

Dr hab. Dariusz Prorok

Instytut Fizyki Teoretycznej
Uniwersytet Wrocławski

Wrocław, 3 kwietnia 2015

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. Rafała Łastowieckiego

“Nambu-Jonna-Lasinio quark matter modeling for neutron stars physics”

Tematyka rozprawy dotyczy zagadnień związanych z fizyką gwiazd neutronowych, w szczególności modelowania ich gęstych wnętrza za pomocą modelu Nambu-Jonna-Lasinio (NJL) materii kwarkowej. Oryginalne wyniki zawarte w rozprawie pochodzą z następujących publikacji (zachowuję porządek autorów i dodaję mój szacunek procentowego wkładu do całości rezultatów rozprawy):

1. T. Klähn, R. Łastowiecki, D. Blaschke, **Phys.Rev. D88**, 085001 (2013), 70% .
2. D. Blaschke, T. Klähn, R. Łastowiecki, F. Sandin, **J.Phys. G37**, 094063 (2010), 15% .
3. R. Łastowiecki, D. Blaschke, H. Grigorian, S. Typel, **Acta Phys.Polon.B Proc.Supp. 5** (2012) 535, poniżej 10% .
4. D. Blaschke, J. Berdermann, R. Łastowiecki, **Prog.Theor.Phys.Suppl. 186** (2010) 81, poniżej 10% .

Tylko pierwsza praca jest zwykłym artykułem (ale jej udział jest dominujący), pozostałe są zamieszczone w sprawozdaniach konferencyjnych, choć prezentują oryginalne wyniki. Rezultaty prac 1 i 2 są w całości omówione w rozprawie. Z powyższego wynika jasno, że drugim istotnym autorem wyników jest dr Thomas Klähn. Według informacji uzyskanych bezpośrednio od niego, rozwiązywał on równanie Tolmana-Oppenheimera-Volkofa (TOV) w oparciu o równania stanu otrzymane przez mgr. Rafała Łastowieckiego. W skrócie, prezentowane wyniki są rezultatem rozwiązywania układu równań – wymienionego już równania TOV, które wiąże lokalne ciśnienie w gwiazdzie z jej lokalną gęstością oraz równania stanu materii gwiazdy, które podaje związek ciśnienia z gęstością. Otrzymanie

równania stanu nie jest trywialnym zadaniem, gdyż wymaga minimalizacji wieloparametrowego potencjału termodynamicznego w obecności więzów. Dodatkowo, ponieważ dwa kluczowe parametry modelu są traktowane jako parametry wolne, każdej rozpatrywanej parze ich wartości odpowiada inne równanie stanu, w sumie takich par było około 1000 – tyle samo różnych równań stanu. Moim zdaniem badania wykonane przez mgr. Rafała Łastowieckiego spełniają wymóg oryginalnego rozwiązania problemu naukowego oraz dowodzą umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, zgodnie z artykułem 13 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, w wersji przed nowelizacją w 2011 r. (dalej w skrócie „Ustawa”) - taki tryb wybrał mgr Rafał Łastowiecki.

Przejdę teraz do oceny merytorycznej rozprawy. Badania opisane w rozprawie dotyczą możliwości istnienia gwiazd neutronowych w tzw. wersji hybrydowej, to znaczy z wnętrzem wypełnionym materią kwarkową zamiast zwykłej materii nukleonowej. Przewidywania teoretyczne na masę takiej gwiazdy są skonfrontowane z najnowszymi pomiarami dwóch wyjątkowych gwiazd neutronowych – o masach równych mniej więcej dwóm masom Słońca. Wyjątkowość polega na tym, że najbardziej precyzyjne pomiary masy gwiazd neutronowych dawały do tej pory wartość około 1,4 masy Słońca. Dysponując równaniem stanu, o którym była mowa wcześniej, i przyjmując jako warunek początkowy zadaną wartość gęstości w środku gwiazdy (tzw. gęstość centralną), można rozwiązać równanie TOV i w efekcie otrzymać jej promień i masę. Te dwie charakterystyki gwiazdy neutronowej zostały wyznaczone w zakresie gęstości centralnej 2-10 razy normalna gęstość jądrowa i przedstawione na wykresach masa-promień i masa-gęstość centralna. Maksimum na tych wykresach odpowiada maksymalnej możliwej masie gwiazdy neutronowej przy zadanym równaniu stanu. Teraz wyjaśni się wyjątkowość pomiarów masy gwiazdy neutronowej jako dwukrotność masy Słońca – masa równa 1,4 masy Słońca nie wyklucza praktycznie żadnego równania stanu funkcjonującego na rynku. Równania stanu badane w rozprawie opisują materię z przejściem fazowym materia jądrowa – materia kwarkowa, zrealizowanym za pomocą konstrukcji Maxwella. Materia kwarkowa opisana jest modelem NJL a jej równanie stanu otrzymano stosując przybliżenie średniego pola. Natomiast za równanie stanu materii jądrowej przyjęto wynik metody Diraca-Bruecknera Hartree-Focka (DBHF). Jedyne wolne parametry całościowego opisu to stałe sprzężenia wektorowego η_V i dikwarkowego η_D z modelu NJL. Otrzymane zależności masy gwiazdy neutronowej od promienia i masy od gęstości centralnej porównano z wymienionymi wcześniej dwoma pomiarami astronomicznymi, natomiast samo równanie stanu w wersji uwzględniającej tylko energię symetryczną, porównano z ograniczeniami wynikającymi z analizy danych ze zderzeń ciężkich jonów, przedstawionymi w pracy: P.Danielewicz, R. Lacey i W.G.Lynch, Science **298**, 1592 (2002). To pozwoliło na znaczne zawężenie obszaru dopuszczalnych wartości parametrów η_V i η_D . Jednak wersja czysto nukleonowa materii gwiazdy neutronowej, z równaniem DBHF, również spełnia wymienione wcześniej ograniczenia, co oczywiście pomniejsza wartość poznawczą uzyskanych wyników. Główny wniosek rozprawy to stwierdzenie, że obserwacja gwiazd neutronowych o masach równych dwóm masom

