

SYMULACJE POWSTAWANIA PAR ELEKTRON-POZYTON W PULSARNYCH CZAPACH POLARNYCH

PI: Andrey Timokhin (Uniwersytet Zielonogórski)

Gwiazdy neutronowe (GN) to obiekty o rozmiarach zaledwie ~ 3 razy większych niż Promień Schwarzschilda (promień czarnej dziury o tej samej masie), gęstościach porównywalnych do gęstości jąder atomowych, a ich pola magnetyczne osiągają (a nawet przekraczają) krytyczne wielkości sił pola kwantowego - są najbardziej ekstremalnymi (i jednocześnie stabilnymi) obiektami we Wszechświecie, które dostępne są dla naszych badań. Ekstremalnych warunków fizycznych panujących wewnątrz i w pobliżu GN nie można odtworzyć w żadnym ziemskim laboratorium. Badania GN oferują wyjątkową okazję do przetestowania podstawowych teorii fizycznych w najbardziej ekstremalnych reżimach. Aby wykorzystać tę niepowtarzalną okazję musimy zrozumieć, że GN produkują promieniowanie, które wykrywamy za pomocą teleskopów ziemskich i kosmicznych.

Zdecydowana większość znanych GN to pulsary radiowe - źródła okresowych impulsów radiowych, aczkolwiek pamiętać należy, że są to obiekty promieniujące w bardzo szerokim zakresie widma elektromagnetycznego (od fal radiowych do promieniowania gamma). Pulsary są szybko wirującymi i silnie namagnesowanymi gwiazdami neutronowymi, a ich emisja jest wytwarzana przez gęstą plazmę w ich magnetosferach. Odkryte zostały już ponad 50 lat temu, ale mimo tego w wielu aspektach pozostają zagadką dla współczesnej astrofizyki, ponieważ szczegóły mechanizmu ich emisji wciąż nie są znane. Najbardziej zagadkowy jest mechanizm emisji radiowej tych obiektów. Wynika to głównie z faktu, że emisja radiowa pulsarów jest spójna, co sugeruje że wytwarzana przez mikroskopijny kolektywny ruch plazmy w magnetosferze, ruch który jest niezwykle trudny do modelowania.

Plazma - czwarty stan materii (oprócz ciała stałego, cieczy i gazu) - to bardzo gorący gaz składający się z naładowanych cząstek, które oddziałują na odległość, w przeciwieństwie do normalnych gazów składających się z neutralnych cząstek oddziałujących tylko podczas zderzeń. Pulsary wyróżniają się na tym tle jeszcze bardziej: "normalna plazma" w gwiazdach, dyskach akrecyjnych i jonosferach planet składa się z elektronów i jonów. Na plazmę w magnetosferze gwiazd neutronowych składają się cząstki i antycząstki: elektrony i pozytony. Taka plazma powstaje w okolicach tzw. czap polarnych, czyli małych obszarów w pobliżu biegunów magnetycznych, gdzie występują bardzo gwałtowne "wyładowania" w warunkach bardzo silnych pul elektrycznych i magnetycznych.

Problem wyjaśnienia mechanizmu promieniowania pulsarów okazał się niezwykle skomplikowany. Wszystkie próby stworzenia analitycznego opisu struktury nawet wyidealizowanej magnetosfery pulsara - czyli znalezienia konfiguracji pól elektrycznych i magnetycznych - zakończyły się niepowodzeniem. Bez znajomości budowy magnetosfery gwiazdy neutronowej opracowanie realistycznego i niezawodnego modelu mechanizmu emisji pulsarów jest niemal niewykonalne. Przełom w teoretycznych pracach nad pulsarami nastąpił wraz z rozwojem technologii i ułatwieniem dostępu do potężnych komputerów. W pierwszej dekadzie tego wieku problem struktury tzw. bez-siłowej (force-free) magnetosfery pulsara został rozwiązany z pomocą symulacji komputerowych. Spójnego i niezawodnego modelu mechanizmów emisji pulsarów wciąż jednak brakuje.

W tym projekcie zbadamy, co dzieje się podczas wyładowań tworzących plazmę elektronowo-pozytonową za pomocą symulacji komputerowych z użyciem tak zwanej techniki Particle-In-Cell (PIC). W tej metodzie plazma jest reprezentowana jako zbiór makrocząstek przenoszących ładunek i masę. Metoda PIC to najbardziej fundamentalny sposób modelowania fizyki plazmy, który nie używa żadnych przybliżeń w skali mikrofizycznej (co odbywa się kosztem złożoności obliczeń).

Proponowane dedykowane symulacje wyładowań par w pobliżu pulsarów będą pierwsze w swoim rodzaju. Pokażą, w jaki sposób generowana jest radiowa emisja pulsarów wychodząc z najbardziej fundamentalnych zasad, oraz pokażą jak plazma rozprzestrzenia się przez magnetosferę. Proponowane badania pomogą stworzyć solidny teoretyczny model emisji radiowej z pulsarów. Wynikłe z symulacji prognozy, dotyczące np. kształtu widm pulsarów porównane zostaną z danymi obserwacyjnymi. Będziemy również badać to w jaki sposób wysoko-energetyczne cząstki wytwarzane podczas wyładowań nad czapą polarną GN ogrzewają jej powierzchnię, oraz jaką jasność osiągają te wyładowania w zakresie promieniowania gamma.