

AUTOREFERAT

1. Dane podstawowe

a) Dane personalne

Imię i nazwisko: Marcin Gruszecki

Miejsce pracy: Zakład Informatyki Radiologicznej i Statystyki

Wydział Nauk o Zdrowiu

Gdański Uniwersytet Medyczny

ul. Tuwima 15

80-210 Gdańsk

email: mgruszecki@gumed.edu.pl

b) Wykształcenie i stopnie naukowe

doktor nauk fizycznych

2009 r., Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej

Symulacje numeryczne fal magnetohydrodynamicznych w koronie słonecznej

Promotor: prof. dr hab. Krzysztof Murawski

magister fizyki

2005r., Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej

Symulacje numeryczne fal MHD

Promotor: prof. dr hab. Krzysztof Murawski

c) Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowo-badawczych

2013 - #

Adiunkt, Zakład Informatyki Radiologicznej i Statystyki

Wydział Nauk o Zdrowiu

Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, Polska

2009 – 2011

Post-Doc, Center for Fusion, Space and Astrophysics

University of Warwick, UK

2005 – 2009

Doktorant, Katedra Fizyki Teoretycznej

Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej, Lublin, Polska

2. Osiągnięcia stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 16 ust. 2 z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) jest jednotematyczny cykl publikacji naukowych pt. ***Użycie fal magnetohydrodynamicznych jako narzędzia do diagnostyki plazmy słonecznej.***

Lista publikacji stanowiących monotematyczny cykl:

1. **M. Gruszecki**, V.M. Nakariakov, T. Van Doorselaere, [Intensity variations associated with fast sausage modes](#), 2012, **Astron. Astrophys.**, 543, A12

Mój wkład w powyższą pracę polegał na czynnym udziale w powstaniu koncepcji badań i interpretacji uzyskanych wyników. Określiłem warunki początkowe i brzegowe oraz uruchomiłem symulacje numeryczne. W wydanej publikacji dokonałem analizy wszystkich danych numerycznych i ją napisałem. Zgodnie z oświadczeniami współautorów (V.M.N. – 25%, T.V.D – 15%) oszacowałem swój wkład na 60%.

2. **M. Gruszecki**, V.M. Nakariakov, [Slow magnetacoustic waves in magnetic arcades](#), 2011c, **Astron. Astrophys.**, 536, A68

Mój wkład w powyższą pracę polegał na czynnym udziale w powstaniu koncepcji badań i interpretacji uzyskanych wyników. Określiłem warunki początkowe i brzegowe oraz uruchomiłem symulacje numeryczne. W wydanej publikacji dokonałem analizy wszystkich danych numerycznych i ją napisałem. Brałem czynny udział w odpowiedzi na pytania recenzenta. Zgodnie z oświadczeniem współautora (V.M.N. – 30%) oszacowałem swój wkład na 70%.

3. **M. Gruszecki**, S. Vasheghani Farahani, V.M. Nakariakov, T.D. Arber, [Magnetoacoustic shock formation near a magnetic null point](#), 2011a, **Astron. Astrophys.**, 531, A63

Mój wkład w powyższą pracę polegał na czynnym udziale w powstaniu koncepcji badań i interpretacji uzyskanych wyników. Określiłem warunki początkowe i brzegowe oraz uruchomiłem symulacje numeryczne. W publikacji napisałem część dotyczącą badań numerycznych oraz dokonałem analizy wszystkich danych numerycznych i ją napisałem. Brałem czynny udział w odpowiedzi na pytania recenzenta. Zgodnie z oświadczeniami współautorów (V.M.N. – 20%, S.V.F – 20%, T.D.A. – 5%) oszacowałem swój wkład na 55%.

4. **M. Gruszecki**, V.M. Nakariakov, T. Van Doorselaere, T.D. Arber, [The phenomenon of Alfvénic vortex shedding](#), 2010, **Physic. Rev. Let.**, 105, 055004

Mój wkład w powyższą pracę polegał na czynnym udziale w powstaniu koncepcji badań i interpretacji uzyskanych wyników. Określiłem warunki początkowe i brzegowe oraz uruchomiłem symulacje numeryczne. W wydanej publikacji dokonałem analizy wszystkich danych numerycznych i ją napisałem. Brałem czynny udział w odpowiedzi na pytania recenzenta. Zgodnie z oświadczeniami współautorów (V.M.N. – 25%, T.V.D – 10%, T.D.A. – 5%) oszacowałem swój wkład na 60%.

