

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Uniwersytet Szczeciński – Instytut Fizyki – mgr. Fabian Wagner

Tytuł: Modified uncertainty relations from classical and quantum gravity

Promotor: prof. dr. hab. Mariusz Dąbrowski

Promotor pomocniczy: dr. Husain Gohar

Choć minęło ponad sto lat od momentu, w którym Albert Einstein uznał konieczność stworzenia kwantowej teorii grawitacji, to poszukiwanie jej ostatecznego kształtu wciąż pozostaje wyzwaniem. Dziedzina ta nadal dynamicznie się rozwija czego dowodem jest ostatni wzrost badań w zakresie fenomenologii kwantowej grawitacji wspierany przez niesamowitą poprawę dokładności eksperymentów w mechanice kwantowej. W szczególności, coraz większą rolę odgrywa postulat istnienia minimalnej długości fizyce mający ścisły związek z ogólnioną zasadą nieoznaczoności (UZN) Heisenberga.

Niniejsza rozprawa ma na celu ustalenie związków pomiędzy zmodyfikowanymi zasadami nieoznaczoności wywodzącymi się ze zdeformowanych komutatorów kanonicznych a zakrzywionymi przestrzeniami - w szczególności z UZN i nietrywialną przestrzenią pędu - a także związanymi z nimi rozszerzonymi zasadami nieoznaczoności (RZN) i zakrzywioną przestrzenią położenia. W tym duchu wprowadzamy nowy rodzaj RZN, wiążący promienie kul geodezyjnych stosowanych do ograniczania funkcji falowych z przestrzeni Hilberta, z odchyleniem standardowym operatora pędu odpowiednio dostosowanego do zakrzywionej przestrzeni tła. Wynik ten stopniowo jest uogólniany na cząstki relatywistyczne w zakrzywionej czasoprzestrzeni w formalizmie ADM rozwarstwienia 3+1, wiążąc tym samym półklasyczną grawitację z RZN.

Odpowiednie poprawki do RZN w płaskiej przestrzeni zależą od skalaru Ricciego efektywnej metryki przestrzennej, funkcji poklatkowej (lapse) i wektora przesunięcia (shift), a także od ich pochodnych kowariantnych. Wynikająca z tego nierówność RZN jest wyliczana w najniższym rzędzie rachunku zaburzeń dla czasoprzestrzeni Rindlera, de Sittera i Schwarzschilda prowadząc do podobnych jakościowo rezultatów, oraz dla rotujących czasoprzestrzeni czarnych dziur Kerr'a i ich odpowiedników w teoriach grawitacji wyższego rzędu.

Stosując w pewnym sensie podejście odwrotne, znajdujemy jawną korespondencję pomiędzy teoriami prowadzącymi do UZN, prawdopodobnie obejmującymi geometrię nieprzemienialną, a dynamiką kwantową opartą na nieeuklidesowej przestrzeni pędu. Ilościowo, nieprzemienialność współrzędnych przekłada się na krzywiznę przestrzeni pędu w opisie dualnym, co pozwala na analogiczne przeniesienie znanych z literatury ograniczeń dla UZN, na ograniczenia dla przestrzeni pędu.

Ciekawe jest, że geometria przemienialna nie implikuje trywialnej dynamiki - odpowiadające jej typy UZN prowadzą do płaskiej przestrzeni pędów, opisanej w kategoriach nietrywialnej bazy, pozwalającej na dalszy import ograniczeń. W końcu znajdujemy sformułowanie mechaniki kwantowej, które okazuje się spójne w przypadku dowolnie zakrzywionej wiązki kostycznej. W tym sformułowaniu pokazujemy, że przy właściwym doborze uporządkowania operatorów, oscylator harmoniczny nie może być użyty do rozróżnienia krzywizny w przestrzeni położenia i w przestrzeni pędu, co zapewnia klarowny przykład dualności Borna w kontekście zakrzywionych przestrzeni.

Data, podpis:

23/05/22 F. Wagner