



prof. dr hab. Mariusz P. Dąbrowski
Kierownik - Szczecińska Grupa Kosmologiczna
Instytut Fizyki, Uniwersytet Szczeciński

ul. Wielkopolska 15, 70-451 Szczecin
tel: (+48) 91 4441248; fax: (+48) 91 4441427;
<http://cosmo.usz.edu.pl>

Mariusz.Dabrowski@usz.edu.pl

Szczecin, 02.06.2023

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGR INŻ. BARTŁOMIEJA KICZKA
pt. "Structures and traces of dark matter in different physical systems – from condensed matter to black hole physics"

Współczesna kosmologia ma dwa główne problemy do rozwiązania. Jednym z nich jest istnienie ponad 70% zawartości Wszechświata w postaci ciemnej energii, czyli materii o globalnym ujemnym ciśnieniu, a drugim jest istnienie ok. 25% zawartości Wszechświata w postaci ciemnej materii, której efekt grawitacyjny obserwujemy, ale samej tej materii nie widzimy, bo ona nie świeci. Problem ciemnej materii ma dłuższą historię, ale obserwacyjny dowód istnienia ciemnej energii pojawił się w latach 1998-99 i całkowicie przypieczętował skalę naszej niewiedzy o Wszechświecie i zapewne jest poważniejszy, bowiem do tej pory nie ma przekonującego argumentu na temat natury fizycznej ciemnej energii poza fenomenologiczną interpretacją jako stała kosmologiczna. Inaczej jest z problemem ciemnej materii – tutaj jest sporo „konkretnych” propozycji wyjaśnienia w oparciu o istniejące lub twardo postulowane w fizyce cząstki. Wśród nich cała plejada propozycji takich jak słabo oddziałujące cząstki masywne (WIMPs), cząstki supersymetryczne, ale także fenomenologiczna propozycja Milgroma modyfikacji teorii Newtona znana pod nazwą MOND.

Na tym tle pojawia się praca doktorska mgr inż. Bartłomieja Kiczka, który rozważa jeszcze inne propozycje takie jak pseudoskalarna cząstka zwana aksjonem motywowana łamaniem symetrii CP dla oddziaływań silnych oraz teorią superstrun, jak również ciemne fotony pojawiające się jako nieobserwowany sektor na podobieństwo zwykłych fotonów i ujawniające się poprzez oddziaływanie z tymi „zwykłymi” fotonami.

Rozprawa powstała na bazie pięciu opublikowanych prac w czasopismach o wysokim parametrze wpływu takich jak Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, Physical Review D, czy też European Physical Journal C. Doktorant ma też w dorobku 1 pracę z innej niż doktorat tematyki, 5 prac konferencyjnych oraz kilka prac z zakresu informatyki. Publikacje są względnie nowe (2019-22) i jeszcze niezbyt intensywnie cytowane – liczba cytowań wynosi 17. Indeks Hirscha dla całego dorobku p. mgr inż. B. Kiczka wynosi $h=3$.

Rozprawa zawiera 124 strony i jej struktura nie jest typową pracą pisemną, lecz składa się z 28-stronicowego wprowadzenia (rozdziały 1-3) a następnie z 13-stronicowego omówienia głównych

wyników prac opublikowanych (rozdział 4.1), które następnie są załączone w oryginale na stronach 42-112 (rozdział 4.2) i podsumowane na stronach 113-14. Załączona na stronach 120-124 bibliografia zawiera 75 pozycji.

Warto wspomnieć, iż rozdziały 1-3 obejmują bardzo szeroki kontekst rozważań prowadzonych w rozprawie począwszy od genezy fenomenu ciemnej materii i różnych sposobów jego wyjaśnienia, eksperymentów mogących potwierdzić jej istnienie, konkretnych propozycji cząstek ciemnej materii (nieobjętych i objętych tematyką rozprawy), wyjaśnienia wypływające ze zmian natury oddziaływania grawitacyjnego itp. Autor przedstawia także zbiorczo metody teoretyczne i numeryczne zastosowane w pracy w rozdziale 3.

Krótko omówię zasadniczą treść i rezultaty poszczególnych prac opisanych w rozdziale 4 oraz załączonych jako reprinty. Czasami będę się odnosił do opisu własnego doktoranta a czasami do oryginalnych prac.

W rozdziale 4.1.1 (opartym na pracy JCAP 09, 049, 2019) rozważany jest model oddziałujących ze sobą sektorów standardowego i ciemnego fotonów. Na uwagę zasługuje, jak bym to nazwał, „idealnie separowalne” rozwiązanie (4.7) typu Reissnera-Nordströma (RN) w przypadku znikania członu oddziaływania przypominające rozwiązanie RN z oboma ładunkami – elektrycznym i magnetycznym. Jednym z wyników jest, iż tak podwójnie naładowany obiekt, który niekoniecznie musi być czarną dziurą a po prostu obiektem zwartym, ma mniejsze rozmiary, gdy weźmie się pod uwagę ciemny sektor. Dopuszczalne są też rozwiązania z tzw. „włosami”.

Rozdział 4.1.2 (oparty na pracy PRD 101, 084035, 2020) poświęcony jest rozszerzonemu modelowi ze spinorowym polem Diraca, dodatkowo uzupełnionym członem brzegowym Gibbonsa-Hawkinga w celu ograniczenia poszukiwanych rozwiązań do zadanej hiperpowierzchni 3-wymiarowej w 4-wymiarowej czasoprzestrzeni. W zależności od uzyskanych wartości potencjału chemicznego oraz temperatury (w myśl termodynamicznej interpretacji czarnych dziur), ta konfiguracja pozwala na trzy różne stany fazowe obiektów zwartych: czarną dziurę typu RN, czarną dziurę z włosami oraz gwiazdę bozonową. Ciekawostką jest, iż na diagramie fazowym pojawiają się punkty, które są niezmiennicze ze względu na zmiany ciemnego sektora, nazywane punktami izobestycznymi.