Wprowadzenie

Słońce jest centralną gwiazdą Układu Słonecznego. Kształt „naszej gwiazdy” jest prawie kulisty a jego budowa jest wielowarstwowa. Jądro, warstwę promienistą i konwekcyjną zaliczamy do warstw wewnętrznych, a warstwy zewnętrzne tworzą fotosfera, chromosfera i korona (Priest 1984).

W prowadzonych badaniach swoją uwagę koncentrowałem głównie na najbardziej zewnętrznej i najgorętszej warstwie atmosfery Słońca – koronie słonecznej. Przybiera ona perłową barwę podczas całkowitych zaćmień Słońca. Można w niej obserwować różne struktury magnetyczne: pętle (ang. loops) czy wstęgi (ang. streamers). Ponadto z korony słonecznej uwalniany jest strumień naładowanych cząstek zwany wiatrem słonecznym. Mechanizm powodujący przyspieszenie wiatru słonecznego wzbudza zainteresowanie heliofizyków od wielu lat (Parker 1965, Leer i inni 1980, Verdini i inni 2009). Jego poznanie jest ważne nie tylko z powodu dokładnego zrozumienia fundamentalnych zjawisk zachodzących w słonecznej plazmie, ale ze względu na rozwój nowej gałęzi heliofizyki, zajmującej się prognozowaniem pogody kosmicznej (Schwenn 2006). Plazma jest najbardziej rozpowszechnionym stanem skupienia we Wszechświecie i odgrywa ważną rolę w generacji pola magnetycznego gwiazd oraz dynamice ich atmosfer (Priest 1984). Pełne poznanie koronalnych zjawisk powinno zaowocować nowymi obserwacjami i teoriami w niedalekiej przyszłości.

Poprzednie i obecne badania wskazały, że pole magnetyczne jest kluczem do zrozumienia zjawisk zachodzących w koronie (Priest 1984, Roberts i inni 2003, Nakariakov i inni 2005). Warstwa ta jest zdominowana przez pole magnetyczne, które kontroluje przebieg obserwowanych zjawisk. Odgrywa ono ważną rolę w trakcie nagłych słonecznych rozbłysków, podczas których następuje gwałtowny wyrzut materii oraz dynamice struktur magnetycznych, którego przykładem są pętle koronalne. Plazma korony słonecznej wraz z polem magnetycznym jest ośrodkiem, w którym mogą rozchodzić się fale (Nakariakov i inni 1999). Do ich opisu można posłużyć się równaniami magnetohydrodynamicznymi (MHD), które łączą ze sobą dynamikę płynów wraz z elektromagnetyzmem. Linearyzując równania MHD można uzyskać związki dyspersyjne trzech fal: Alfvena, szybkiej i powolnej fali magnetoakustycznej (Priest 1984).

W 1999 roku grupa prof. Aschwandena (Aschwanden i inni 1999) i prof. Nakariakova (Nakariakov i inni 1999) dokonały analizy danych obserwacyjnych pochodzących z sondy TRACE, które ukazywały poprzeczne oscylacje pętli koronalnych wywołane przez rozbłysk. Obecnie dysponujemy wieloma danymi obserwacyjnymi pochodzącymi z różnych misji słonecznych przedstawiających oscylacje struktur magnetycznych.

Propagujące fale niosą informacje o ośrodku, w którym się rozchodzą. Dzięki temu możemy uzyskać informacje o parametrach plazmy znajdującej się w koronie słonecznej (Roberts i inni 2003, Nakariakov i inni 2005). Opisane podejście można porównać do seismologii, w której wykorzystuje się fale do badania wnętrza Ziemi lub helioseismologii, gdzie dzięki falom można poznać wnętrze Słońca. Łącząc fakty obserwacyjne wraz z teorią fal magnetohydrodynamicznych heliofizycy rozwinęli nową gałąź heliofizyki – seismologię koronalną (Uchida 1970, Roberts i inni 1984, Nakariakov i inni 2001). Ponieważ pole magnetyczne wywiera znaczny wpływ na struktury korony słonecznej jest bardzo prawdopodobnym, że powyższa metoda pozwoli na dokładniejszą analizę zjawisk koronalnych. W 1999 roku grupa prof. Nakariakova (Nakariakov i inni 1999) oszacowała wartość indukcji pola magnetycznego wewnątrz pętli koronalnej na 13 Gaussów poprzez porównanie danych obserwacyjnych z teorią MHD. Obecnie jest to jedyna możliwość oszacowania wartości pola magnetycznego w tej części Słońca.

