

Ponad sto lat po sformułowaniu ogólnej teorii względności Alberta Einsteina pozostaje solidnym modelem wielkoskalowej struktury naszego wszechświata, a wiele jego prognoz przetestowano teraz eksperymentalnie, z których ostatnim jest wykrywanie fal grawitacyjnych. W swoim matematycznym ujęciu każde zjawisko fizyczne często przybiera formę struktury geometrycznej. Na przykład grawitacja powoduje, że nasza czasoprzestrzeń wygina się, a cząstki poruszają się wzdłuż geodezyjnych odpowiedników linii prostych w zakrzywionej przestrzeni. Tutaj prawami ruchu rządzą równania Einsteina, które są niezwykle trudne do jednoznacznego rozwiązania. Jednak obecność dodatkowych struktur może w efekcie prowadzić do ich uproszczenia.

Celem tego projektu było zbadanie dwóch struktur geometrycznych, które odgrywały centralną rolę w opisie promieni świetlnych w kontekście rozwiązań równania Einsteina oraz fal grawitacyjnych. Jednym z nich jest pojęcie struktury konforemnej, to znaczy środka do pomiaru kątów i długości względnych. Jest to nieodłącznie związane z rozprzestrzenianiem się światła wzdłuż geodezyjnych o „zerowej długości”.

Drugim jest koncepcja struktury Cauchy'ego-Riemanna (CR), która leży u podstaw bardzo specjalnych kongruencji promieni świetlnych. Mówi się o nich, że nie ulegają ścinaniu. Występują w wielu ważnych obiektach grawitacyjnych, takich jak czarne dziury.

Te dwie koncepcje ukształtowały rozwój teorii względności matematycznej w latach 60. i 70. XX wieku dzięki pracy polskiego relatywisty Andrzeja Trautmana i jego angielskiego współpracownika Ivora Robinsona. W tym projekcie posuniemy się dalej, wykorzystując współczesne techniki geometrii różniczkowej i zastosujemy nasze wyniki do badania czarnych dziur i ich horyzontów.

Teoretyczne znaczenie tych obiektów grawitacyjnych wynika z faktu, że cechują się one osobliwością czasowo-przestrzenną. W niej kończy się zasięg klasycznego geometrycznego opisu tkaniny czasoprzestrzeni i obowiązywać zaczyna teoria kwantowa, która opisuje mikroskopową strukturę wszechświata. Stanowią one zatem doskonały poligon, na którym można lepiej zrozumieć modele grawitacji kwantowej i testować ich konsystencję.

Oczekiwany wynikami tego projektu badawczego będzie lepsze koncepcyjne zrozumienie struktur geometrycznych stojących za zjawiskami grawitacyjnymi mającymi miejsce wokół czarnych dziur i ich horyzontów. Dokładne ich analityczne zrozumienie pozwoli na niezmienny opis wielkości fizycznych i ułatwi ich obliczenie. To z kolei dostarczy nowych rozwiązań równań pola Einsteina w wymiarach cztery i więcej.