeżenia budzą jednak proporcje pomiędzy materiałem zawartym w dodatkach a prezentacją oryginalnych wyników w głównych rozdziałach. W szczególności Dodatek D zawiera bardzo szczegółowe wyprowadzenie standardowego działania kwadratowego dla perturbacji skalarnych i równania Mukhanova-Sasakiego, podczas gdy niektóre istotne etapy wyprowadzeń specyficznych dla modelu analizowanego w rozdziale 4 przedstawiono znacznie bardziej skrótowo. Moim zdaniem korzystniejsze byłoby poświęcenie większej uwagi właśnie tym elementom rachunku, które są niezbędne do zrozumienia rozdziałów 2, 4 i 5. Podobnie część materiału zawartego w Dodatku A pokrywa się tematycznie z wprowadzeniem do formalizmu $3+1$ i dynamiki z więzami w rozdziale 1, co miejscami prowadzi do niepotrzebnego powtarzania materiału o charakterze podręcznikowym.

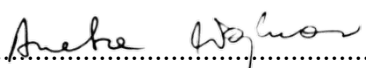
Pewien niedosyt pozostawia stosunkowo ograniczona interpretacja fizyczna uzyskiwanych wyników, szczególnie w bardziej formalnych częściach rozprawy. Praca zawiera bardzo rozbudowane wyprowadzenia matematyczne i analizy techniczne, natomiast fizyczne znaczenie niektórych z najciekawszych rezultatów jest omawiane znacznie krócej. Szczególnie wyraźnym przykładem jest dodatkowy stopień swobody pojawiający się w teorii analizowanej w rozdziale 2. Dopiero we wnioskach Autorka zwraca uwagę, że może on być interpretowany, na poziomie klasycznych równań ruchu, jako efektywny wkład grawitacyjny odpowiadający bezciśnieniowej cieczy doskonałej ("pressureless perfect fluid"), oraz wskazuje na interesujący możliwy związek tego rezultatu z problemem czasu w grawitacji kwantowej. Jest to, moim zdaniem, jeden z bardziej interesujących fizycznie rezultatów omawianego modelu i zasługiwałby na znacznie szerszą dyskusję już w rozdziale 2, bezpośrednio po analizie liczby stopni swobody.

Ogólnie rozprawa jest zdecydowanie bardziej skoncentrowana na formalnym wyprowadzeniu wyników niż na ich fizycznej interpretacji; w kilku miejscach dopiero wnioski pozwalają w pełni dostrzec fizyczne znaczenie rezultatów przedstawionych wcześniej przede wszystkim w języku matematycznym.

Osobiście doceniam obecne w rozprawie humorystyczne komentarze, historyczne wątki oraz nietypowe elementy graficzne, takie jak symbole kawy czy Neptuna pojawiające się m.in. we wzorach (4.80) oraz (2.68)–(2.71), które nadają pracy indywidualny i nieco mniej formalny charakter. Miejscami jednak komentarze wydają się stosowane zbyt często lub pojawiają się w fragmentach o wyraźnie technicznym charakterze, przez co mogą niepotrzebnie rozpraszać

czytelnika. Zdaniem recenzentki tego rodzaju komentarze lepiej byłoby umieszczać w przypisach lub, ewentualnie, w tekstach wprowadzających i podsumowujących poszczególne części pracy, pozostawiając fragmenty techniczne możliwie precyzyjne, przejrzyste i bezosobowe.

Dokonując końcowej oceny rozprawy, odwołuję się do kryteriów określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. W świetle tych przepisów rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydatki w dyscyplinie, wykazywać umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz przedstawiać oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W mojej ocenie rozprawa mgr Mehraveh Nikjoo spełnia wszystkie powyższe wymagania.

.....

dr hab. Aneta Wojnar, prof. UWr
Instytut Fizyki Teoretycznej
Wydział Fizyki i Astronomii
Uniwersytet Wrocławski