Sejsmologia korony słonecznej wspólnie z teorią fal MHD może być użytecznym narzędziem do poznania atmosfer innych gwiazd.

Równania magneto hydrodynamiczne (MHD)

Równania MHD łączą ze sobą dwie dyscypliny: elektromagnetyzm i dynamikę płynów. Teoria MHD jest dość nową dyscypliną rozwijaną od 1950 roku. Wówczas zauważono, że dość dobrze opisuje zjawiska plazmy słonecznej oraz kosmicznej. Do opisu zjawisk korony słonecznej zostały użyte idealne i ściśle równania MHD:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) &= 0, \\ \rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} &= -\nabla p + \frac{1}{\mu} (\nabla \times \vec{B}) \times \vec{B}, \\ \rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \vec{V} \cdot \nabla \varepsilon &= -p \nabla \cdot \vec{V}, \\ \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= \nabla \times (\vec{V} \times \vec{B}) = 0, \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0, \end{aligned}$$

gdzie ρ oznacza gęstość, p ciśnienie, \vec{B} indukcję pola magnetycznego, \vec{V} prędkość przepływu, μ przenikalność magnetyczną próżni, ε gęstość energii, $p = \rho \varepsilon (\gamma - 1)$ i $\gamma = 5/3$ współczynnik adiabaty. W powyższych równaniach zostały uwzględnione następujące przybliżenia:

- ✓ opisywana plazma jest obojętna elektrycznie,
- ✓ liczba Reynoldsa jest bardzo wysoka,
- ✓ charakterystyczne prędkości plazmy są dużo mniejsze niż prędkość światła.

Symulacje numeryczne zostały przeprowadzone przy użyciu kodu LARE2D, który działa w oparciu o metodę predyktor – korektor. Po każdym kroku czasowym wszystkie zmienne są ponownie rzutowane na siatkę Eulera przy użyciu ograniczników Van Leera. LARE2D został stworzony do symulacji nieliniowych zjawisk w plazmie o niskim współczynniku „ β ”. Wszystkie szczegóły dotyczące kodu można znaleźć w publikacji Arber i inni (2001).

Omówienie wyników

Zjawisko „Vortex Shedding”

Oddziaływanie stacjonarnego przepływu z nieruchomą przeszkodą prowadzi do powstania ścieżki von Karmana, czyli serii wirów o przeciwnym kierunku rotacji, które unoszone są przez przepływ (Tritton 1977, Williamson 1996). Zjawisko „Vortex Shedding” w ośrodku przenikniętym polem magnetycznym było zbadane pobieżnie. Ogólnie wiadomym jest, że odgrywa ono ważną rolę w wielu sytuacjach. W 2009 roku Nakariakov (Nakariakov i inni 2009) zasugerował wykorzystanie zjawiska jako mechanizmu wzbudzenia poprzecznych oscylacji pętli koronalnych.

Bardzo ważnym parametrem, charakteryzującym powyższe zjawisko, jest liczba Strouhla. Parametr ten wiąże ze sobą okres powstawania wirów, wymiar opływanej przeszkody i prędkość niezakłóconego przepływu. W hydrodynamice typowa wartość liczby Strouhla dla stacjonarnego przepływu z przeszkodą w kształcie cylindra mieści się w przedziale od 0.15 do 0.2 (Williamson, 1996). Do tej pory nieprzeprowadzono systematycznych i dokładnych badań wartości tego parametru dla płynów przenikniętych polem magnetycznym. Jego dokładna wartość oraz zależność od współczynnika plazmowego „ β ”, prędkości przepływu czy wielkości przeszkody są ważne w rozwoju diagnostyki i interpretacji obserwowanych zjawisk. Głównym celem moich badań było przeprowadzenie parametrycznych symulacji numerycznych oddziaływania stacjonarnego przepływu z cylindryczną przeszkodą w reżimie MHD oraz określenie zależności liczby Strouhla od własności plazmy.

