

Celem projektu jest badanie kilku interesujących i słabo zrozumianych procesów fizycznych zachodzących w tzw. plazmie relatywistycznej. Plazma, określaną czasem jako czwarty stan skupienia materii po stałym, ciekłym i gazowym, jest kombinacją zjonizowanego gazu (przewodzącego prąd elektryczny) oraz pola magnetycznego. W naszym projekcie będziemy badać głównie najprostszą formę plazmy - gaz elektronowo-pozytronowy, składający się z cząstek elementarnych o takiej samej masie i przeciwnych ładunkach elektrycznych. O plazmie relatywistycznej mówimy wtedy, gdy energia kinetyczna cząstek jest porównywalna lub większa od ich energii spoczynkowej (mc^2), albo gdy energia magnetyczna jest porównywalna lub większa od energii cząstek. Symulacje numeryczne relatywistycznej plazmy wykonuje się techniką zwaną "cząstką w komórce" (ang. "particle-in-cell"), w której przestrzeń symulacji dzieli się na komórki, a każda komórka zawiera średnie pole magnetyczne i elektryczne, oraz pewną liczbę (kilkadziesiąt - kilkaset) cząstek. Symulacje wykonamy kodem numerycznym Zeltron napisanym przez dr. Benoit Cerutti, kod ten jest publicznie dostępny na stronie [<http://benoit.cerutti.free.fr/Zeltron/>]. Wykonanie nawet niewielkiej symulacji wymaga użycia wielu procesorów jednocześnie, dlatego oprócz odpowiedniego kodu numerycznego potrzebujemy dostępu do superkomputerów składających się z tysięcy procesorów. Znakomicie się składa, że w Polsce bardzo szybko rozwija się nowoczesnych superkomputerów zwana PLGrid [<http://www.plgrid.pl/>]. Chcemy w pełni wykorzystać możliwości PLGrid, ale równolegle będziemy korzystali z superkomputerów w USA, które będą dla nas dostępne dzięki współpracy międzynarodowej. Będziemy współpracować z naukowcami z Uniwersytetu Stanforda oraz Uniwersytetu Kolorado.

Jakie procesy plazmowe chcemy symulować? Plazma relatywistyczna zawiera bardzo dużą ilość energii w polu magnetycznym. W pewnych sytuacjach, cząstki takiej energii magnetycznej mogą być uwięzione w przejściowej równowadze. Jeśli taki układ wytraci się z równowagi, pojawiają się niestabilności, np. plazma zaczyna się poruszać i jej energia kinetyczna gwałtownie rośnie. Ruchy plazmy wzbudzają pola elektryczne, mogą to doprowadzić do zderzenia się ze sobą obszarów o przeciwnym kierunku pola magnetycznego. Prowadzi to do tzw. rekoneksji pól magnetycznych, w której linie pola magnetycznego przecinają się. W tym momencie zachodzą szereg słabo zrozumianych zjawisk. Wiadomo, że energia magnetyczna zostaje przekształcona w energię cząstek, a cząstki w ruchy plazmy. Po krótkim czasie niestabilność przechodzi do fazy nieliniowej, a ruchy plazmy stają się na tyle chaotyczne, że możemy mówić o turbulencji magnetycznej.

Dlaczego jest to interesujące i jakie to ma zastosowanie? O istnieniu relatywistycznej plazmy wnioskujemy w przypadku najbardziej ekstremalnych zjawisk we Wszechświecie. Przede wszystkim, w przypadku obiektów emitujących promieniowanie gamma, gdzie fotony mają energię miliardy razy większą od energii fotonów widzianych przez ludzkie oko. Emisja promieniowania gamma wymaga obecności cząstek o bardzo dużych (relatywistycznych) energiach, a w dodatku cząstek o rozkładzie nietermicznym. Pojawia się więc naturalne pytanie o mechanizm przyspieszania cząstek do takich energii. W dużym uproszczeniu, badacze skupiają się na dwóch możliwościach - fale uderzeniowe i rekoneksja pól magnetycznych. Relatywistyczne fale uderzeniowe zostały zbadane dość dokładnie, również poprzez symulacje cząstkowe, i okazało się istniejącą poważną przeszkodą w efektywnym przyspieszaniu cząstek do wysokich energii. Natomiast rekoneksja pól magnetycznych jest nadal procesem słabo poznanym, za to szereg niedawno opublikowanych symulacji numerycznych wskazuje na wysoką efektywność przyspieszania cząstek.

W proponowanym przez nas projekcie, chcemy zbadać mechanizm rekoneksji pól magnetycznych w sytuacjach, gdy jest ona wywołana przez niestabilności plazmowe. Chcemy zrozumieć, jak wydajne jest w takim przypadku przyspieszanie cząstek, i jaką rolę pełni w tym rozwój turbulencji magnetycznej. Kod Zeltron umożliwi nam także obliczenie rozkładu widmowego, czasowego i kinetycznego promieniowania gamma wyprodukowanego podczas symulacji. Spodziewamy się otrzymać bardzo dużą ilość ciekawych wyników, które mogą przyczynić się do rozwiązania pewnych fundamentalnych zagadek astrofizyki.