Czarna dziura

Piotr Jadczak

December 23, 2019

1 Opis

Czarna dziura – obszar czasoprzestrzeni, którego z uwagi na wpływ grawitacji, nic (łącznie ze światłem) nie może opuścić. Zgodnie z ogólną teorią względności, do jej powstania niezbędne jest nagromadzenie dostatecznie dużej masy w odpowiednio małej objętości. Czarną dziurę otacza matematycznie zdefiniowana powierzchnia nazywana horyzontem zdarzeń, która wyznacza granicę bez powrotu. Nazywa się ją „czarną", ponieważ pochłania całkowicie światło trafiające w horyzont, nie odbijając niczego, zupełnie jak ciało doskonale czarne w termodynamice. Mechanika kwantowa przewiduje, że czarne dziury emitują promieniowanie jak ciało doskonale czarne o niezerowej temperaturze. Temperatura ta jest odwrotnie proporcjonalna do masy czarnej dziury, co sprawia, że bardzo trudno je zaobserwować w wypadku czarnych dziur o masie gwiazdowej bądź większych.

Figure 1: Obraz obiektu M87

2 Historia

2.1 Początek

Ideę, że może istnieć tak masywne ciało, iż nawet światło nie może z niego uciec, postulował angielski geolog John Michell w roku 1783 w pracy przesłanej do Royal Society. W tym czasie istniała teoria grawitacji Isaaca Newtona i pojęcie prędkości ucieczki. Michell rozważał, iż w kosmosie może istnieć wiele tego typu obiektów.

W roku 1796 francuski matematyk Pierre Simon de Laplace propagował tę samą ideę w swojej książce Exposition du Systeme du Monde (niestety zniknęła w późniejszych wydaniach).

2.2 Wiek XX

Ta idea nie cieszyła się dużym zainteresowaniem w XIX wieku, ponieważ światło uważano za bezmasową falę niepodlegającą grawitacji. Niedługo po opublikowaniu w roku 1905 szczególnej teorii względności, Einstein zaczął rozważać wpływ grawitacji na światło.

Najpierw pokazał, że grawitacja oddziałuje na propagację fal elektromagnetycznych, a w roku 1915 sformułował ogólną teorię względności. Kilka miesięcy później, Karl Schwarzschild znalazł rozwiązanie równań tej teorii opisujących obiekt mający postać masy skupionej w jednym punkcie, który bardzo silnie odkształca czasoprzestrzeń. Jednym z parametrów rozwiązania był promień Schwarzschilda. Sam Schwarzschild uważał go za niefizyczny. W roku 1931 Chandrasekhar na przykładzie białego karła pokazał, że powyżej pewnej granicznej masy nic nie jest w stanie powstrzymać kolapsu gwiazdy. Przeciwny takim wnioskom był Arthur Eddington, który wierzył, iż powinna istnieć fizyczna przyczyna, która zatrzyma kolaps gwiazdy.

2.3 Współczesność

W 1939 roku Robert Oppenheimer i Hartland Snyder pokazali, że masywna gwiazda może ulec kolapsowi grawitacyjnemu. Taki obiekt nazwano „zamrożoną gwiazdą”, ponieważ dla dalekiego obserwatora kolaps będzie zwalniał. Idea ta nie wywołała dużego zainteresowania aż do lat 60. Zainteresowanie nią wzrosło z chwilą odkrycia pulsarów w 1967 roku. Tuż po tym w 1969 John Wheeler zaproponował nazwę „czarna dziura”.

3 Opis matematyczny

Ponieważ zakrzywienie czasoprzestrzeni jest odczuwane jako siła grawitacji, czasem mówi się potocznie, że czarną dziurę stanowi materia ściśnięta tak, że siła grawitacji, z jaką oddziałuje ona na samą siebie, nie może być zrównoważona przez siły wewnętrzne (ciśnienie). Jest to uproszczenie o tyle, że w myśl równań Einsteina ciśnienie daje wkład współdziałający z siłą grawitacji (czyli wzrost ciśnienia przyspiesza, a nie spowalnia powstanie czarnej dziury).

Równanie Einsteina Istnienie czarnych dziur wynika z równania Einsteina Ogólnej Teorii Względności, choć w historii fizyki już wcześniej pojawiła się hipotetyczna idea masy tak wielkiej, że nawet światło nie mogłoby się od niej oddalić. Równania Ogólnej Teorii Względności (OTW), z których wynika istnienie czarnych dziur, mają postać:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu}\Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

gdzie:

g: tensor metryczny

$R_{\mu\nu}$: tensor krzywizny Ricciego

R: skalar krzywizny Ricciego

$T_{\mu\nu}$: tensor energii-pędu

Rozwiązanie Schwarzschilda Jednym z dosłownie kilku znanych rozwiązań tych równań jest rozwiązanie Schwarzschilda – metryka czasoprzestrzeni dana wzorem:

$$ds^2 = e^{\nu(r)} dt^2 - e^{\lambda(r)} dr^2 - r^2 d\Omega^2 = \left(1 - \frac{2M}{r}\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2M}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2$$

4 Właściwości czarnej dziury

Istnieją teorie, według których przejście obiektu przez horyzont zdarzeń związane jest z całkowitym zniknięciem zawartej w tym obiekcie informacji.

Z matematycznego punktu widzenia fakt ten sprowadza się do stwierdzenia, że do opisu czarnej dziury wystarczy podać jej masę, ładunek oraz moment pędu. Dla poszczególnych kombinacji tych trzech wartości sformułowano następujące rozwiązania równań opisujących czarną dziurę:

1. Schwarzschilda – tylko masa niezerowa,
2. Reissnera-Nordströma – ładunek, masa niezerowa, brak momentu pędu,
3. Kerra – masa i moment pędu niezerowy, brak ładunku,
4. Kerra-Newmanna – ładunek, masa, moment pędu niezerowe.

4.1 Klasyfikacja czarnych dziur

Table 1: Black hole classifications

Class	**Approx. mass**	**Approx. radius**
Supermassive black hole	$10^5 - 10^{10} M_{sun}$	0.001 – 400 AU
Intermediate-mass black hole	$10^3 M_{sun}$	10^3 km $\approx R_{Earth}$
Stellar black hole	$10 M_{sun}$	30 km
Micro black hole	up to M_{moon}	up to 0.1 mm

5 Spis treści

Contents

List of Tables

List of Figures