

## Dynamika procesów wokół gwiazd zwartych

Gwiazdy zwarte to takie gwiazdy, których masa w stosunku do rozmiarów jest bardzo duża, a co za tym idzie, spotykane są tam ogromne gęstości materii - tak wielkie, że jedna łyżeczka materii wyjętej z wnętrza gwiazdy neutronowej mogłaby ważyć miliony ton. Siły, które podtrzymują przyciąganie grawitacyjne cząstek we wnętrzu takiej gwiazdy, istnieją dzięki ciśnieniu wytwarzanemu przez zdegenerowany gaz fermionowy – w wypadku gwiazd neutronowych jest to głównie ciśnienie zdegenerowanych neutronów. Do gwiazd zwartych należą także białe karły, w których ciśnienie zdegenerowanych elektronów równoważy grawitację i nie znika nawet wtedy, gdy temperatura gwiazdy spada do zera.

Obydwa wyżej wymienione typy gwiazd mają swoją masę graniczną, która w wypadku gwiazd neutronowych jest nieco mniej dokładnie znana, z uwagi na niepewność składu takich gwiazd (tzw. Równanie stanu), natomiast w wypadku białych karłów została wyznaczona przez S. Chandrasekhara I wynosi około 1.44 Masy Słońca. Jeśli gwiazda zwarta nabierze więcej masy i przekroczy tę granicę (na pewno nie większą niż ok. 3 Masy Słońca dla gwiazd neutronowych), to nic nie powstrzyma grawitacji a obiekt zapadnie się, tworząc czarną dziurę.

Astrofizyczne czarne dziury oddziałują ze swoim kosmicznym otoczeniem, pochłaniając materię znajdującą się w pobliżu. Jeśli materia taka posiada pewien niezerowy moment pędu, to w pewnej odległości od centrum (większej niż rozmiar horyzontu zdarzeń), może poruszać się po kołowej orbicie, zaś aby wpaść pod horyzont, powinna ten moment pędu wytracić. Pomagają w tym mechanizmy związane z tarciem lub turbulencjami, zaś w wypadku dysków akrecyjnych (składających się z setek pierścieni materii znajdującej się na takich coraz dalszych kołowych orbitach) ważnym czynnikiem jest obecność pola magnetycznego. Niestabilność magneto-rotacyjna pomaga materii pozbywać się momentu pędu. Jeśli jednak pole magnetyczne jest bardzo silne, potrafi też odpychać materię od horyzontu. Mamy wówczas do czynienia z efektem tak zwanego dysku aresztowanego magnetycznie (MAD).

Zbadanie procesu akrecji w modzie MAD wymaga rozwiązania skompikowanych równań różniczkowych opisujących magnetohydrodynamikę plazmy, poruszającej się w silnym polu grawitacyjnym, co zmusza nas do uwzględnienia efektów Ogólnej Teorii Względności (OTW). W naszych badaniach stosujemy w tym celu symulacje komputerowe, ponieważ równań tych nie da się rozwiązać analitycznie, na kartce papieru. Istnieją jednak obecnie dokładne i wiarygodne metody numeryczne, umożliwiające zbadanie zjawisk zachodzących w otoczeniu gwiazd zwartych. W szczególności, stosowane przez nas programy komputerowe pozwalają także na symulowanie zjawisk w plazmie bardzo gęstej, opisanej równaniem stanu gazu zdegenerowanego.

Z obserwacji dostępnych ostatnio dzięki interferometrii radiowej (Teleskop Horyzontu Zdarzeń – EHT) możliwe było uzyskanie obrazu pierścienia świetlnego otaczającego horyzont czarnej dziury w galaktyce M87, a także w naszej Galaktyce, gdzie centrum oznacza się symbilem Sgr A\*. Pierścień ten świeci dzięki emisji promieniowania synchrotronowego, a kształt tej emisji dobrze zgadza się z tym co może wyświecić dysk o strukturze MAD.

Z kolei dzięki teleskopom optycznym i satelitom astronomicznym odbierającym promieniowanie wysokich energii, wiemy że część materii obecnej w otoczeniu czarnej dziury nie wpada do niej, lecz uwalnia się i jest wyrzucana na zewnątrz. W rzadkich, wąskich strugach namagnesowanej materii, tzw. kosmicznych dżetach, zachodzą procesy promieniste skutkujące emisją wysokoenergetycznych fotonów. Z kolei w gęstszych, wolniejszych wyrzutach materii uwalnianej w postaci szerokiego wiatru, mogą zachodzić procesy jądrowe – zwłaszcza tam, gdzie materia otaczająca czarną dziurę pochodzi z rozerwanej gwiazdy neutronowej. Szybki strumień neutronów prowadzi do powstania radioaktywnych ciężkich izotopów, które rozpadając się dają sygnał w postaci tzw. 'kilonowej'. Zaś o tym, że zjawisko kilonowej było poprzedzone złaniem się dwóch gwiazd zwartych, wiemy dzięki zaobserwowanej w tym wypadku fali grawitacyjnej.

W naszym projekcie będziemy badać te wszystkie fascynujące zjawiska kosmiczne: pochodzenie i powstawanie astrofizycznych dżetów, powstawanie rozbłysków gamma i kilonowych, Chcemy też sprawdzić, w jakich warunkach rozbłyski i kilonowe być związane z falami grawitacyjnymi, również takimi, jakie zostaną w przyszłości zaobserwowane dzięki nowej generacji obserwatorium LISA. Wreszcie, chcemy wyjaśnić jaki jest mechanizm grzania plazmy emitującej światło z pierścienia wokół supermasywnej czarnej dziury zaobserwowanej przez teleskop EHT.

Nasze badania będą prowadzone w oparciu o dokładne, wielowymiarowe symulacje komputerowe, dzięki którym poznamy powstawanie i strukturę centralnych silników w otoczeniu gwiazd zwartych. Obliczenia te bazują na nowoczesnym aparacie teoretycznym: numerycznej relatywistyce, magnetohydrodynamice, fizyce procesów promienistych oraz fizyce jądrowej.