

# Streszczenie

(Abstract in Polish)

Około 10% galaktyk posiadających aktywne jądra produkuje relatywistyczne dżety. Dżety te są skolimowanymi relatywistycznymi wypływami plazmy oraz pól magnetycznych. Dżety, a także inne wysokoenergetyczne zjawiska astrofizyczne, takie jak błyski gamma czy mgławice pulsarowe, prezentują nietermiczne sygnały promieniowania pochodzące od nietermicznych rozkładów energii cząstek. Te rozkłady cząstek wynikają z nietermicznego przyspieszania w środowisku bezkolizyjnej plazmy o niskiej gęstości. Dodatkowo, z obserwacji emisji synchrotronowej uważa się, że pola magnetyczne odgrywają fundamentalną rolę w przyspieszaniu cząstek oraz w procesach promienistych. Te dwa warunki, niskie gęstości oraz silne pola magnetyczne, implikują relatywistyczne magnetyzacje, co oznacza, że gęstość energii magnetycznej dominuje nad gęstością energii spoczynkowej materii.

Przez długi czas debatowano, który mechanizm dysypacji (w szczególności fale uderzeniowe czy rekoneksja pól magnetycznych) najlepiej odpowiada obserwowanym sygnałom promieniowania, jak efektywny jest ów mechanizm i gdzie dokładnie zachodzi. Dopiero w ciągu ostatnich lat symulacje kinetyczne stały się narzędziem do badania od podstaw efektów niestabilności, wychodząc poza ich fazę liniową, w relatywistycznie zmagetyzowanych plazmach, a wyniki tych symulacji są stosowane w modelach emisji pozwalających na wyjaśnienie obserwacji.

Głównym tematem tej rozprawy jest analiza dwóch mechanizmów przyspieszania cząstek w relatywistycznie zmagetyzowanych dżetach poprzez kinetyczne symulacje typu „cząstka w komórce” (ang. „particle-in-cell”; PIC). Mechanizmami tymi są: (1) stacjonarna relatywistyczna rekoneksja pól magnetycznych oraz (2) niestabilności napędzane prądem lub ciśnieniem gazu w cylindrycznym zmagetyzowanym dżecie.

Rozdział 2, który stanowi publikacja Ortuño-Macías and Nalewajko (2020), przedstawia wyniki dwuwymiarowych symulacji PIC relatywistycznej rekoneksji pól magnetycznych w promieniującej plazmie elektronowo-pozytronowej, gdzie stacjonarność uzyskano poprzez otwarte warunki brzegowe pozwalające na swobodne wypływy. Uwzględniliśmy reakcję promienistą na proces synchrotronowy, natomiast efektywność chłodzenia promienistego regulowana była poprzez wybór początkowej temperatury plazmy. Potwierdziliśmy antykorelację pomiędzy rozmiarami a prędkościami plazmoidów wykazaną w pracy Sironi et al. (2016), co oznacza, że małe plazmoidy są szybkie, a duże plazmoidy są wolne. Zauważyliśmy, że relatywistyczne wypływy pomiędzy plazmoidami (minidżety) mają niewielki wkład do obserwowanego promieniowania ze względu na ich niskie gęstości. Stwierdziliśmy, że główny wkład do obserwowanej emisji pochodzi od dużych/wolnych plazmoidów, w których najwięcej promieniowania produkowane jest w ich centralnych rdzeniach. Otrzymane synchrotronowe krzywe blasku wykazują

charakterystyczne sygnały w postaci szybkich i intensywnych pojaśnień, które zidentyfikowaliśmy jako produkowane podczas zderzeń pomiędzy plazmoidami małym/szybkim a dużym/wolnym poruszającymi się w tym samym kierunku.

Druga publikacja Ortuño-Macías et al. (2022), zawarta w Rozdziale 3, przedstawia wyniki trójwymiarowych symulacji kinetycznych cylindrycznych relatywistycznie zmagnetyzowanych dżetów wypełnionych plazmą elektronowo-pozytronową. Konfiguracja naszych symulacji została pomyślana jako pomost pomiędzy dwoma modelami rozważanymi dotychczas, pomiędzy konfiguracją podtrzymywaną ciśnieniem gazu (badaną w pracy Alves et al., 2018) a konfiguracją podtrzymywaną składową poloidalną pola magnetycznego (badaną w pracy Davelaar et al., 2020), używając jednego parametru, który określa ile ciśnienia wywieranego jest przez gaz w porównaniu z ciśnieniem oraz napięciem składowej toroidalnej pola magnetycznego. Badaliśmy także efekt indeksu potęgowego profilu radialnego toroidalnego pola magnetycznego. Pokazujemy, że limit na energię cząstek określony w pracy Alves et al. (2018) wynika ze skończonego czasu trwania tzw. szybkiej fazy dysypacji magnetycznej. Dla każdej z badanych konfiguracji stwierdziliśmy niewielki wkład od równoległych pól elektrycznych (związanych z obszarami rekoneksji magnetycznej z tzw. polem wiodącym) do przyspieszania cząstek. We wszystkich badanych przypadkach mody typu kink narastają od centralnego rdzenia dżetu. W przypadkach zdominowanych ciśnieniem gazu obserwujemy także porównywalny wkład modów typu pinch. Argumentujemy, że mody napędzane ciśnieniem gazu są istotne tam, gdzie ciśnienie gazu produkowane jest przez inne mechanizmy dysypacyjne.