Wyniki symulacji numerycznych pokazały, że oddziaływanie jednorodnego przepływu ściśliwej, magnetycznej plazmy z cylindryczną przeszkodą prowadzi do generacji wirów, które formują charakterystyczną ścieżkę von Karmana (Gruszecki i inni 2010). Średnia wartość liczby Strouhla została oszacowana na 0.2 dla szerokiego zakresu prędkości przepływu i współczynnika plazmowego „ β ” (Gruszecki i inni 2010). Można zatem wyciągnąć wniosek, że podobnie jak w hydrodynamice liczba Strouhla jest ważnym parametrem opisującym rozrzedzoną plazmę i może być użyta w badaniach diagnostycznych. Ponadto moje badania w pewnym stopniu potwierdzają możliwość wzbudzenia poprzecznych oscylacji pętli koronalnych przez zewnętrzne przepływy (Nakariakov 2009). Stwierdzona niezależność okresu badanego zjawiska od makroskopowych parametrów opisujących plazmę (indukcja pola magnetycznego, gęstość, temperatura, współczynnik plazmowy „ β ”) otwiera możliwość obserwacyjnego oszacowania prędkości przepływu w koronie słonecznej lub w planetarnych magnetosferach (Gruszecki i inni 2010).

Powstałe wiry były ściśliwe, powodując od 50% do 70% zaburzenia gęstości otaczającej je korony (Gruszecki i inni 2010). Zaburzenie wartości pola magnetycznego miało podobną wartość do zaburzenia gęstości (Gruszecki i inni 2010). Ponadto oba przybierają kształt spiralny, co również wykazuje wyindukowana gęstość prądu (Gruszecki i inni 2010). Wysokie gradienty gęstości prądu w wygenerowanych wirach mogą prowadzić do rekoneksji pola magnetycznego lub przyśpieszania cząstek obdarzonych ładunkiem elektrycznym. Procesy te mogą prowadzić do ogrzewania korony słonecznej lub emisji fal elektromagnetycznych. Dokładne badanie tych zjawisk wymaga modyfikacji użytego modelu i może stanowić temat przyszłych badań.

Formowanie magnetoakustycznej fali szokowej w pobliżu punktu o zerowej indukcji pola magnetycznego

Mechanizm odpowiedzialny za generację słonecznego rozbłysku przyciąga uwagę heliofizyków w kontekście ich przewidywania (Schrijver 2009), quasi-periodyczności (Nakariakov & Melnikov 2009) oraz obserwacji zjawiska ‘sympathetic flares’, czyli pojawiania się dwóch rozbłysku, w krótkim odstępie czasu (Moon i inni 2002, Akimov i inni 2008). Liczne obserwacje potwierdzają fakt, że rozbłyskom mogą towarzyszyć fale magnetohydrodynamiczne. Foullon i inni (2005) pokazali, że długookresowe pulsacje obserwowane w emisji fal gamma podczas rozbłysku, mogą być powiązane z oscylacjami długich, równikowych pętli koronalnych. Z kolei Sych i inni (2009) wysunęli hipotezę, że powolne fale magnetoakustyczne mogą prowadzić do wzbudzenia słonecznych rozbłysków.

Mechanizm odpowiedzialny za rozpoczęcie rekoneksji pola magnetycznego wywołany przez fale MHD nie został jeszcze w pełni ustalony. W 2006 roku Chen i Priest zaproponowali ideę, wg. której powolna fala magnetoakustyczna generuje rekoneksje pola magnetycznego poprzez zmianę gęstości

plazmy. W tym samym roku Nakariakov zapostulował, że proces rekoneksji może być wywołany szybką falą magnetoakustyczną, która generując silny przepływ plazmy w pobliżu punktu o zerowej indukcji pola magnetycznego (magnetyczny punkt X), wzbudza mikro-niestabilności, które z kolei są przyczyną pojawienia się anomalnego oporu elektrycznego.

Celem moich badań było rozszerzenie pracy rozpoczętej przez McLaughlina i innych (2009) poprzez przeprowadzenie parametrycznych badań nieliniowego wzrostu amplitudy szybkiej fali magnetoakustycznej w pobliżu punktu o zerowej wartości indukcji magnetycznej. Wykorzystując idealne równania MHD, stworzyliśmy jednowymiarowy model początkowo osiowo-symetrycznego zaburzenia fali szybkiej o azymutalnej liczbie falowej „ $m=0$ ” (Gruszecki i inni 2011a). Na początku zostało wyprowadzone równanie opisujące ewolucję czasową prędkości radialnej (Gruszecki i inni 2011a). Z otrzymanej zależności wynika, że początkowo osiowo-symetryczne zaburzenie zachowuje symetrie modu $m=2$ lub wyższego (Gruszecki i inni 2011a). Wynik ten potwierdza rezultat eksperymentu numerycznego przeprowadzonego przez McLaughlina i innych (2009). Ponadto analityczne rozwiązanie zostało potwierdzone podczas przeprowadzonych symulacji numerycznych (Gruszecki i inni 2011a). Azymutalna zależność prędkości radialnej jest widoczna podczas ewolucji gaussowskiego impulsu (Gruszecki i inni 2011a). Dodatkowo zostało pokazane, że wyniki numeryczne dla zaburzenia o małej amplitudzie są bliskie rozwiązaniu analitycznemu (Craig & McClymont, 1991).

