

POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

Galaktyki spiralne, takie jak nasza Droga Mleczna, z ich jasnymi, regularnymi ramionami spiralnymi, są w pewnością jednymi z najpiękniejszych obiektów we Wszechświecie, ale należą też do najbardziej skomplikowanych. Ramiona spiralne stanowią część dysku będącego dominującą strukturą tego typu galaktyk, która obraca się, co świadczy o obecności momentu pędu (MP). Wielkość ta odgrywa decydującą rolę w powstawaniu galaktyk, ponieważ wpływa na ich globalny kształt, rozmiar i prędkość rotacji poszczególnych składników, takich jak ramiona spiralne. Zatem zrozumienie, jak MP jest rozłożony i wymieniany pomiędzy różnymi składnikami galaktyki, ma kluczowe znaczenie dla poznania własności i ewolucji galaktyk spiralnych i w dziedzinie tej jest jeszcze wiele do odkrycia. Wiele elementów może mieć wpływ na rozkład MP w dysku, należą do nich między innymi wiatry galaktyczne. Wiatry te powstają i nabierają przyspieszenia w wyniku wybuchów supernowych i transportują gorący gaz przez całą galaktykę. W szczególności, wybuchy takie tworzą i przyspieszają promienie kosmiczne, czyli gaz cząstek, takich jak protony i jądra helu, o wysokiej energii i prędkości bliskiej prędkości światła. Promienie te oddziałują z polem magnetycznym galaktyki prowadząc do powstania silnych wiatrów galaktycznych. Wiatry te oddziałują na galaktykę i jej MP w wieloraki sposób. Mogą one wyrzucać gaz o niskim MP z dysku, co zmniejsza ilość gazu dostępnego do produkcji gwiazd. Gaz może również zostać przeniesiony z jednego obszaru galaktyki do innego, zatem wiatry zmieniają rozkład gazu i MP w całym dysku. Promienie kosmiczne i pola magnetyczne są zatem istotnymi elementami w zrozumieniu powstawania i ewolucji galaktyk dyskowych i ich składników, chociaż rzadko się je uwzględnia w symulacjach powstawania galaktyk. Proponowany projekt ma na celu zbadanie po raz pierwszy roli wiatrów napędzanych promieniami kosmicznymi w kształtowaniu rozkładu MP w galaktykach spiralnych w realistycznym kontekście kosmologicznym, czyli w obecności innych sąsiednich galaktyk i w zależności od środowiska. Co więcej, znaczna część galaktyk spiralnych (w tym Droga Mleczna) posiada poprzeczkę, czyli wydłużoną, jasną strukturę w centrum galaktyki. Poprzeczka ta wymienia MP z gazem galaktycznym wywierając moment siły, który przyciąga gaz w kierunku centrum i zmniejsza jego MP. Podczas gdy zjawisko to badano dotąd przeważnie jako proces zachodzący w odosobnieniu, w proponowanym projekcie zbadam, w jaki sposób wiatry napędzane promieniami kosmicznymi wpływają na ten mechanizm, czy wzmacniają go czy raczej wygaszają.

W ramach tego projektu przeprowadzę i przeanalizuję symulacje numeryczne galaktyk spiralnych uwzględniające pole magnetyczne, promienie kosmiczne oraz cząstki odpowiadające gwiazdom, aby zbadać wymianę i rozkład MP w obecności wiatrów napędzanych promieniami kosmicznymi. Symulacje zostaną przeprowadzone przy pomocy wielozadaniowego, magnetohydrodynamicznego programu PIERNIK, stworzonego na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu i będą obejmowały gwiazdy, gaz oraz ciemną materię modelowane przy pomocy kilku milionów cząstek. Wstępna część projektu będzie poświęcona testom nowego modułu programu PIERNIK, który pozwoli na włączenie do symulacji cząstek i przystosowanie go do planowanych symulacji ewolucji galaktyk. Grupa, do której dołączę w Toruniu, aktywnie rozwija ten program i jest w stanie udzielić wsparcia nowym członkom zespołu. W celu przeprowadzenia symulacji uzyskam dostęp do wieloprocesorowych superkomputerów.

W następnej kolejności wykonam symulacje galaktyk z uwzględnieniem ich otoczenia, czyli w obecności innych galaktyk, wykorzystując publiczne dane z symulacji Illustris. Jest to wielka symulacja kosmologiczna, odtwarzająca znaczny fragment Wszechświata i zawierająca tysiące realistycznych galaktyk. Z symulacji tej wybiorę kilkadziesiąt najciekawszych galaktyk spiralnych, a następnie wykonam ich ponowne symulacje w większej rozdzielczości przy pomocy programu PIERNIK. Pozwoli to na stworzenie próbki symulacji galaktyk o wysokiej rozdzielczości, a jednocześnie o realistycznych własnościach, ponieważ powstały one w kontekście kosmologicznym. Na podstawie tej próbki będę w stanie zbadać, w jaki sposób wiatry napędzane promieniami kosmicznymi wpływają na ewolucję MP w galaktykach dyskowych w różnych sytuacjach, także w obecności innych czynników mających wpływ na MP, takich jak przepływy gazu w kierunku środka galaktyki powodowane przez poprzeczkę czy oddziaływania z innymi galaktykami. Badania te zostaną wykonane we współpracy z prof. M. Hanaszem z UMK w Toruniu, ekspertem w dziedzinie symulacji pól magnetycznych i promieni kosmicznych, oraz dr T. Naabem z Instytutu Maxa Plancka w Garching, członkiem grupy należącej do światowej czołówki w dziedzinie badań nad powstawaniem i ewolucją galaktyk.

Nawet dysponując wiedzą na temat ważnej roli MP w powstawaniu, ewolucji i strukturze galaktyk dyskowych, ciągle nie mamy pełnego obrazu wszystkich zjawisk, które decydują o rozkładzie i wymianie MP w galaktykach. Dzięki temu projektowi stworzę bardziej kompletny i dokładny obraz ewolucji MP w galaktykach spiralnych. W szczególności, promienie kosmiczne i pole magnetyczne dopiero niedawno i w niewielkim stopniu zaczęto uwzględniać w symulacjach galaktyk, zaczynamy więc ledwie rozumieć ich znaczenie dla powstawania i ewolucji galaktyk. Projekt ten pozwoli zatem po raz pierwszy wyjaśnić ich rolę w powstawaniu ogólnego obrazu galaktyk spiralnych w realistycznym kontekście kosmologicznym.