

## Nagroda Nobla z Fizyki

Połowę tegorocznej Nagrody Nobla z Fizyki otrzymał Roger Penrose za odkrycie, że formowanie się czarnych dziur jest ścisłym przewidywaniem Ogólnej Teorii Względności. Drugą połowę nagrody przyznano Reinhardowi Genzelowi i Andrei Ghez za odkrycie supermasywnego, zwartego obiektu w centrum naszej Galaktyki.

W latach sześćdziesiątych XX wieku odkryto tzw. kwazary, czyli bardzo silne i jednocześnie zwarte źródła promieniowania, które obserwowano w szerokim zakresie elektromagnetycznym. Niektóre z nich świecą nawet stokrotnie mocniej niż cała galaktyka. Sformułowano hipotezę, że źródłem tak olbrzymiej mocy może być akrecja materii na supermasywną czarną dziurę znajdującą się w jądrze galaktyki.

Hipoteza była śmiała i spowodowała wzrost zainteresowania tymi hipotetycznymi obiektami, które właśnie w latach sześćdziesiątych zaczęto nazywać *czarnymi dziurami*. Mimo że rozwiązanie równań Einsteina opisujące tego typu obiekty znalezione zostało przez Karla Schwarzschilda już w 1916 roku, to w istnieniu takich obiektów w przyrodzie wątpił nawet twórca OTW Albert Einstein. Rozwiązanie Schwarzschilda miało pewną paskudną cechę: było osobliwe. Osobliwość to taki punkt lub zbiór punktów, w którym czasoprzestrzeń w pewnym sensie urywa się. Częstka docierająca do osobliwości kończy w niej swoje istnienie. Nie może poruszać się dalej. Opis czasoprzestrzeni przez OTW załamuje się w osobliwości.

Rozwiązanie Schwarzschilda opisuje statyczną czarną dziurę, która istniała od zawsze. Naturalnym pytaniem było, w jaki sposób czarna dziura może powstać. W 1939 roku Oppenheimer i Snyder znaleźli rozwiązanie opisujące tworzenie się czarnej dziury w wyniku kolapsu kuli pyłu. W rozwiązaniu tym pył gęstnieje pod wpływem przyciągania grawitacyjnego i w skończonym czasie zapada się do punktu, w którym gęstość staje się nieskończona – powstaje osobliwość. Rozwiązanie to było jednak nadal bardzo szczególne, bo było sferycznie symetryczne. Od samego początku prędkości wszystkich cząstek pyłu wycelowane były w ten sam punkt. Wątpiący pytali, czy bez sferycznej symetrii, na którą w przyrodzie nie możemy liczyć, taka osobliwość również by powstała. Czy może kolaps niesymetrycznego obiektu skończyłby się zupełnie inaczej i osobliwość by nie powstała. Sferyczna symetria wyklucza na przykład emisję fal grawitacyjnych, które w przypadku niesymetrycznym mogą być emitowane.

Wątpliwości te zostały jednoznacznie rozwiane przez fizyka matematycznego Rogera Penrose'a w jego przełomowej pracy z 1965 roku. Sformułował on i udowodnił eleganckie matematyczne twierdzenie mówiące, że czasoprzestrzeń będąca rozwiązaniem równań Einsteina, spełniająca jednocześnie kilka konkretnych warunków, nie może istnieć. Kluczowe dwa z tych warunków to brak osobliwości i istnienie powierzchni złapanej (pozostałe są bardziej techniczne). Powierzchnia złapana to zwarta powierzchnia dwuwymiarowa (np. sfera) o tej własności, że wszystkie promienie światła wysłane prostopadle z tej powierzchni zbiegają się. W płaskiej czasoprzestrzeni promienie światła

wysłane do wewnątrz sfery zbiegają się, a te wysłane na zewnątrz rozbiegają się. Natomiast w czasoprzestrzeni Schwarzschilda sfera znajdująca się poniżej horyzontu zdarzeń (czyli w pewnym sensie wewnątrz czarnej dziury) jest powierzchnią złapaną. W praktyce twierdzenie Penrose'a oznacza, że jeżeli gęstość zapadającej się materii będzie wystarczająco duża, to w czasoprzestrzeni pojawi się powierzchnia złapana, która niezależnie od kształtu nieuchronnie doprowadzi do powstania osobliwości.

Na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych pojawiła się hipoteza, że supermasywne czarne dziury powinny znajdować się nie tylko w jądrach aktywnych galaktyk, ale w jądrach wszystkich galaktyk, włączając w to naszą Drogę Mleczną. Rozpoczęto więc poszukiwania. Naturalnym kandydatem stało się silne radiowe źródło zwane Sagittarius A\* (w skrócie Sgr A\*) znajdujące się w gwiazdozbiornie Strzelca.

Nasz Układ Słoneczny znajduje się na jednym z ramion spiralnych Galaktyki. Z naszego punktu widzenia centrum Galaktyki jest przesłonięte chmurami pyłu silnie rozpraszającego światło widzialne i ultrafiolet, co praktycznie uniemożliwia obserwacje w tych zakresach widma. Dlatego skoncentrowano się na obserwacjach w bliskiej podczerwieni.

Dwa zespoły badawcze, jeden prowadzony przez Reinharda Genzela w Instytucie Maxa Plancka Fizyki Pozaziemskiej (MPE), a drugi pod przewodnictwem Andrei Ghez na Uniwersytecie Kalifornijskim (UCLA), przez prawie trzy dekady monitorowały ruch gwiazd okrążających centrum Drogi Mlecznej. Aby rozróżnić pojedyncze gwiazdy w gęstwinie otaczającej centrum Galaktyki, potrzebne było wykonywanie zdjęć w niespotykanej wcześniej rozdzielczości. Najpoważniejszym problemem, jaki należało rozwiązać, było rozmywanie się obrazu gwiazd spowodowane ruchami termicznymi powietrza w atmosferze ziemskiej. Rozwinięto dwie innowacyjne metody umożliwiające poprawę rozdzielczości zdjęć: interferometrię plamkową (*speckle imaging*) i adaptywną optykę. Pierwsza technika polega na nakładaniu na siebie wielu krótko naświetlanych zdjęć odpowiednio przesuniętych, tak aby skompensować przesuwanie się obrazu. W drugiej modyfikuje się kształt zwierciadła teleskopu, tak aby w czasie rzeczywistym kompensować przesuwanie się obrazu.

Wieloletnie obserwacje pozwoliły wyznaczyć położenie i prędkości kilkudziesięciu gwiazd wokół centrum Galaktyki. Jedną z zaobserwowanych gwiazd, nazwaną S2, okrąża centrum Galaktyki w czasie zaledwie 16 lat, dzięki czemu udało się zaobserwować jej pełną eliptyczną orbitę. Wyznaczenie parametrów orbit gwiazd pozwoliło na oszacowanie masy obiektu, wokół którego one krążą, na około 4 miliony mas Słońca. Jednocześnie obiekt ten jest bardzo mały, co zgadza się z hipotezą, że jest to supermasywna czarna dziura. Dodatkowym potwierdzeniem tej hipotezy są obserwowane tzw. flary promieniowania rentgenowskiego i podczerwonego, których źródłem jest najprawdopodobniej materia opadająca na czarną dziurę.

Szymon CHARZYŃSKI