

Pochodzenie cząstek wysokich energii stanowi od dawna nierozwiązany problem w astrofizyce. Wysokoenergetyczne naładowane cząstki generują silnie nietermiczne promieniowanie radiowe, rentgenowskie i gamma obserwowane w obiektach astronomicznych. Są one również rejestrowane w dużych ilościach na Ziemi i znane jako promienie kosmiczne. Mierzone energie promieni kosmicznych sięgają  $10^{21}$  eV i są zapewne nawet wyższe w źródłach, ponieważ część ich energii jest tracona podczas propagacji w ośrodku międzygwiazdowym i/lub międzygalaktycznym.

Często przyjmuje się, że wysokoenergetyczne cząstki są przyspieszane na falach uderzeniowych. Szoki są wszechobecne we Wszechświecie. Występują w wielu obiektach astrofizycznych, których rozmiary sięgają od skali fali łukowej Ziemi, poprzez rozbłyski słoneczne, szok końcowy wiatru słonecznego, fale uderzeniowe pozostałości po wybuchach supernowych, aż po struktury dużej skali, takie jak błyski gamma czy szoki zderzających się gromad galaktyk.

Celem projektu jest badanie procesów, które prowadzą do przyspieszania naładowanych cząstek w falach uderzeniowych w plazmie kosmicznej. Badane będą nierelatywistyczne i relatywistyczne szoki astrofizyczne. Chociaż ogólne mechanizmy przyspieszania cząstek na falach uderzeniowych są od dawna znane, dalecy jesteśmy od pełnego zrozumienia, które z tych procesów mogą działać w warunkach fizycznych zadanych w źródłach i jakie są ich wydajności.

Plazma astrofizyczna jest złożonym układem, w którym przyspieszone cząstki, promieniowanie elektromagnetyczne i cząstki plazmy termicznej są silnie ze sobą sprzężone. Do badania takiego układu potrzebna jest więc odpowiednia metoda. Najbardziej precyzyjnym narzędziem jest nowoczesna technika symulacji numerycznych typu PIC (Particle-in-Cell). Opiera się ona na prostym pomysłe śledzenia trajektorii poszczególnych cząstek plazmy na siatce obliczeniowej, na której definiowane są również pola elektromagnetyczne, a ich ewolucję można prześledzić, rozwiązując dobrze znane równania Maxwella. Metoda PIC pozwala badać plazmę w najmniejszych skalach, zadanych przez elektrony plazmy. W silnie sprzężonym układzie plazmy, te mikrofizyczne skale mogą jednak w dłuższej perspektywie kształtować procesy zachodzące w znacznie większych makro-skalach obiektów astrofizycznych. Dlatego badanie mikrofizyki plazmy ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia fizyki obiektów astronomicznych, w których występują bezzdechrzeniowe fale uderzeniowe.

W projekcie tym interesuje nas głównie przyspieszanie cząstek. Będziemy badać te procesy w dwóch różnych i słabo zbadanych reżimach parametrów fal uderzeniowych i plazmy ośrodka. Problem, który chcemy badać dla szoków nierelatywistycznych, to w jaki sposób elektrony i protony plazmy termicznej można wstępnie przyspieszyć w fali uderzeniowej do energii, przy których wewnętrzna struktura szoku nie może już wpływać na oddziaływanie tych cząstek z powierzchnią nieciągłości fali. Te procesy wstrzykiwania cząstek będziemy analizować dla słabych i powolnych, ale za to olbrzymich fal uderzeniowych powstałych podczas zderzeń gromad galaktyk, które rozchodzą się w bardzo gorącej plazmie ośrodka wewnątrz gromady. W badaniach relatywistycznych fal uderzeniowych interesują nas procesy, które umożliwiają elektronom i protonom uzyskanie ogromnych energii w oddziaływaniach z falami elektromagnetycznymi o dużej amplitudzie, które mogą formować się z przodu fali uderzeniowej. Takie relatywistyczne fale uderzeniowe występują w dżetach aktywnych galaktyk lub błyskach gamma, w których plazma może być zmagnetyzowana.

Symulacje PIC zaplanowane w tym projekcie będą wykonywane na superkomputerach o dużej mocy obliczeniowej, przy użyciu zaawansowanych wysokowydajnych masowo równoległych kodów numerycznych.