

Energia, pęd i entropia w ogólnej teorii względności i mechanice kwantowej

P. Gusin

*Katedra Technologii Kwantowych,
Wydział Podstawowych Problemów Techniki,
Politechnika Wroclawska,
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, Wrocław 50-370*

Streszczenie

Połączenie grawitacji z teorią kwantową jest nadal odległym przedsięwzięciem. Z jednej strony klasyczna grawitacja, to geometria czasoprzestrzeni wyznaczana przez tensor energii-pędu materii i wynikające stąd nieliniowe równania, z drugiej strony matematyczny opis układu kwantowego, to przestrzeń Hilberta z liniowymi równaniami opisującymi ewolucję. W swoim wystąpieniu przedstawię *różne* miary odległości w przestrzeni Hilberta. Ogólnie można podzielić miary odległości w przestrzeni Hilberta na miary wyznaczone przez energię oraz miary wyznaczone przez entropię. Miary entropowe wyznaczają kwasi-odległość, ponieważ nie spełniają wszystkich aksjomatów określających odległość. Znalezienie ogólnej zasady, pozwalającej wyznaczyć w sposób jednoznaczny taką miarę, wydaje się być zasadnicze.

Wstęp

Co określa metrykę, czyli sposób pomiaru odległości na danej rozmaitości? W przypadku fizyki klasycznej odpowiedzi dostarcza ogólna teoria względności (OTW). Metryki są określane przez rozkład mas i prądów materii. Nowoczesne podejście do tego problemu zostało zapoczątkowane w pracy Clifforda [1] z 1876 roku. Trzydzieści dziewięć lat później Einstein podaje rozwiązanie w postaci ogólnej teorii względności.

W przypadku fizyki kwantowej, w której stany są określone w przestrzeni Hilberta, nie istnieje taka pojedyncza miara odległości. Wręcz przeciwnie, istnieje wiele miar odległości między stanami, ale żadna z nich nie wynika z jakiejś fundamentalnej zasady. Takie miary są znane i używane w kwantowej teorii informacji, a następnie z nadzieją stosowane w pracach związanych z kwantową grawitacją, np. w [2].

Klasyczne pojęcie, opisujące układ fizyczny, to lagrangian z którego otrzymuje się tensor energii-pędu. Ogólna teoria względności łączy tensor energii-pędu z geometrycznymi własnościami czasoprzestrzeni czyli z tensorem Riemanna. Natomiast kwantowe pojęcie, opisujące układ to macierz gęstości. I nie istnieje żadna teoria, związek pozwalający powiązać macierz gęstości z kwantowymi własnościami czasoprzestrzeni, ponieważ takie pojęcia nie istnieją. Czy w takim razie są jakieś wskazówki w istniejących już teoriach, które by pozwalały na utworzenie takich pojęć?

Pierwszą taką wskazówką może być pojęcie entropii wyznaczone przez macierz gęstości. Należy poszukiwać rozszerzenia pojęcia entropii w analogiczny sposób, jak gęstość energii i gęstość pędu łączą się w tensorze energii-pędu.

Drugą taką wskazówką jest geometrodynamika [3]. Jednym ze sposobów znalezienie kwantowej teorii grawitacji jest próba kwantowania ogólnej teorii względności za pomocą kwantowania kanonicznego. W tym podejściu fundamentalną rolę odgrywa równanie Wheelera-De Witta (WDW). Dzięki temu podejściu uzyskano wiele interesujących wyników np. [4-6]. Tak więc pojęcia, pozwalające opisywać kwantową czasoprzestrzeń powinny być otrzymane w ramach geometrodynamiki z równania WDW. Wyznaczenie odpowiednich operatorów, których wartości oczekiwane na rozwiązaniach równania WDW dawałaby się powiązać z rozszerzonym pojęciem entropii.

Bibliografia

- [1] Clifford W. K., On the Space Theory of Matter, Proc. Cambridge. Phil. Soc. 2, 157-158 (1864-1876).
- [2] Susskind L., Three Lectures on Complexity and Black Holes, arXiv:1810.11563.
- [3] Misner C. W., Thorne K. S., Wheeler J. A., Gravitation, Freeman, San Francisco (1973).
- [4] Graham R., Szépfalussy P., Quantum creation of a generic universe, Phys. Rev. D 42, 2483-2490 (1990).
- [5] Gusin P., Wheeler-DeWitt equation for brane gravity, Phys. Rev. D 77, 066017 (2008).
- [6] Vieira H. S., V. B. Bezerra, Class of solutions of the Wheeler-DeWitt equation in the Friedmann-Robertson-Walker universe, Phys. Rev. D 94, 023511 (2016).