Słońca nie wyklucza możliwości istnienia materii kwarkowej w ich wnętrzach. Jest to konkluzja mało konstruktywna, gdyż gdyby nawet było inaczej to wykluczony byłby tylko ten konkretny, bardzo efektywny model kwarkowy (z przejściem fazowym do równie efektywnego modelu materii jądrowej), a nie scenariusz ewolucji gwiazdy z pojawieniem się materii kwarkowej w jej wnętrzu. Poza tym nie wiadomo jaki wpływ na rezultaty ma przybliżenie pola średniego oraz wybór modelu DBHF materii jądrowej. W pracy [96] analizuje się 8 różnych modeli materii jądrowej, w tym wzmiankowany DBHF, warto by było sprawdzić czy i jak zmieniłyby się wyniki rozprawy przy innym założeniu. Ale inny model oznacza kolejną odrębną pracę - naturalną kontynuację zainicjowanych badań. Podsumowując, rozprawa stanowi bardzo zręczną ale raczej techniczną analizę możliwości modelu Nambu-Jona-Lasinio sklejonego z modelem DBHF w zastosowaniu do opisu fizyki gwiazdy neutronowej. Ale art.13 Ustawy niczego więcej nie wymaga, cytuję: „Rozprawa doktorska... powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego”. Problem naukowy jest w rozprawie mgr. Rafała Łastowieckiego wyraźnie sformułowany i przedstawiono jego formalnie poprawne rozwiązania.

Rozprawa jest napisana bardzo dobrze po angielsku, jeśli chodzi o styl. Mogę także dodać, że jest ciekawa. Składa się z 6 rozdziałów i 5 dodatków, gdzie przedstawiono bardziej szczegółowe rachunki oraz złożone formuły. Zawiera bardzo dobre wprowadzenie do fizyki gwiazd neutronowych oraz omówienie pomiarów astronomicznych, ze szczególnym uwzględnieniem dwóch wzmiankowanych obserwacji: pulsarów J1614-2230 i J0348+0432. Także przedstawiony jest model Nambu-Jona-Lasinio materii kwarkowej oraz metoda otrzymania równania stanu tej materii. Bardzo skrótowo omówiono różne metody wyprowadzenia równania stanu materii jądrowej, dokładniej metodę Diraca-Bruecknera Hartree-Focka. Dużym mankamentem jest brak osobnej listy prac, których wyniki są prezentowane w rozprawie. Zamieszczono je w spisie literatury, na równi z innymi pozycjami. Do najpoważniejszych błędów zaliczyłbym brak definicji przeskalowanych stałych sprzężenia (wolnych parametrów modelu) η_V i η_D w miejscu ich pierwszego pojawienia się (str. 55), zostały zdefiniowane dopiero na str. 67. W opisie Rys.4 jak i w tekście pomieszczono obrazek lewy ze środkowym, natomiast Rys. 18 jest powtórzeniem Rys. 12, a powinien być to, jak wynika z opisu, Rys. 12 z pracy 1 (w spisie literatury to pozycja [54]). Oczywiście błędy te nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, jednak utrudniają jej czytanie do tego stopnia, że byłem zmuszony do przejrzania oryginalnych artykułów 1-4.

Podsumowując, moim zdaniem rozprawa mgr. Rafała Łastowieckiego spełnia wszystkie wymienione w Ustawie wymagania, i dlatego wnioskuję o dopuszczenie go do publicznej obrony.

Dr hab. Dariusz Prorok