Analiza wyników numerycznych wykazała, że impulsy o większej amplitudzie powodujące kompresję plazmy rozchodzą się szybciej (Gruszecki i inni 2011a). W przypadku zaburzeń powodujących rozrzedzenie plazmy wraz ze wzrostem amplitudy obserwowałem zmniejszanie ich prędkości (Gruszecki i inni 2011a). Poza tym, podobnie jak w przypadku jednorodnego ośrodka, położenie i czas formowania fali szokowej jest określony przez początkowy gradient (kształt profilu) impulsu (Gruszecki i inni 2011a). Jeżeli profil początkowego zaburzenia jest szeroki i ma małą amplitudę, to fala szokowa formuje się bliżej magnetycznego punktu X (Gruszecki i inni 2011a). Ponieważ proces formowania fali szokowej jest związany ze wzbudzeniem silnego przepływu prądu powoduje to generację mikro-niestabilności, które odpowiadają za pojawienie się anomalnego oporu elektrycznego. W konsekwencji może to wywołać rekoneksje pola magnetycznego.

Moje badania mają związek ze zjawiskiem „sympathetic flares”. Mechanizm stojący za wzbudzeniem rozbłysku słonecznego przez inny rozbłysk, jest nadal nie w pełni poznany. Jednak można wyobrazić sobie sytuację, w której szybka fala magnetoakustyczna wygenerowana podczas rozbłysku, może wzbudzić kolejny rozbłysk, poprzez mechanizm opisany powyżej. Wyniki moich badań numerycznych pokazały, że jeśli amplituda zaburzenia wzrasta, proces formowania fali szokowej zachodzi z dala od magnetycznego punktu X, zaś dla szerokiego impulsu fala szokowa tworzy się w pobliżu punktu o zerowej indukcji pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2011a). Innymi słowy można stwierdzić, że tylko impulsy szerokie i o małej amplitudzie mogą dotrzeć wystarczająco blisko magnetycznego punktu X (przed przekształceniem w falę szokową) i wywołać rekoneksje pola magnetycznego. Zaburzenia węższe i o wysokiej amplitudzie nie są w stanie dotrzeć do punktu o zerowej indukcji pola magnetycznego przed przekształceniem się w falę szokową (Gruszecki i inni 2011a).

Powolne fale magnetoakustyczne rozchodzące się w magnetycznej arkadzie

Powolne fale magnetoakustyczne są jednymi z najczęściej badanych zaburzeń rozchodzących się w koronie słonecznej (De Moortel 2006, Roberts 2006, De Moortel 2009). Zostały wykryte w postaci fal biegnących (Verwichte i inni 2010) jak i stojących (Wang 2011), zarówno w strukturach z zamkniętymi i

otwartymi liniami pola magnetycznego. Ponieważ fale powolne są ściśliwe, wykrywane są przez instrumenty mierzące zmianę intensywności emisji podczas rozchodzenia się wzdłuż linii pola magnetycznego (De Moortel i inni 2002). W niektórych przypadkach fale powolne są obserwowane przy pomocy przyrządów widmowych, które badają przesunięcie dopplerowskie koronalnych linii emisyjnych (Wang i inni 2003, Erdélyi i Taroyan 2008, Wang i inni 2009, Mariska i Muglach 2010, Van Doorselaere i inni 2011). Ich okres równy jest kilka minut, natomiast ich prędkość fazowa jest niższa od prędkości dźwięku w koronie co pozostaje w zgodzie z teorią opisującą fale MHD.

