

Gromady gwiazd to gęsto upakowane grupy gwiazd przyciągające się wzajemnie siłami grawitacji. Szczególne miejsce pomiędzy gromadami gwiazd zajmują gromady kuliste (GK), które mogą składać się z setek tysięcy bardzo starych gwiazd (o wieku nawet 12 miliardów lat) i krążyć wokół galaktyk, w tym Drogi Mlecznej. Gwiazdy w GK doświadczają zupełnie innych warunków niż nasze Słońce. W tym drugim przypadku najbliższa gwiazda Proxima Centauri znajduje się w odległości 4.37 lat świetlnych podczas, gdy w typowej GK w takiej odległości znajdują się tysiące, a nawet miliony gwiazd. W konsekwencji, gwiazdy żyjące w GK mogą często zbliżać się do siebie. Podczas tak zwanych bliskich spotkań gwiazdy silnie oddziałują ze sobą, a w skrajnych przypadkach może dochodzić do bezpośrednich zderzeń, które silnie wpływają na ewolucję gwiazd.

Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej, gdy weźmiemy pod uwagę fakt, że wiele gwiazd, w przeciwieństwie do Słońca, istnieje w układach podwójnych. Są one wtedy silnie grawitacyjnie związane z inną gwiazdą i krążą wokół siebie. Te „gwiazdy podwójne” są niezwykle interesującymi obiektami astrofizycznymi ze względu na mnóstwo związanych z nimi interesujących zjawisk astrofizycznych, takich jak rentgenowskie układy podwójne i zlewanie się czarnych dziur.

Gwiazdy podwójne występujące w dyskach galaktyk ewoluują praktycznie niezaburzone. Natomiast te w GK podlegają wielu oddziaływaniom, które znacząco zmieniają ich właściwości, a nawet tworzą egzotyczne obiekty, jak na przykład niebiescy maruderzy. Szczególnie interesujące jest „utwardzanie” układów podwójnych, gdy wiele słabych oddziaływań („przelotów”) powoduje skrócenie ich okresów orbitalnych, skutecznie przybliżając je do siebie. Następnie, gdy separacja jest wystarczająco mała, gwiazdy mogą się łączyć, tworząc nowe interesujące obiekty lub wytwarzać fale grawitacyjne albo silne promieniowanie elektromagnetyczne.

Wszystkie te interesujące procesy zachodzące w GK sprawiają, że są one bardzo interesującymi laboratoriami do teoretycznych badań dynamiki gwiazdowej, w tym bliskich oddziaływań. Z drugiej strony teoretyczne badania ewolucji GK są niezwykle trudne. Co więcej, jeśli chcemy zrozumieć ewolucję GK, musimy badać wpływ wszystkich procesów jednocześnie. Dlatego symulacje numeryczne są niezbędne do ich zrozumienia. Najbardziej dokładną metodą numeryczną jest metoda N-ciałowa. W metodzie tej siła działająca na jedną gwiazdę jest wynikiem sumowania sił pochodzących od wszystkich innych gwiazd, a ich położenia i prędkości są wyznaczone przy użyciu obliczonych sił. Jednak tego typu symulacje są niezwykle czasochłonne. Policzenie ewolucji rzeczywistej GK jest niezwykle wyzwaniem i może trwać ponad rok. Jednak z powodu mnogości parametrów początkowych określających ewolucję gromady, metoda N-ciałowa jest niepraktyczna. Alternatywą jest rozwijany w Centrum Astronomicznym Polskiej Akademii Nauk przez grupę Mirka Giersza kod Monte Carlo MOCCA, który jest niezwykle szybki i jednocześnie uwzględnia wszystkie ważne procesy fizyczne zachodzące w gromadach. Porównanie kodów N-ciałowego i MOCCA pokazuje dobrą zgodność wyników symulacji. Kod MOCCA jest idealnym kodem do prowadzenia przeglądów modeli GK.

Głównym celem projektu będzie przeprowadzenie dogłębnej analizy kilku tysięcy modeli gromad gwiazdowych, które będą wykonane przy użyciu zaktualizowanej wersji kodu MOCCA, w celu zbadania populacji obiektów zwartych w gęstych środowiskach gromad gwiazdowych. Oczekuje się, że najbardziej masywne i gęste gromady gwiazd, takie jak GK, będą zawierać tysiące obiektów zwartych, które powstają w trakcie końcowych etapów ewolucji gwiazd. Oddziaływania grawitacyjne w gęstych gromadach gwiazd mogą prowadzić do powstania egzotycznych układów podwójnych lub wielokrotnych, które mogą zawierać zwarte obiekty. Systemy takie mogą być silnymi źródłami fal grawitacyjnych i wysokoenergetycznego promieniowania elektromagnetycznego. Instrumenty obserwacyjne, które mogą wykrywać takie egzotyczne obiekty, stają się coraz bardziej wyrafinowane i istnieje potrzeba dokonywania prognoz i porównywania nowych wyników obserwacji z przewidywaniami teoretycznymi. Wyznamy liczby, masy i właściwości pojedynczych zwartych obiektów oraz znajdujących się w układach podwójnych i wielokrotnych oraz określimy procesy prowadzące do ich powstawania i zderzeń pomiędzy nimi. Dodatkowo zbadamy, jak liczba i właściwości zwartych obiektów ewoluują w czasie i jak zależą one od początkowych parametrów określających właściwości gromad gwiazdowych oraz od szczegółów związanych z opisem ewolucji gwiazd i układów podwójnych.

Mamy nadzieję, że zbudowanie nowej bazy danych, zawierającej tysiące rzeczywistych modeli gromad gwiazd, pozwoli nam zidentyfikować jeszcze nie odkryte kanały prowadzące do zderzeń między zwartymi obiektami oraz procesami prowadzącymi do spektakularnych wybuchów promieniowania elektromagnetycznego. Wyniki planowanych symulacji dadzą pełen obraz kanałów oddziaływań i ich właściwości, dzięki którym źródła fal grawitacyjnych mogą tworzyć się w gęstych gromadach gwiazd. Będziemy w stanie także dokonywać porównań i przedstawiać prognozy dla obecnych i planowanych kampanii obserwacji fal grawitacyjnych i rentgenowskich/gamma pochodzących ze zwartych obiektów, które mogą pomóc w lepszym zrozumieniu procesów fizycznych i znaleźć odpowiedzi na kluczowe pytania w dziedzinie fizyki obiektów zwartych.