

Horyzonty i promieniowanie grawitacyjne

Ogólna teoria względności (OTW) święciła niedawno sukces detekcji fal grawitacyjnych. Kształt zarejestrowanego sygnału odpowiada sygnałom, jakie według OTW towarzyszą zderzeniu dwóch czarnych dziur, gdy takowe ma miejsce. Była to kolejna poważna poszlaka uprawdopodobniająca istnienie tych niezwykle obiektów we Wszechświecie, którego jesteśmy częścią. Jednak zarówno ścisła teoria promieniowania grawitacyjnego jak i ścisła teoria czarnych dziur nadal pozostają niekompletne. Nawet definicja momentu pędu promieniowania grawitacyjnego powstałego na skutek zderzenia dwóch gwiazd lub czarnych dziur, które po złaniu się w jeden obiekt zmieniły wypadkową prędkość, jest przedmiotem dyskusji. Obecność dodatniej stałej kosmologicznej odbiera relatywistom tradycyjne narzędzia skonstruowane do promieniowania grawitacyjnego w płaskiej czasoprzestrzeni. Ogólna teoria czarnych dziur nawet przy zerowaniu się stałej kosmologicznej wymaga uzupełnienia. Znamy doskonale i rozumiemy pewne rozwiązania równań Einsteina opisujące wyidealizowaną stacjonarną czasoprzestrzeń zawierającą czarną dziurę o doskonałej symetrii obrotowej lub sferycznej otoczoną próżnią, lub polem elektromagnetycznym. Nie wiadomo jednak na ile rozwiązania te są generyczne. Hawking dostarczył argumentów o "sztywności" czarnej dziury oraz "braku włosów". Wynika z nich, że przy pewnych założeniach innych czarnych dziur, niż wyżej wymienione nie ma. "Sztywność" oznacza konieczność symetrii osiowej, a brak "włosów" to pełna charakterystyka czarnej dziury za pomocą kilku parametrów. W przypadku próżniowym wystarczą jedynie dwa: całkowita masa i całkowity moment pędu. Jednak wnioski te wyprowadzone były przy szeregu upraszczających i idealizujących założeń. Pozbycie się tych uproszczeń stało się na wiele lat tematem badań matematycznej teorii względności. Doprowadziły one do stworzenia nowych metod i rozwoju całego nowego działu OTW zajmującego się globalną strukturą czasoprzestrzeni. Pomimo ogromnego postępu naszej wiedzy teoretycznej, dowód "sztywności" oraz braku "włosów" czarnej dziury nadal jest niekompletny. Najwięcej trudności sprawia przypadek, gdy stosunek momentu pędu czarnej dziury do jej masy jest maksymalny. Takie czarne dziury nazywamy ekstremalnymi. W ich przypadku wiele matematycznych argumentów załamuje się. W rezultacie o możliwych typach ekstremalnych czarnych dziur znacznie mniej wiadomo z pełną, matematyczną precyzją, niż o pozostałych. Uwzględnienie niezerowej stałej kosmologicznej nie ułatwia sytuacji.

Odkryte niedawno podobieństwo pomiędzy symetriami horyzontów a symetriami asymptotycznie płaskiej czasoprzestrzeni umożliwią nam stworzenie dla promieniowania grawitacyjnego metody analogicznej do tomografu. Pozwoli ona opisać kształt zaburzenia horyzontu czarnej dziury poprzez własności promieniowania grawitacyjnego w nieskończoności. Podejście do teorii czarnej dziury rozwijane w bieżącym projekcie jest komplementarne do globalnej teorii zapoczątkowanej przez Hawkinga. Nasze badania koncentrują się na geometrii indukowanej na powierzchni czarnej dziury przez otaczającą czasoprzestrzeń. Tak rozumiana czarna dziura ma nieskończenie wiele stopni swobody nawet po uwzględnieniu równań Einsteina. Wydaje się to pozostawać w kontraście z własnością braku "włosów". Poszukujemy więc dodatkowych geometrycznych i fizycznych ograniczeń na lokalną geometrię powierzchni czarnej dziury, które skutkowałyby redukcją stopni swobody podobną do tej wynikającej z globalnych argumentów modelu Hawkinga. Tego rodzaju ograniczenia udało się nam znaleźć. Warunek ekstremalności przyjmuje postać równania, które dziś jest znane jako przy-horyzontalne (near horizon geometry) i badane w kontekście wielu uogólnień. Dla generycznych, nie-ekstremalnych lokalnych czarnych dziur warunkiem jest ograniczenie algebraicznego typu tensora krzywizny Weyla do tak zwanego typu Petrova D. Jednym z głównych zadań projektu jest zbadanie tych równań i udowodnienie lub odrzucenie matematycznej hipotezy, że wszystkie ich rozwiązania charakteryzuje własność sztywności oraz braku włosów. Zbadamy także nowe równania, które wynikają z kolejnych rzędów rozwinięcia równań Einsteina wokół czarnej dziury i dostarczają pełnego opisu czasoprzestrzeni w jej otoczeniu. Perspektywicznym i kompleksowym celem tej części projektu jest zbudowanie pomostu pomiędzy wynikami badań powierzchni czarnej dziury oraz standardowymi metodami globalnymi. W szczególności, lokalna charakterystyka czarnej dziury może dostarczyć argumentów uzupełniających metody globalne i prowadzących do kompletnego i matematycznie satysfakcjonującego rozstrzygnięcia problemu sztywności i braku włosów czarnej dziury.