

Recenzja pracy doktorskiej magistra Kacpra Dębskiego pod tytułem „Relativistic aspects of time in quantum mechanics”

Przedstawiona do oceny praca doktorska Kacpra Dębskiego została poświęcona kwantowym aspektom relatywistycznych własności czasu. Pracę rozpoczyna pięknie napisany esej na temat samego pojęcia czasu. Przedstawiono opinię na ten temat zarówno fizyków jak i filozofów, w tym, także teologów. W szerokim wachlarzu poglądów zabrakło mi uwag na temat strzałki czasu. To fizyka statystyczna pozwala zrozumieć jak pogodzić symetrię względem odbicia czasu charakteryzującego teorie dynamiczne takie jak, mechanika klasyczna i elektrodynamika z obserwowaną w przyrodzie nieodwracalnością zjawisk. Ciekawe, że w pewnym sensie statystyczny charakter mechaniki kwantowej pozwala opisać relację pomiędzy symetrią równania Schrödingera z asymetrią jego rozwiązań.

Rozdział drugi poświęcony został centralnemu zagadnieniu pracy doktorskiej magistra Dębskiego. Pierwszym badanym zagadnieniem jest wpływ funkcji falowej środka masy atomu na emisję spontaniczną wzbudzonego atomu opisanego przybliżeniem dwupoziomowym. To, że czas życia stanów wzbudzonych cząstek elementarnych zależy od ich prędkości wiemy od dawna dzięki badaniom docierającego do powierzchni Ziemi promieniowania kosmicznego. Tu chodzi jednak o bardziej subtelne zjawiska, takie jak wpływ spójności funkcji falowej środka masy na czas życia, ale także na szczegóły widma emitowanego fotonu. Związek własności środka masy atomu z wewnętrznym stopniem swobody zapewnia uwzględnienie odrzutu towarzyszącego emisji. Mimo uwzględnienia w hamiltonianie najważniejszych poprawek relatywistycznych, pozostaje on lokalny względem pędu. Innymi słowy każda składowa pędowa promieniuje niezależnie. Pozwala to na zastosowanie znanych metod analitycznych opartych na transformacji Laplace'a. Jawne rozwiązanie równań zapewnia przybliżenie jednobiegunowe. Autor bada następnie szczegółowo własności tego jawnego rozwiązania. Szczególną uwagę kieruje na stan początkowy superpozycji dwóch paczek falowych skupionych wokół dwu różnych pędów. Nie dziwi, że emisja zależy od wzajemnej spójności obu paczek falowych, jeśli się częściowo przekrywają. Wyniki tej części pracy oceniam wysoko. Dodać jednak muszę, że przedstawione, przybliżone rozwiązanie sugeruje liczne pytania. Na przykład, czy jakość przybliżenia jednobiegunowego jest dostateczna w odniesieniu do subtelnych poprawek relatywistycznych. Ciekawe jest także, jak złożona struktura funkcji falowej środka masy wpływa na przesunięcie Lamba.

Następnie autor przechodzi do badania wpływu grawitacyjnej dylatacji czasu na własności emisji spontanicznej przestrzennie zdelokalizowanego atomu. Tym razem atom znajduje się w okolicy dwóch różnych punktów, to znaczy na różnej wysokości. W tym przypadku, aby zapewnić analogicznie lokalne równania autor zaniedbuje towarzyszący emisji odrzut. Nie jest dla mnie jasne, czy to przybliżenie jest tu zasadne. Korzystając z zasady równoważności autor eliminuje przyspieszenie grawitacyjne, przechodząc do przyspieszającego układu odniesienia. W rezultacie otrzymane równania znowu można rozwiązać w przybliżeniu jednobiegunowym. Oczekiwany wpływ spójności funkcji falowej środka masy na grawitacyjną dylatację czasu występuje jedynie dla częściowo przekrywających się paczek.

Analizując parametry najbardziej zaawansowanych doświadczeń, autor zauważa, że jego subtelne zjawiska wkrótce będą obserwowane.

Następnie autor rozważa bardzo ogólny model zegara atomowego. W dalszym ciągu dotyczy to wpływu kwantowych własności środka masy zegara na jego bieg. W tym ogólnym przypadku hamiltonian zależy od dwu nieprzemiennych zmiennych: położenia i pędu. Tu równania nie dają się rozwiązać analitycznie i pozostaje najniższy rząd rachunku zaburzeń. Co więcej, ponieważ autor startuje z opisu klasycznego, wersja kwantowa natrafia na zagadnienie uporządkowania iloczynów nieprzemiennych operatorów. Autor faworyzuje uporządkowanie Weyla, ale argumentacja na rzecz tego uporządkowania jest dość słaba.

Zawarte w rozdziale drugim wyniki dobrze tłumaczą wpływ zarówno kinetycznej, jak i grawitacyjnej dylatacji czasu na kwantowe własności elementarnych procesów atomowych. Autor argumentuje, że wpływ dylatacji kinetycznej jest uniwersalny, a tej grawitacyjnej odmiennie wpływa na różne procesy.

Rozdział trzeci został poświęcony dyskusji naruszania nierówności Bella w procesie, w którym decydującą rolę odgrywa brak uporządkowania czasowego procesów fizycznych. Nieuporządkowanie w czasie znowu pochodzi od kinetycznej dylatacji czasu. Praca podąża za dyskusją z artykułu nr 71 z listy odnośników, w której dylatacja czasu pochodziła od grawitacji. Muszę podkreślić, że w przeciwieństwie do zjawisk rozważanych w rozdziale drugim, tym razem schemat z dwiema wnękami i czterema zlepkami kilku atomów, z których każdy ma odgrywać inną rolę jest tak skomplikowany, że nie wydaje się bliski doświadczalnej realizacji. Wysoko oceniam wyniki tego rozdziału. W szczególności ciekawe jest dostrzeżenie ograniczeń zarówno przedstawionego w pracy schematu, jak i opublikowanej wcześniej jego wersji z dylatacją grawitacyjną.

Podsumowując: praca doktorska magistra Dębskiego jest bardzo oryginalna i poświęcona dość egzotycznym zagadnieniom. Dyskusja wpływu kinetycznej i grawitacyjnej dylatacji czasu na elementarne procesy kwantowe, takie jak emisja spontaniczna jest niezwykle ciekawa i zawiera elementy nowatorskie. Z pewnością praca zawiera wyniki pogłębiające nasze rozumienie pojęcia czasu.

Praca magistra Dębskiego została napisana dobrą angielszczyzną. Dobrze też prezentuje swoje wyniki.

Kilka pytań zawarłem już powyżej. Tu dodam, że w pracy nie korzysta się z jawnie relatywistycznej teorii kwantowej. Ta, w zasadzie, jest dostępna w przypadku szczególnej teorii względności. W pracy, zamiast tego, autor posługuje się nierelatywistyczną teorią kwantów, ograniczając się do konsekwentnego uwzględniania poprawek relatywistycznych.

Odnosząc z uznaniem, że praca korzysta niemal wyłącznie z rachunków analitycznych. W dobie dominacji numeryki to dość rzadki przypadek.

Autor rozprawy dysponuje imponującą znajomością omawianych zagadnień. Świadczy o tym także imponująca, zawierająca ponad 200 pozycji, bibliografia.

Stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca doktorska w pełni spełnia stawiane przez ustawę wymagania. Wnoszę więc o dopuszczenie magistra Dębskiego do kolejnych etapów prowadzących do uzyskania doktoratu, a w szczególności do publicznej obrony.



prof. dr hab. Kazimierz Rzażewski

Warszawa, 4 sierpnia 2024 roku