

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr Bartłomieja Kiczka
pt. “Structures and traces of dark matter in different physical systems - from condensed matter to black hole physics”
(Struktury i ślady ciemnej materii w różnych układach fizycznych - od materii skondensowanej do fizyki czarnych dziur)

Uwaga: recenzja sporządzana jest w oparciu o przepisy ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (dalej “ustawa Poszwin”).

Rozprawa doktorska mgr Bartłomieja Kiczka pt. “Structures and traces of dark matter in different physical systems - from condensed matter to black hole physics” dotyczy badania zagadnień związanych z oddziaływaniem specyficznej formy ciemnej materii (w pracy rozważano aksiony i ciemne fotony) ze specyficznymi formami znanych obiektów fizycznych w celu określenia możliwych modyfikacji standardowej fizyki oraz możliwych obserwacyjnych konsekwencji takich modyfikacji. Trzon pracy stanowi pięć opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych: 1) Kiczek, B.; Rogatko, M. “*Ultra-compact spherically symmetric dark matter charged star objects*” J. of Cosm. and Astropar. Phys (JCAP) 09 (2019) 049 (punktacja wg. wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych MEiN - 100 pkt w dyscyplinach astronomii i nauk fizycznych; udział autora rozprawy w publikacji - 50%); 2) Kiczek, B.; Rogatko, M. “*Influence of dark matter on black hole scalar hair*” Phys. Rev. D, 101 (2020) 084035 (punktacja wg. wykazu MEiN - 140 pkt; udział autora rozprawy w publikacji - 50%); 3) Kiczek, B.; Rogatko, M.; Wysokiński, K.I. “*Holographic DC SQUID in the presence of dark matter*” JCAP 01 (2021) 063 (punktacja wg. wykazu MEiN - 100 pkt; udział autora rozprawy w publikacji - 52%); 4) Kiczek, B.; Rogatko, M. “*Axionlike dark matter clouds around rotating black holes*”, Phys. Rev. D 103 (2021) 124021 (punktacja wg. wykazu MEiN - 140 pkt; udział autora rozprawy w publikacji - 70%); 5) Kiczek, B.; Rogatko, M. “*Static axionlike dark matter clouds around magnetized rotating wormholes - probe limit case*”, Eur. Phys. J. C 82 (2022) 586 (punktacja wg. wykazu MEiN - 140 pkt; udział autora rozprawy w publikacji - 70%). Wszystkie powyższe artykuły zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Wszystkie są artykułami kilku-autorskimi, w których kandydat do stopnia doktora jest autorem pierwszym. W przypadku większości artykułów, na podstawie złożonych oświadczeń współautorów, należy uznać rolę kandydata za wiodącą, a w przypadku artykułów 4 i 5 za dominującą. Powyższy zbiór artykułów opatrzony jest trzema rozdziałami wstępu, opisem zawartości artykułów, opisem innej działalności naukowej autora rozprawy, opisem możliwości rozszerzenia zaprezentowanych badań w przyszłości oraz oświadczeniami współautorów artykułów wchodzących w skład rozprawy. Rozprawa napisana jest w języku angielskim i opatrzona streszczeniami w języku polskim i angielskim. Tym samym należy uznać, że **forma rozprawy doktorskiej mgr Bartłomieja Kiczka pt. “Structures and traces of dark matter in different physical systems - from condensed matter to black hole physics” spełnia wymogi określone w art. 187 ust. 3 i 4 ustawy Poszwin.**

Rozdział I rozprawy prezentuje krótkie wprowadzenie do zagadnień związanych z fizyką ciemnej materii (DM), historią kształtowania się idei obecności ciemnej materii we Wszechświecie, oszacowania jej ilości oraz prób odpowiedzi na pytanie czym jest DM.

Rozdział II stanowi bardziej szczegółowy wstęp teoretyczny do zagadnień prezentowanych w artykułach naukowych stanowiących podstawę rozprawy, w tym prezentację różnych idei zmierzające do wyjaśnienia istoty DM. Po krótkim zaprezentowaniu pomysłu rozszerzenia Modelu Standardowego o nowe cząstki będące składnikami DM autor rozprawy wymienia problemy związane z najszerzej dotychczas rozważaną ideą Weakly Interacting Massive Particle (WIMP) i skupia się na przedstawieniu fizyki aksionów i ciemnych fotonów. W podrozdziałach poświęconych tym cząstkom prezentuje podstawy teoretyczne ich fizyki, możliwe oddziaływania tychże cząstek ze znanymi formami materii oraz prezentuje najważniejsze wyniki dotychczas przeprowadzonych eksperymentów mających na celu ich wykrycie. Jako konkurencyjne wyjaśnienie DM autor przedstawia podstawy alternatywnych teorii grawitacji (w tym w szczególności Modified Newtonian Dynamics - MOND). Trzecią z alternatyw stanowi opis obiektów makroskopowych, takich jak Massive Astrophysical Compact Halo Object - MACHO, jako najmniej egzotycznego, ale i najlepiej eksperymentalnie ograniczonego wyjaśnienia DM.