Kluczowym zagadnieniem rozważanym w rozdziale 4.1.4 (PRD 103, 124021, 2021) jest model aksjonu opierający się na równaniu Kleina-Gordona ze sprzężeniem do pola elektromagnetycznego. Celem było tutaj zamodelowanie stacjonarnych rozwiązań dla czarnych dziur dopuszczających chmury aksjonowe wokół tych obiektów, które mogłyby służyć jako źródła ciemnej materii. Jeszcze bardziej spektakularne rozwiązania pojawiają się w rozdziale 4.1.5 (EPJC 82, 586, 2022), gdzie chmury aksjonowe ciemnej materii mogą współistnieć wokół namagnesowanych rotujących tuneli czasoprzestrzennych. Szokuje to nie tylko jako uogólnienie rozwiązania Kerra dla czarnej dziury, ale również tym, iż do tej pory nie odkryto żadnego tunelu czasoprzestrzennego. Jednak ciekawym jest, iż konfiguracje ciemnej materii wokół tuneli są zdecydowanie inne niż dla czarnych dziur i mogłyby służyć do jednoznacznego odróżnienia tych pierwszych od tych drugich.

Rozdział, który wydzieliłem na koniec, tzn. 4.1.3 (praca JCAP 01, 063, 2021) nieco odbiega od głównego „relatywistycznego” nurtu rozprawy (choć jest dobrze odzwierciedlony w tytule) i podejmuje próbę modelowania efektu ciemnego sektora poprzez abelowy bozon Higgsa w celu jego detekcji za pomocą SQUIDs, czyli urządzeń do badania kwantowej interferencji w stanie nadprzewodnictwa. Chodzi o tzw. złącze Josephsona zanurzone w pętli nadprzewodzącej jak pokazano na rys. 1 ww. pracy. Okazuje się, iż SQUID jest czuły (choć nieznacznie) na obecność ciemnego sektora, którego cząstki przechodzą przez to urządzenie. To podejście jest alternatywą do innych obserwacyjnych testów ciemnej materii i daje dużą perspektywę dla przyszłych jeszcze dokładniejszych testów. Na uwagę zasługuje wszechstronność zainteresowań doktoranta i interdyscyplinarny charakter przeprowadzonych badań.

Moje uwagi krytyczne odnoszą się do następujących kwestii:

- W pracy brakuje mi całościowego i spójnego podsumowania wyników kilku prac w spójny sposób dla całości. Zamiast tego na stronie 114 (rozdz. 4.4) mamy propozycje przyszłych badań, ale czytelnik powinien być przekonany o istotności uzyskanych wyników w krótkich kilku zdaniach (jakie hipotezy, czy hipotezy zostały potwierdzone, jakie wyniki scalające kilka zastosowanych podejść?).
- We wzorze (4.19), str. 32 przyjęto temperaturę Hawkinga jako referencyjną. Pytaniem jest, czy ta temperatura jest adekwatnie zdefiniowana dla czarnych dziur z włosami? Czy nie podlega ona modyfikacji w jakichś ogólniejszych przypadkach? Mam tu na myśli także definicję (3.16) na str. 23.
- We wzorze (3.10) (JCAP 09, 049, 2019) parametr ζ nie jest zdefiniowany. Jednocześnie we wzorze (4.24) str. 35, ζ jest definiowana jako stała sprzężenia standardowego i ciemnego fotonu.
- Czy we wzorach (4.14) i (4.15) (JCAP 09, 049, 2019), w granicy znikającego ciemnego sektora, odzyskujemy standardowe limity dla relacji pomiędzy masą a promieniem obiektu? Przydałaby się krótka dyskusja porównawcza.
- W działaniu na stronie 38 mamy parametr masy μ a ta litera była już wprowadzana jako potencjał chemiczny w 4.1.2, natomiast masa tam była oznaczana jako m .
- Tekst przed wzorem (3.2), str. 20 jest naiwny („widely known”), tym bardziej w kontekście całej „artylerii” bardziej zaawansowanych fizycznie zagadnień. Chyba „using the variational principle” albo „using underlying physical principle of least action” brzmiałoby lepiej.
- Czy we wzorach (2.5)-(2.7) (praca o SQUID) ζ zastąpiła α ze wzoru (2.4)?

Ogólnie mogę stwierdzić, iż rozprawa w formie wprowadzenia i przeglądu opublikowanych prac jest dosyć klarownie napisana, zawiera poprawne obliczenia analityczne oraz numeryczne i poprawne wytłumaczenia badanych teorii. Oparta jest na pracach, które pojawiły się w wysoko punktowanych czasopismach. Zawiera także dosyć obszerne wyjaśnienia modeli fizycznych oraz narzędzi matematycznych i numerycznych użytych do dyskusji.

Podsumowując uważam, iż rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Kiczka stanowi ważny wkład w rozwój astrofizyki, kosmologii i teorii obiektów zwartych. Stwierdzam, że **spełnia ona z należytą wymogi ustawowe (art. 187 ust. 1, 2 i 3 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dn. 20 lipca 2018) stawiane osobom ubiegającym się o stopień naukowy doktora.** W związku z tym rekomenduję rozprawę p. mgr inż. Bartłomieja Kiczka do publicznej obrony.