

Kwantowa geometria i stany BPS

Narodowe Centrum Nauki – grant OPUS

Główny wykonawca: prof. dr hab. Piotr Sułkowski (Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski)

Od odkrycia ok. sto lat temu mechaniki kwantowej wiemy, iż różne wielkości fizyczne, np. energia, charakteryzujące mikroskopijne obiekty, nie są ani ciągłe, ani deterministyczne. Wielkości takie przyjmują wartości dyskretne i są opisane probabilistycznymi prawami. Ponadto, od ok. pół wieku znany Model Standardowy – kwantową teorię opisującą zachowanie cząstek elementarnych. Kolejnym spektakularnym potwierdzeniem Modelu Standardowego była detekcja cząstki Higgsa w CERN-ie w 2012 r. W związku z wielkimi sukcesami teorii kwantów fizycy są przekonani, że nie tylko wielkości takie jak energia, ale też sama przestrzeń i czas mają kwantowy charakter, który opisuje hipotetyczna teoria kwantowej grawitacji. Dotychczas zostało zaproponowanych kilka sformułowań takiej teorii, jednakże wciąż nie jesteśmy w stanie potwierdzić ich eksperymentalnie. Niemniej jednak, idee takie są aktywnie badane w ramach pewnych uproszczonych modeli, określanych zwięźle jako tzw. kwantowa geometria; modele takie nie tylko pozwalają zilustrować istotę interesujących zjawisk fizycznych, ale także inspirują i są ściśle powiązane z różnymi działami matematyki współczesnej.

Celem niniejszego projektu jest zrozumienie modeli kwantowej geometrii, które związane są także z tzw. stanami Bogomol'nyego-Prasada-Sommerfelda (określanymi zwięźle jako stany BPS). O stanach BPS można myśleć jako o mających własności analogiczne do cząstek wzbudzeniach w supersymetrycznych kwantowych teoriach pola, tzn. w supersymetrycznych wersjach teorii podobnych do Modelu Standardowego. Takie modele są szczególnie interesujące, jako że jednocześnie pozwalają one na zrozumienie różnych zagadnień dotyczących zjawisk w reżimie silnego sprzężenia, jak dotąd niemożliwych do analizy np. w ramach chromodynamiki kwantowej, czyli części Modelu Standardowego opisującej oddziaływania silne. W szczególności, jedna klasa teorii którą zamierzamy zrozumieć w ramach tego projektu, zawiera nieskończoną rodzinę skomplikowanych stanów BPS, które można opisać jako stany związane kilku podstawowych stanów, których oddziaływania opisane są poprzez grafy określane jako kołczany. Ponadto, w ostatnim czasie kierownik niniejszego projektu wraz ze współpracownikami odkrył, iż dla odpowiedniego wybranych kołczanów, teorie takie jednocześnie charakteryzują własności węzłów (takich jakie są związane na sznurku), natomiast zliczanie stanów BPS w tych teoriach powiązane jest z modelami kombinatorycznymi i statystycznymi. Zależności te prowadzą zatem do intrygującej, interdyscyplinarnej sieci powiązań (tzw. dualności) między kwantową geometrią, silnie sprzężonymi zjawiskami, matematyczną teorią kołczanów oraz teorią węzłów, jak też modelami statystycznymi. W ramach tego projektu będziemy badać m.in. tę sieć dualności. Z jednej strony, pozwoli to odkryć nowe własności i policzyć pewne amplitudy w supersymetrycznych teoriach, m.in. poprzez odpowiednie przetłumaczenie i wykorzystanie znanych już faktów w matematycznej teorii reprezentacji kołczanów oraz teorii węzłów. Z drugiej strony, interpretacja zjawisk fizycznych w języku matematyki powinna doprowadzić nas do nowych głębokich hipotez matematycznych, które trudno byłoby sformułować bez odwoływania się do intuicji fizycznych. Ponadto, jesteśmy przede wszystkim przekonani, że projekt ten pozwoli na zrozumienie takich własności kwantowej geometrii, które będą istotne dla sformułowania realistycznych teorii opisujących przyrodę. Projekt niniejszy jest prowadzony w grupie naukowej kierownika projektu, działającej w prowadzonej przez niego Katedrze Kwantowej Fizyki Matematycznej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.