Drugą część rozdziału stanowi wstęp teoretyczny do idei czarnych dziur “z włosami” jako wyniku rozszerzenia standardowej teorii grawitacji o dodatkowe pola umożliwiające otrzymanie rozwiązań nieobjętych twierdzeniem “black holes have no hairs”. Część trzecia przedstawia podstawy teoretyczne związku pomiędzy czasoprzestrzenią anty-de Sitter’a, a konforemna teorią pola. Związek ten umożliwia rozważanie zagadnień kwantowej teorii pola stosując metodykę znaną z teorii grawitacji i został wykorzystany w artykule 3 wchodzący w skład rozprawy.

Rozdział III przedstawia opis metod wykorzystywanych w badaniach będących przedmiotem rozprawy. Omówiono metody analityczne otrzymywania równań ruchu analizowanych systemów, sposoby określania warunków brzegowych oraz asymptot oraz niektórych funkcji termodynamicznych określających stan układu. W ramach opisu metod numerycznych rozwiązywania otrzymanych równań uwzględniono metody analizy spektralnej (metoda kolokacji - pseudo-spectral collocation method), metodę strzałów (shooting method) i wariant widmowy metody różnic skończonych.

Rozdział IV stanowią opublikowane artykuły naukowe stanowiące podstawę rozprawy poprzedzone krótkimi streszczeniami poszczególnych publikacji zawierającymi zwięzłe omówienie analizowanych zagadnień i otrzymanych wyników.

Artykuł 1 dotyczy badania wpływu dodania dodatkowego pola z “ciemnego sektora” - ciemnych fotonów, do układu opisującego zwarty obiekt gwiazdowy. Otrzymano rozwiązanie opisujące czasoprzestrzeń wokół zwartego obiektu naładowanego mieszaniną ładunków elektrycznego i “ciemnego”. Dla otrzymanej czasoprzestrzeni wyprowadzono również równanie Tolman’a-Oppenheimer’a-Volkoff’a dla ciekłej sfery. Pokazano, że w przypadku niezerowego ciemnego ładunku, sfera może osiągnąć mniejsze rozmiary niż w przypadku jedynie ładunku “klasycznego”. Numerycznie przeanalizowano proces powstawania “włosów” w postaci kondensatu pola skalarnego wokół obiektu zwartego.

Artykuł 2 stanowi kontynuację badań podjętych w artykule 1 dotyczących pól skalarnych wokół obiektów zwartych przy obecności ciemnych fotonów, przy uwzględnieniu

wpływu “ciemnego sektora” na metrykę czasoprzestrzeni. Pokazano, że większy wpływ “ciemnego sektora” ogranicza możliwość powstawania skalarnych “włosów” wokół obiektów zwartych.

Artykuł 3 wykorzystuje związek pomiędzy czasoprzestrzenią anty-de Sitter’a, a konformna teorią pola do badania własności kwantowego urządzenia nadprzewodzącego (superconducting quantum interference device - SQUID), składającego się z dwóch złącz Josephson’a znajdujących się pod wpływem obecności “ciemnego sektora”. Pokazano, że obecność w urządzeniu cząstek ciemnej materii może wywołać widoczny efekt zmiany maksymalnego prądu złącza. Wskazano również na możliwość wykorzystania wyników do budowy detektorów ciemnej materii.

Artykuł 4 prezentuje wyniki numerycznej analizy możliwości formowania się stacjonarnych struktur aksjonowych wokół czarnych dziur z polem magnetycznym i czarnych dziur Kerr’a-Newmann’a. Pokazano, że rozkład przestrzenny obłoków aksjonowych zależy od masy aksjonu oraz, w przypadku KN BH, spinu czarnej dziury. Wskazano również, że efekty występowania aksjonów są większe dla mniejszej masy aksjonu.

Artykuł 5 zawiera, podobną do opisanej w artykule 4, analizę struktury obłoków aksjonowych wokół tuneli czasoprzestrzennych (wormhole).

Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata

Ogólna wiedza teoretyczna kandydata zaprezentowana jest we wstępnych rozdziałach rozprawy, a także we wstępach do poszczególnych artykułów naukowych wchodzących w skład rozprawy. Wstępne rozdziały rozprawy są napisane dość pobieżnie, zwłaszcza w zakresie ogólnych informacji o ciemnej materii. Brakuje w nich wielu odwołań do przeglądowej literatury (np. Bertone, Hopper & Silk 2005). Nie są również uwzględnione niektóre z teorii ciemnej materii, np. cała gama teorii obejmującej neutrina, w tym np. neutrina sterylne. Niektóre ze stwierdzeń zawartych w rozprawie uważam za przedwczesne, np. “the WIMP paradigm is falling apart”, czy “There is no doubt that axions constitute one of the most prominent candidates for dark matter”. Nie przedstawiono również wielu wyników eksperymentów laboratoryjnych nakierowanych na wykrycie ciemnej materii. W tym zakresie znamienym jest, że informacja o teoriach dotyczących makroskopowego wyjaśnienia istoty DM nie wspomina o polskim eksperymencie OGLE i jego wynikach (np. Udalski, Szymański & Szymański 2015 i cytowania tamże). Znacznie lepiej pod względem szczegółowości opisu przedstawiają się rozdziały dotyczące bezpośrednio zakresu rozprawy, w tym w zakresie przedstawienia danych eksperymentalnych. Jednak i tam nie uwzględniono np. analizy stabilności i zbieżności zastosowanych metod numerycznych. Bibliografia rozprawy liczy jedynie 69 pozycji (odliczając prace autora rozprawy), co również wydaje się zakresem mocno ograniczonym. W przypadku informacji ogólnych przedstawionych we wstępach do artykułów naukowych trudno jest określić, ze względu na udział kilku autorów, które z przedstawionych zagadnień zostały przedstawione przez autora rozprawy. Opisy, jako ograniczone do zagadnień poruszanych w artykułach, mają również mocno ograniczony charakter.

Jednocześnie należy stwierdzić, że przedstawienie pełnego opisu zagadnień poruszanych w rozprawie znacznie wykracza poza ramy oczekiwań stawianych tego typu opracowaniom. Poszukiwania ciemnej materii stanowią obecnie jeden z podstawowych

problemów współczesnej astronomii, astrofizyki, fizyki cząstek i fizyki, owocujący ogromną liczbą publikacji, nowych idei, eksperymentalnych wyników i analiz. Dlatego **ogólny poziom wiedzy teoretycznej kandydata w dyscyplinie nauk fizycznych należy ocenić jako dobry, a tym samym spełniający wymogi art. 187 ust. 1 ustawy Poszwin, w tym zakresie.**

Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Zakres zagadnień poruszany w rozprawie doktorskiej mgr Bartłomieja Kiczka jest bardzo szeroki. Obejmuje analityczne rozwiązywanie równań w ramach ogólnej teorii względności, w tym w układach zawierających rozszerzenia standardowej teorii. Rachunki analityczne są uzupełnione zaawansowanymi metodami numerycznymi wymagającymi biegłości w posługiwaniu się komputerem. Przedstawione w artykułach opisy rozwiązań oraz wnioski z nich wynikające są przedstawione w sposób jasny i zrozumiały. Na wyróżnienie zasługuje fakt, że pięć artykułów wchodzących w skład rozprawy zostało opublikowanych w latach 2019-2022, co jest okresem bardzo krótkim jak na początkującego badacza. Artykuły te przeszły procesy recenzenckie, co zapewne również wymagało od kandydata rozszerzenia warsztatu badawczego o umiejętność odpowiedzi na ewentualne komentarze do przeprowadzonych analiz.

Na wyróżnienie zasługuje dobór i użycie metod numerycznych stosowanych do rozwiązywania badanych zagadnień. Są to metody bardzo różnorodne, zaawansowane i wymagające biegłości w programowaniu i stosowaniu tego typu metod. Świadczy to o niewątpliwej zdolności autora samodzielnego doboru optymalnych metod badawczych z szerokiego zakresu posiadanych umiejętności.

Rozprawa napisana jest w całości w języku angielskim, w sposób lekki i poprawny. Zawiera jedynie kilka błędów redakcyjnych zupełnie nie rzutujących na całkowity, pozytywny odbiór pracy. Układ rozdziałów i zawartych w nich informacji jest logiczny i świadczy o przemyśleniu struktury rozprawy przez jej autora.

Ocena w zakresie umiejętności samodzielnego prowadzenia badań na podstawie przedstawionych publikacji jest jednak utrudniona ze względu na brak szczegółowej informacji na temat osobistego wkładu autora rozprawy w powstanie poszczególnych artykułów. Zawarte w rozprawie oświadczenia współautorów zawierają jedynie procentowe wskaźniki udziału co nie pozwala określić, które części artykułu zostały opracowane samodzielnie przez autora rozprawy. Informacji takiej nie zawierają również opisy publikacji zawarte w rozprawie.

Przedstawione w rozprawie plany na przyszłość są dość skąpe. Zawierają jedynie zdawkowe informacje na temat możliwych kontynuacji analiz przedstawionych w opublikowanych artykułach jednak nie przedstawiają żadnych wstępnych oszacowań możliwych do otrzymania rezultatów lub zastosowań otrzymanych ewentualnych wyników.

