

Prof. dr hab. Krzysztof Kutak
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk

29.11.2024

31-342 Kraków, ul Radzikowskiego 152

Recenzja rozprawy doktorskiej

“Negative radiation pressure in soliton dynamics”

Rozprawa doktorska magistra Dominika Ciurli została przygotowana pod kierunkiem dr hab. Tomasza Romańczukiewicza na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Praca dotyczy teoretycznych aspektów fizyki solitonów.

Solitony w ujęciu matematycznym, są rozwiązaniami nieliniowych równań różniczkowych cząstkowych posiadającymi taką własność, że zachowują kształt gdy zmienia się parametr czasowy.

Rozwiązania solitonowe równań różniczkowych znajdują zastosowanie w modelowaniu zjawisk fizycznych w fizyce materii skondensowanej, kosmologii oraz optyce atomowej. W pracy analizowane są w kontekście ujemnego ciśnienia wywieranego przez falę biegnącą na tzw. dark-bright solitony w kondensacie Bosego-Einsteina, ściany domenowe w uproszczonym modelu Higgsa, oraz w rozwiązaniach teorii polowych określanych jako Q-ball.

Rozprawa podzielona jest na cztery rozdziały które zawierają, wstęp, wyniki pracy, podsumowanie opublikowanych artykułów które są częścią dorobku doktorskiego, podsumowanie artykułów które nie są częścią pracy doktorskiej oraz spis literatury zawierający 44 pozycje. Praca została napisana po angielsku, liczy 28 stron. W ostatniej części pracy znajdują się kopie trzech artykułów które są dorobkiem doktorskim Pana Ciurli. Artykuły zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopismach.

Rozdział pierwszy zawiera obszerny wstęp teoretyczny do pracy doktorskiej oraz podsumowanie wyników otrzymanych w publikacjach mających być podstawą do nadania doktoratu. W części wstępnej tego rozdziału omówione są mechanizmy stojące za efektem ujemnego ciśnienia wywołanego przez falę biegnącą powodujące efekt przyciągania solitonu. Autor nadmienia, że obecnie nie ma bezpośredniego eksperymentalnego potwierdzenia tego typu oddziaływania solitonów z falą biegnącą. Następnie omówione są narzędzia teoretyczne których używa do analizy własności rozwiązań solitonowych takich jak stabilność. Kolejno podsumowane są artykuły które stanowią podstawę do ubiegania się o stopień doktora.

Artykuł pierwszy opublikowany w Phys. Rev. E wraz z promotorem oraz współpracownikami dotyczy analizy nieliniowego równania Schrödingera które modeluje dwukomponentowy kondensat Bosego-Einsteina. Analizę rozpoczęto od rozwiązania stacjonarnego określanego jako dark soliton. Określono jakie spełnione powinny być warunki aby oddziaływanie solitonu z promieniowaniem miało cechy ujemnego ciśnienia. Następnie omówiona jest analiza występowania ujemnego ciśnienia w rozwiązaniu typu dark-bright soliton. Rozwiązanie analityczne w przybliżeniu liniowym porównano z rozwiązaniem numerycznym. Autor zauważył, że w przypadku modów o wysokiej częstotliwości rozwiązanie analityczne nie zgadza się z numerycznym. Zrozumienie tego planowane jest na późniejsze badania.

Drugi z artykułów opublikowano w Physics Letters B i jest to artykuł jedno-autorski. Praca dotyczy analizy uproszczonego modelu Higgsa. Rozważany model ma rozwiązanie w postaci ściany domenowej. Analiza wykazuje, że oddziaływanie solitonu z promieniowaniem ma cechy ujemnego jak i dodatniego ciśnienia w zależności od tego czy zwrot promieniowania jest zgodny z kierunkiem solitonu czy przeciwny.

Artykuł trzeci został opublikowany w JHEP z promotorem i współpracownikami. Przedstawia analizę w układach Q-balls. Podobnie jak poprzednio wykazano, że w układach tego typu na soliton wywierane jest ujemne ciśnienie.

W swojej pracy analizie autor wykazał, że efekt wywierania ujemnego ciśnienia przez promieniowanie na soliton jest zjawiskiem występującym powszechnie w teoriopolowych układach fizycznych.

Jest to bardzo istotny wniosek mogący mieć znaczenie na przykład w eksperymentalnej analizie oddziaływania kondensatu Bosego-Einsteina z falami dźwiękowymi.

Rozdział trzeci poświęcony jest przedstawieniu metod numerycznych których używała w swoich pracach. Używane metody przedstawione są bardzo szczegółowo. Są to: metoda Runge-Kutta, split-up metod, gradient flow. Autor wykazuje się bardzo dobrą zrozumieniem używanych metod. Używa oprogramowania napisanego przez siebie oraz korzysta z bibliotek NumPy oraz SciPy.

Rozdział czwarty jest poświęcony opisowi trzech prac, które nie stanowią części jednotematycznego wkładu do rozprawy doktorskiej. Prace te zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach naukowych, takich jak *Physical Review E*, *Physical Review D* oraz *Acta Physica Polonica*.

Praca doktorska przedstawia dokładną analizę zjawiska ujemnego ciśnienia wywieranego na solitony przez falę biegnącą. Autor odpowiada na postawione pytania. Wskazuje na możliwy dalszy kierunek badań podając przykłady kondensatu Bosego-Einsteina, modów związanych, solitonów w układach dark-dark oraz bright-bright. Dyskusja i interpretacja fizyczna otrzymanych wyników jest wskazująca na głębokie zrozumienie tematu. Użyte metody teoretyczne oraz numeryczne oraz jedno-autorska praca wskazują na profesjonalizm oraz dużą samodzielność. Całkowity dorobek mgr. Ciurli jest znaczny.

Podsumowując: doktorat podejmuje istotny problem teoretyczny w fizyce solitonów o potencjalnym zastosowaniu fenomenologicznym. Uważam że rozprawa spełnia wszelkie formalne wymogi stawiane pracom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

prof. dr. hab. Krzysztof Kutak

