

Wprowadzenie

Fakt, że żyjemy na dnie głębokiej studni grawitacyjnej, na powierzchni pokrytej gazem planety krążącej wokół atomowej kuli ognia oddalonej o 90 milionów mil i uważamy, że jest to normalne, stanowi to oczywiście pewien wskaźnik tego, jak skrzywiona jest nasza perspektywa (...). [Douglas Adams, „Czy istnieje sztuczny bóg?”. Przemówienie na konferencji Digital Biota 2, Magdelene College, Cambridge, 1998. Cytowane przez Bruce’a Damera w hołdzie upamiętniającym Adamsa na <http://www.biota.org/people/douglasadams/>].

Łączące się ze sobą układy podwójne czarnych dziur przez krótki czas podczas ich oddziaływania z pewnością emitują fale grawitacyjne. Ale czy to wszystko? Czy znaleźliśmy lub może wkrótce znajdziemy fale grawitacyjne generowane przez inne zjawiska? Odpowiedzi na te dwa pytania, w tej samej kolejności, brzmią zdecydowanie: Nie i Tak. W tym rozdziale przyjrzymy się, czym mogą być te inne i/lub jeszcze nieodkryte źródła, jak wytwarzają fale grawitacyjne i co fale grawitacyjne mogą nam powiedzieć o swoich źródłach.

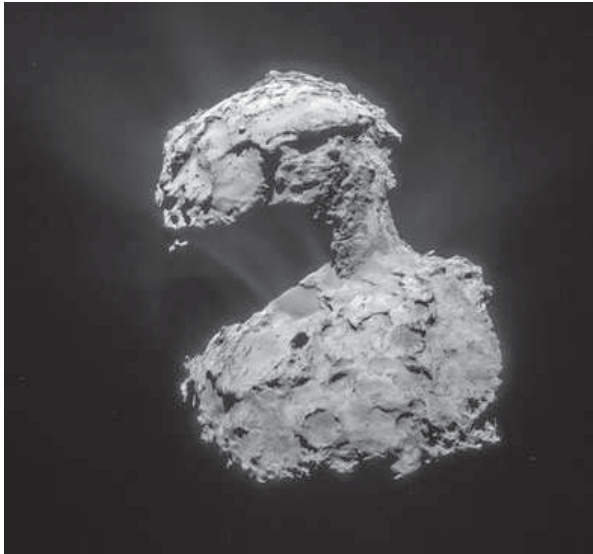
Właściwie dla prawie wszystkiego, co dzieje się we Wszechświecie, trudno jest nie generować fal grawitacyjnych. Wystarczy trzepot skrzydeł kilku motyli lub drganie kilku elektronów, a zmiany w ich polach grawitacyjnych rozprzestrzenia się w postaci fal grawitacyjnych do najdalszych zakątków Wszechświata.

W praktyce prawie jedynymi poruszającymi się obiektami, które nie emitują fal grawitacyjnych, są idealne kule obracające się, rozszerzające lub kurczące i to tylko pod warunkiem, że ich ruchy są symetryczne, jak też idealne walce, które obracają się wokół swoich osi obrotu.

Fal grawitacyjnych nie będzie generować kula obracająca się wokół dowolnej osi przechodzącej przez jej środek, a także podczas rozszerzania się lub kurczenia promieniście na zewnątrz lub do środka. Nie będzie ich generować, jeśli jej gęstość będzie zmieniać się w całym wnętrzu pod warunkiem, że zmiany gęstości będą tworzyć jednolite sferyczne powłoki o tym samym środku co cała kula. Fal grawitacyjnych nie wytworzy uderzenie przez gracza w snookera idealnej bili, powodujące jej rotację, aczkolwiek fale wygeneruje jej liniowy ruch po stole. Wystarczy jednak, że gracz natrze kij kredą i zostawi odrobinę kredy na powierzchni wirującej bili, to nie będzie już idealna kula i podczas swojego obrotu zacznie generować fale grawitacyjne. Podobnie, nie wygeneruje fal grawitacyjnych jednorodna gwiazda sferyczna, która eksploduje całkowicie równomiernie i promieniście ze swojego centrum jako supernowa, natomiast taka jednorodna eksplozja jest bardzo mało prawdopodobna, więc większość supernowych prawdopodobnie będzie źródłem fal grawitacyjnych.

Grawitacyjnie ciemny będzie również jednolity walec wirujący wokół swojej długiej osi. Jako naturalne zjawiska w całym Wszechświecie obiekty w kształcie walca są prawdopodobnie rzadkie, natomiast nie są nimi obiekty w kształcie hantli. Kometa 67P/Czuriumow–Gierasimienko, prawdopodobnie lepiej znana obecnie jako kometa [misji] Rosetty (rys. 5.1),

to dwa mniejsze, prawie kuliste obiekty, które zderzyły się i luźno złączyły ze sobą. Gdyby obracała się wokół swojej długiej osi, jej emisja fal grawitacyjnych byłaby niewielka, choć niezerowa, ponieważ jest dość porowata. Ta kometa nie obraca się jednak wokół długiej osi, a nawet gdyby tak było, byłaby to pozycja niestabilnej równowagi i nawet najmniejsze zakłócenie spowodowałoby, że zmieniłaby ją na inną, bardziej stabilną oś obrotu. Choć Wszechświat prawdopodobnie zawiera wiele obiektów przypominających kometę Rosetty, niewiele z nich będzie grawitacyjnie ciemnych.



Rysunek 5.1. | Kometa 67P/Czuriumow–Gierasimienko (kometa Rosetty) sfotografowana z odległości około 86 km przez sondę Rosetta [zdjęcie opublikowane za zgodą ESA – Europejskiej Agencji Kosmicznej, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Comet_67P_on_14_March_2015_-_NavCam.jpg]

Potencjalnie obserwowalne źródła fal grawitacyjnych

Oczywiście minie dużo czasu, zanim będziemy mogli wykryć fale grawitacyjne pochodzące od machania skrzydłami przez obce motyle, od śladów kredy na wirujących kulach bilaradowych, a nawet od komet w kształcie hantli. Nasze obecne detektory są zbyt mało czułe, aby wykryć tak słabe fale.

Poszukajmy zatem bardziej prawdopodobnych kandydatów. W praktyce, wśród detekcji, które miały miejsce (patrz poniżej oraz rozdział 6), znalazły się zdarzenia związane z falami grawitacyjnymi powstającymi w wyniku łączenia się elementów układów podwójnych składających się z czarnej dziury i gwiazdy neutronowej lub dwóch gwiazd neutronowych. Zupełnie odmienne podejście niż bezpośrednie detektory, takie jak AdvLIGO i AdvVirgo, również pośrednio pokazało, że para gwiazd neutronowych orbitujących wokół siebie emituje fale grawitacyjne w sposób ciągły (patrz poniżej).