



Dr Fatemeh Kayanikhoo

Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika PAN

Rozmowa z autorką pracy:

„Radiative simulations of moderately magnetized accreting pulsars as ultraluminous X-ray sources”

Jak rozbudziło się Pani zainteresowanie wszechświatem i astrofizyką?

Jeszcze w szkole zainteresowałam się fizyką. Od razu wydała mi się ekscytująca i wiedziałam, że chcę zostać fizyczką. Później, podczas studiów licencjackich, poznawałam astronomię, co rozbudziło moje zainteresowanie kosmosem oraz ciałami niebieskimi, i zostałam astronomką-amatorką. Później, na studiach magisterskich, moją uwagę przyciągnęły zwarte obiekty, takie jak gwiazdy neutronowe, i egzotyczne - jak gwiazdy kwarkowe, czyli bardzo gęste i ekstremalne systemy, w których prawa fizyki wykraczają daleko poza to, co znamy i czego możemy doświadczyć na Ziemi.

Z czasem zainteresowałam się astrofizyką wysokich energii i podczas doktoratu zaczęłam wykorzystywać symulacje numeryczne. Zafascynowałam się tym, jak zaawansowane metody obliczeniowe mogą pomóc nam w badaniu tych ekstremalnych środowisk i odpowiadaniu na złożone pytania naukowe, które w innym przypadku pozostałyby poza naszym zasięgiem.

Co w Pani badaniach stanowiło największe wyzwanie?

Jednym z największych wyzwań było połączenie złożonej fizyki z metodami numerycznymi. Badam ekstremalne środowiska, takie jak gwiazdy neutronowe o wyjątkowo wysokim tempie akrecji. Systemy te obejmują bardzo silne pola magnetyczne i procesy wysokoenergetyczne, co sprawia, że ich modelowanie jest skomplikowane.

Aby prawidłowo badać te układy astrofizyczne, potrzebujemy dogłębnego zrozumienia fundamentalnej fizyki oraz zaawansowanych technik obliczeniowych. Zapewnienie, że symulacje są stabilne, dokładne i odpowiadające procesom rzeczywistym wymaga znacznego wysiłku. Niezbędny jest również dostęp do potężnych komputerów i dobrze zoptymalizowanego kodu.

W jaki sposób zasoby Cyfronetu przysłużyły się realizacji części Pani badań związanej z symulacjami numerycznymi?

Zasoby obliczeniowe zapewniane przez ACK Cyfronet AGH były niezbędne dla moich badań. Dostęp do superkomputerów pozwolił mi na przeprowadzenie dużych i złożonych symulacji, które nie byłyby możliwe na zwykłych komputerach. Wykorzystałam zasoby Cyfronetu do przeprowadzenia szczegółowego badania parametrów mojego modelu, co zaowocowało odkryciami o znaczącym wpływie na dziedzinę ultrajasných źródeł promieniowania rentgenowskiego (ULX). Zdolność do wydajnego przeprowadzania symulacji na dużą skalę pozwoliła mi przeprowadzić różne scenariusze fizyczne i pogłębić rozumienie tych systemów. Miało to decydujący wpływ na kształt badań, które prowadziłam w ramach doktoratu oraz wynikających z nich wniosków naukowych.

Co Panią najbardziej zaskoczyło w trakcie prowadzenia badań?

Moje badania doktoranckie koncentrowały się na zrozumieniu ULX poprzez symulacje numeryczne. Obiekty te wydają się emitować więcej promieniowania rentgenowskiego niż oczekuje się od typowych akreujących zwartych obiektów o masie gwiazdowej, ale mniej niż akreujące supermasywne czarne dziury znajdujące się w centrum galaktyk. Chociaż zaproponowano wiele modeli wyjaśniających ich niezwykłą jasność, ich natura nadal nie jest w pełni zrozumiała. Jednym z możliwych scenariuszy jest akrecja super-Eddingtonowska na gwiazdy neutronowe z polem magnetycznym. Symulacja takich układów

jest bardzo trudna ze względu na obecność stałej powierzchni i silnych pól magnetycznych gwiazd neutronowych. Jest to jeden z powodów, dla których istnieje tylko kilka realistycznych modeli symulacyjnych dla tych układów.

