

### **Cel projektu:**

Głównym celem projektu jest opisanie dynamiki warstwy ściśliwego płynu przewodzącego prąd elektryczny znajdującego się w polu magnetycznym, ze względu na niestabilność barokliniczną i magneto-rotacyjną, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu dyfuzji termicznej i magnetycznej.

Motywacją do podjęcia planowanych badań jest jedno z fundamentalnych zagadnień teoretycznej astrofizyki, jakim jest powstawanie i podtrzymywanie gwiazdowych pól magnetycznych. Mechanizm rządzący tymi zjawiskami nosi nazwę dynamy magnetohydrodynamicznego. Pola przez niego generowane, odgrywają wielką rolę w rozmaitych procesach zachodzących we wszechświecie, mają także istotny wpływ na inne ciała niebieskie takie jak planety. Stąd główną motywacją badań i punktem odniesienia dla otrzymanych wyników będzie dynamika pola magnetycznego Słońca, którego bezpośredni i pośredni wpływ na naszą planetę jest ważny z punktu widzenia ziemskiego klimatu, warunków życia na Ziemi, a nawet bezpieczeństwa ludzkości w kontekście tzw. burz magnetycznych.

Uważa się, że spośród wielu rodzajów zaburzeń występujących w plazmie słonecznej jednymi z potencjalnie najważniejszych dla mechanizmu dynamy są niestabilności barokliniczna (zaburzenia tzw. wiatru termicznego) i magneto-rotacyjna (związana z rotacją różnicową słońca). Mogą być one również odpowiedzialne za tworzenie się plam słonecznych wskutek wydostawania się silnego toroidalnego pola magnetycznego z głębi Słońca. W ramach projektu znalezione zostaną najważniejsze wielkości charakteryzujące dynamikę tych niestabilności w przybliżeniu liniowym: kryteria stabilności układu, związek dyspersyjny, współczynniki tempa narastania zaburzeń oraz ich struktura: skale przestrzenne i czasowe. Szczególny nacisk zostanie położony na ilościowe opisanie wpływu dyfuzji na badane niestabilności, co pozwoli na zidentyfikowanie najszybciej narastających zaburzeń, których rola w dynamice układu jest najistotniejsza. Ostatecznie, dzięki otrzymanym wynikom, możliwe będzie sformułowanie efektywnego układu równań opisującego ewolucję plazmy i pola magnetycznego w badanym układzie.

### **Badania realizowane w projekcie:**

Osiągnięcie celów projektu planowane jest dzięki jednoczesnemu zastosowaniu zaawansowanych metod matematycznych w analizie teoretycznej oraz weryfikujących jej wyniki symulacji numerycznych.

Obecnie uważa się, że generacja pola magnetycznego Słońca zachodzi przede wszystkim w stosunkowo cienkiej warstwie wewnątrz gwiazdy, zwanej tachokliną słoneczną. Stąd uzasadnionym i popularnym przybliżeniem przy badaniu zbliżonych zagadnień jest przyjęcie geometrii kartezyjskiej i rozważanie płaskiej warstwy płynu o skończonej grubości.

Ewolucja przepływu i pola magnetycznego zostanie opisana standardowymi równaniami magnetohydrodynamiki. Jednak w przeciwieństwie do wielu dotychczasowych prac zostanie wzięta pod uwagę ściślność płynu, a także dyfuzja termiczna oraz magnetyczna (związane z niezerowym przewodnictwem cieplnym i opornością elektryczną ośrodka). Liniowa analiza takiego układu równań będzie możliwa dzięki wykorzystaniu metod asymptotycznych w granicy małych dyfuzyjności, co jest motywowane właściwościami fizycznymi plazmy słonecznej. Wykorzystane zostaną zwłaszcza metoda warstwy granicznej oraz metoda WKB, które pozwolą na znalezienie asymptotycznych przybliżeń wielkości charakteryzujących badane niestabilności. Natomiast metoda wielu skal zostanie użyta do sformułowania ostatecznego układu równań opisujących dynamikę plazmy w tachoklinie słonecznej.

Symulacje numeryczne zostaną przeprowadzone w oparciu o własny kod napisany w języku Python. Przy pomocy stosownych metod zbadane zostanie zarówno zagadnienie brzegowe jak i ewolucja czasowa układu, dzięki czemu możliwe będzie wiarygodne zweryfikowanie wyników analizy teoretycznej.

### **Powody podjęcia danej tematyki badawczej:**

Wyniki uzyskane w ramach projektu pozwolą na dalsze badanie zagadnienia dla bardziej skomplikowanych i bliższych rzeczywistości założeń, takich jak saturacja nieliniowych niestabilności, przepływy turbulentne oraz geometria sferyczna. Możliwe będzie także ich wykorzystanie w badaniach ewolucji pól magnetycznych innych obiektów astrofizycznych takich jak planety czy dyski akrecyjne.

Dzięki otrzymanym skalom przestrzennym i czasowym zaburzeń, ułatwione będzie badanie i wyjaśnianie genezy zjawisk heliofizycznych takich jak plamy słoneczne, które mogą być wynikiem rozwoju niestabilności baroklinicznej i magneto-rotacyjnej w tachoklinie. Natomiast otrzymany efektywny układ równań opisujący plazmę w tachoklinie pozwoli na lepsze zrozumienie mechanizmu dynamy słonecznej, a dzięki temu na głębsze zrozumienie i opisywanie aktywności Słońca, mającego tak fundamentalny wpływ na naszą planetę.