

## Popularny opis projektu

Jednym z najpoważniejszych wyzwań stojących przed fizyką teoretyczną jest skonstruowanie kwantowej teorii wszystkich oddziaływań, która połączyłaby kwantowe struktury opisujące fizykę cząstek elementarnych z kwantową grawitacją, czyli z kwantową wersją ogólnej teorii względności, opisującej oddziaływania grawitacyjne. Dzisiaj nie posiadamy jeszcze wystarczającej wiedzy na ten temat: niepowodzeniem zakończyło się zastosowanie do grawitacji standardowych metod kwantowej teorii pola, które odniosły wielki sukces w teorii cząstek elementarnych. Z drugiej strony teoria kwantowej grawitacji jest nam niezbędna by zrozumieć np. początkowe etapy ewolucji Wszechświata, zjawiska zachodzące poza horyzontem czarnej dziury, a także, prawdopodobnie, by odkryć naturę ciemnej materii i ciemnej energii, dominujących elementów budowy Wszechświata.

Zbudowanie kwantowej teorii grawitacji okazało się niezwykle trudnym zadaniem i żadna z prób rozwiązania tego problem nie zakończyła się pełnym sukcesem. Pomimo tego, w ciągu ostatnich dziesięcioleci dowiedzieliśmy się wielu rzeczy na temat tej przyszłej teorii: w szczególności większość podejść do kwantowej grawitacji zgadza się z założeniem, że powinna istnieć minimalna długość, a punkt czasoprzestrzeni ma tylko sens jako makroskopowe przybliżenie. W konsekwencji czasoprzestrzeń w kwantowej grawitacji nie może być klasyczna i gładka. Einsteinowski paradygmat ciągłej, przemiennej czasoprzestrzeni, tak dobrze sprawdzający się w klasycznej ogólnej teorii względności, w przypadku kwantowej grawitacji powinien zostać zmieniony. Korzystając z postaci równań Einsteina można wykazać, iż obecność kwantowego pola grawitacyjnego prowadzi do ograniczenia na dokładność czasoprzestrzennych pomiarów lokalizacyjnych, co można interpretować jako konsekwencję istnienia nowej zasady nieoznaczoności w czasoprzestrzeni kwantowej, w której długość Plancka  $10^{-35}$  m odgrywa rolę minimalnej mierzalnej. Tak jak w mechanice kwantowej powyższe ograniczenia dokładności pomiarów mogą być wbudowane w teorię na poziomie algebraicznym, w formie założenia, iż kwantowe czasoprzestrzenie nie są przemienne oraz przekształcają się przy pomocy nowej, ogólniejszej klasy przekształceń tzw. kwantowych symetrii.

Celem naszego projektu będzie badanie konsekwencji hipotezy nieprzemienności struktur geometrycznych w grawitacji kwantowej, oraz w tym kontekście studiowanie konkretnych modeli geometrii nieprzemiennej oraz ich zastosowań do opisu teorii kwantowej w obecności pól grawitacyjnych. W ramach projektu przeanalizujemy tak nowe jak i nie do końca zbadane modele nieprzemiennych czasoprzestrzeni, ponadto zbadamy odpowiadające im kwantowe symetrie oraz w szczególności podamy zastosowania nieprzemiennych pól kwantowych w kwantowej kosmologii oraz w tzw. pętlowej grawitacji kwantowej.

Projekt będzie realizowany przez kierownika projektu (J. Lukierski), dwóch głównych wykonawców (A. Borowiec, J. Kowalski-Glikman) oraz czterech młodszych pracowników naukowych, w ścisłej współpracy z grupą naszych współpracowników zagranicznych. Wyniki badań zostaną opublikowane w prestiżowych czasopismach naukowych oraz przedstawione na międzynarodowych konferencjach i sympozjach.