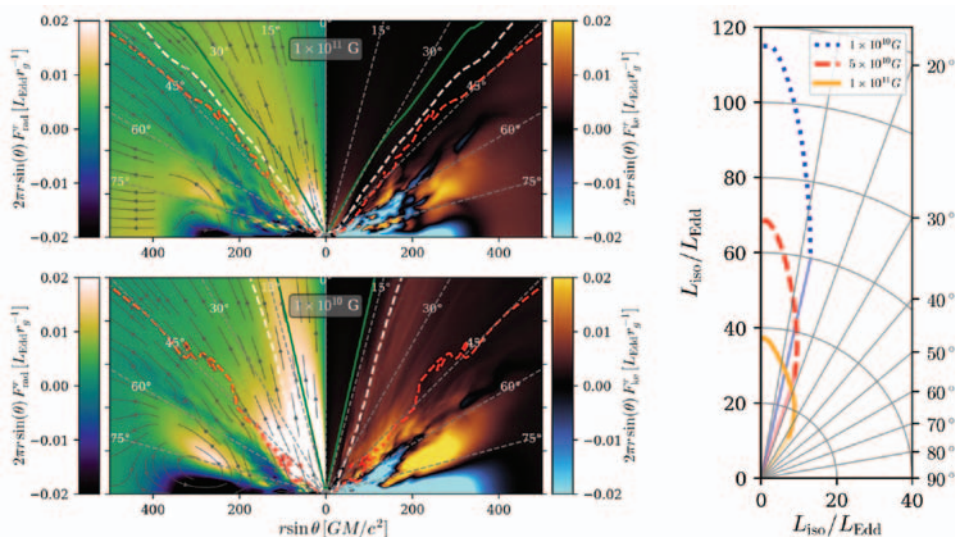
Tym, co mnie zaskoczyło, była rola natężenia pola magnetycznego gwiazdy neutronowej w określaniu, czy obiekt pojawia się jako ULX. W moich symulacjach odkryłam, że gwiazdy neutronowe o umiarkowanym natężeniu pola magnetycznego, rzędu 10^{10} Gaussa, mogą pojawiać się jako ULX, jeśli akreują powyżej granicy Eddingtona. Jeśli jednak pole magnetyczne jest o jeden rząd wielkości silniejsze, pozorna jasność ulega znacznemu zmniejszeniu, a układ nie należy już do kategorii ULX. Wynik ten był szczególnie interesujący, ponieważ model teoretyczny sugeruje, że magnetary, które mają niezwykle silne pola magnetyczne, mogą zasilać ULX. Modele te są jednak nie do końca zgodne z danymi obserwacyjnymi. Alternatywny model, bardziej zgodny z obserwacjami, sugeruje, że ULX są zasilane przez gwiazdy neutronowe o umiarkowanych polach magnetycznych. W tym scenariuszu niezwykle jasność wynika raczej z promieniowania niż z ekstremalnej siły magnetycznej. Nasze symulacje dostarczyły nowych dowodów dla tej drugiej koncepcji i pokazały, jak siła pola magnetycznego wpływa na układ.

Jakiej rady mogłaby Pani udzielić osobom planującym rozpoczęcie kariery naukowej?

Bądźcie dociekliwi i nie poddawajcie się łatwo. Astrofizyka wymaga zarówno kreatywności, jak i głębokiego myślenia. Nie bójcie się zadawać śmiałych pytań i podejmować trudnych problemów.

Współczesna nauka osiąga największą skuteczność, gdy modele analityczne, symulacje komputerowe oraz dane obserwacyjne współdziałają ze sobą, więc bądźcie otwarci na współpracę z ludźmi z różnych dziedzin nauki. Ważną rolę odgrywa również nauka kodowania i analizowania danych.

Co ważne, bądźcie cierpliwi, ponieważ nauka wymaga czasu, a postęp nie zawsze podąża prostą ścieżką. Bywa, że sprawy nie idą zgodnie z planem, ale nawet te momenty mogą nauczyć was czegoś cennego. Każdy podjęty krok pomaga wam rozwijać się na ścieżce naukowej.



Przepływ kinetyczny i radiacyjny w symulacjach z dwiema różnymi siłami dipola magnetycznego dla gwiazdy neutronowej, wraz z diagramem biegunowym pozornej jasności L_{iso} obliczonym dla trzech modeli, wskazuje, że ULX-y mogą być akreującymi gwiazdami neutronowymi z dipolem magnetycznym o wartości 10^{10} Gaussów. (Źródło: Kavanikhoo i in., 2025)