Przedstawione w rozprawie inne aktywności naukowe kandydata obejmują prezentacje na konferencjach naukowych (zarówno w formie plakatów jak i referatów), w tym międzynarodowych oraz 7 dodatkowych publikacji niewchodzących w skład rozprawy, z których większość dotyczy badań z dziedziny zastosowań informatyki. Świadczy to o dużej uniwersalności naukowej kandydata i umiejętności zastosowania posiadanych umiejętności badawczych w różnych dyscyplinach współczesnej nauki.

Podsumowując, **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej kandydata należy ocenić bardzo wysoko, tym samym spełnia on wymagania określone w art. 187 ust. 1 ustawy Poszwin w tym zakresie.**

Ocena, czy rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Poszukiwanie ciemnej materii stanowi jeden z najbardziej intensywnych obszarów badań współczesnej astronomii i fizyki. Poszukiwania te wymagają zaangażowania bardzo szerokiego spektrum metod badawczych - od sprawdzania nowych koncepcji na gruncie fizyki teoretycznej, poprzez numeryczne rozwiązywanie równań układów fizycznych i oddziaływań obejmujących współistnienie ciemnej materii ze znanymi formami materii, do najbardziej zaawansowanych metod eksperymentalnych. Badania te mają wpływ na nasze rozumienie mechanizmów funkcjonowania Wszechświata w szeregu dziedzinach, od fizyki cząstek elementarnych, poprzez formowanie się i ewolucję gwiazd i galaktyk, po najszerszej rozumianą kosmologię. Badania przedstawione w rozprawie doskonale wpisują się w te trendy współczesnej fizyki. Na uwagę zasługuje fakt, że mimo krótkiego okresu, który upłynął od publikacji artykuły stanowiące podstawę rozprawy doczekały się już prawie 30 cytowań, co należy uznać za wynik bardzo dobry.

Wszystkie artykuły wchodzące w skład rozprawy stanowią oryginalne rozwiązanie zaprezentowanych tam problemów naukowych. Stanowią zwartą i naukowo oraz logicznie spójną całość, od sformułowania problemu, poprzez analityczne wyprowadzenie równań opisujących badany układ fizyczny, dobór metody rozwiązywania tychże równań (w tym metody numerycznej), określenie warunków brzegowych, prezentację otrzymanych rozwiązań po dyskusję ostatecznych wyników. Wszystkie publikacje wchodzące w skład rozprawy nie dotyczą jednego zagadnienia - w zasadzie można wyróżnić trzy grupy tematyczne: 1) wpływ "ciemnego sektora" w postaci ciemnych fotonów na czasoprzestrzeń wokół zwartych obiektów kosmicznych (artykuły 1 i 2), 2) rozkład obłoków aksjonowych wokół czarnych dziur i tuneli czasoprzestrzennych (artykuły 4 i 5) oraz 3) wykorzystanie dualizmu AdS/CFT do badania wpływu ciemnej materii na własności złącza typu SQUID. Biorąc pod uwagę realizację współcześnie prowadzonych badań, tak różnorodny zakres zagadnień należy uznać za niewątpliwą zaletę rozprawy.

Jak zaznaczył sam autor rozprawy próby wyjaśnienia zagadki ciemnej materii znajdują się obecnie w fazie pewnej stagnacji. Po fazie rozkwitu spowodowanego odkryciem zjawiska ciemnej materii i wielością teorii starających się wytłumaczyć jego fizykę brak obserwacyjnego potwierdzenia nowych teorii stanowi zagadkę samą w sobie. Tym większe znaczenie mają próby analizowania nowych idei, badania konsekwencji obserwacyjnych postulowanych nowych rozwiązań oraz szerokiego spojrzenia na badane zjawiska. Badania stanowiące przedmiot rozprawy doskonale wpisują się w te potrzeby.

Szerokie perspektywy badań w przyszłości stanowią dodatkowy atut rozprawy. Zapewniają one, że tematyka badań poruszonych w rozprawie będzie aktualna jeszcze w przyszłości. Tym bardziej szkoda, że rozdział rozprawy dotyczący planów na przyszłość został potraktowany przez kandydata tak zdawkowo.

Biorąc pod uwagę powyższe argumenty należy uznać, że **przedmiotem rozprawy doktorskiej jest niewątpliwie oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i tym samym spełnia ona wymogi określone w art. 187 ust. 1 ustawy Poshwin.**

Podsumowując, w mojej opinii **rozprawa doktorska mgr Bartłomieja Kiczka pt. "Structures and traces of dark matter in different physical systems - from condensed matter to black hole physics"** spełnia wszystkie zwyczajowe i formalne wymogi stawiane tego typu opracowaniom, w tym określone w art. 187 ust. 1-4 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i nie widzę przeszkód w dopuszczeniu kandydata do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora nauk fizycznych.