Zainteresowanie falami powolnymi jest ściśle związane z sejsmologią koronalną. Biegące fale powolne były wykorzystywane do badania subtelných struktur rejonów aktywnych (King i inni 2003). Obserwacja widm stojących fal powolnych w pętłach koronalnych, pozwoliła na ponowne oszacowanie wartości indukcji pola magnetycznego (Wang i inni 2009). Spektroskopowe pomiary przesunięcia fazowego pomiędzy zaburzeniami w temperaturze i gęstości biegnących fal powolnych zostały wykorzystane do określenia wartości wykładnika adiabaty „ γ ” w koronie słonecznej (Van Doorselaere i inni 2011). Ponadto, fenomenologiczne oszacowanie relacji pomiędzy oscylacjami plam słonecznych a quasi-periodycznym uwalnianiem energii unoszonej przez fale powolne podczas rozbłysków słonecznych (Sych i inni 2009), otwiera nowe perspektywy w kwestii mechanizmu wzbudzania rozbłysków. W 2011 roku Nakariakov i Zimovets (Nakariakov i inni 2011) pokazali, że fale powolne mogą być odpowiedzialne, za unoszenie energii uwolnionej podczas rozbłysku o kształcie dwóch wstęg (ang. two-ribbon flares) w poprzek linii pola magnetycznego. Prędkość grupowa fali powolnej w poprzek pola magnetycznego w koronalnej arkadzie została oszacowana na znacznie niższą od prędkości dźwięku i Alfvena. Celem moich badań było dokładne zrozumienie tego efektu. Podczas przeprowadzonych symulacji numerycznych nie rozważałem całego łańcucha procesów fizycznych prowadzących do unoszenia energii uwolnionej podczas rozbłysku wywołanego przez falę powolną (Gruszecki i inni 2011c). Zamiast tego, został przeanalizowany pierwszy etap powyższego procesu polegający na dostarczeniu energii przez falę powolną wzdłuż osi magnetycznej arkady (w kierunku prostopadłym do linii pola magnetycznego).

W przeprowadzonych badaniach parametrycznych rozważałem biegnące i stojące fale magnetoakustyczne, wykorzystując idealne równania MHD (Gruszecki i inni 2011c). Dwuwymiarowa magnetyczna arkada była wypełniona jednorodną plazmą o niskim współczynniku „ β ” (Gruszecki i inni 2011c). Plazma była przeniknięta jednorodnym polem magnetycznym. Powolna fala magnetoakustyczna została wzbudzona przez miejscowy wzrost temperatury, po czym rozchodziła się symetrycznie wzdłuż linii pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2011c). Po pewnym czasie zauważyłem jej powolny ruch w poprzek linii pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2011c). Kształt impulsu przypominał „widelec” z ukośnie rozszerzającymi się zębami (Gruszecki i inni 2011c). Jego charakterystyczny profil został zachowany po odbiciu od stóp magnetycznej arkady (Gruszecki i inni 2011c). Szybkość propagacji zaburzenia w poprzek linii pola magnetycznego była znacznie niższa od prędkości dźwięku i Alfvena (Gruszecki i inni 2011c). Wartość prędkości fali rosła wraz ze wzrostem współczynnika „ β ” i była w przybliżeniu zgodna z wartością oszacowaną ze związku dyspersyjnego (Gruszecki i inni 2011c). Porównanie tych dwóch wielkości było utrudnione z powodu dokładnego oszacowania dystansu jaki przebyła fala w eksperymencie numerycznym.

Powolna fala magnetoakustyczna powoduje zaburzenie pola magnetycznego, co w konsekwencji prowadzi do generacji przepływu prądu. Wraz ze wzrostem współczynnika plazmowego „ β ” wzrasta wielkość zaburzenia pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2011c). Dotychczas fakt ten był pomijany w teoretycznych rozważaniach dotyczących dynamiki fal powolnych, gdyż traktowano je jako zaburzenia akustyczne (Nakariakov i inni 2000, 2004, Ofman i Wang 2002, De Moortel i Hood 2004, De Moortel i Bradshaw 2008, Tsiklauri i inni 2004, Taroyan i inni 2005, Taroyan i Bradshaw 2008). Moje badania

pokazują, że pole magnetyczne pełni istotną rolę w dynamice fali powolnej i powinno być brane pod uwagę przy planowaniu przyszłych badań (Gruszecki i inni 2011c).

Z wyników badań numerycznych wynika również, że fale o wyższej amplitudzie rozchodzą się szybciej, zarówno wzdłuż jak i w poprzek pola magnetycznego, powodując wzrost przepływu prądu (Gruszecki i inni 2011c). Początkowe zaburzenie w temperaturze wzbudza również szybką falę magnetoakustyczną. Jej amplituda i energia jest kilka razy niższa niż dla fal powolnych (Gruszecki i inni 2011c).

Dla większych wartości parametru „ β ” fala powolna, rozchodząc się w poprzek pola magnetycznego, powoduje większe zaburzenie indukcji pola magnetycznego a przez to generację silniejszego przepływu prądu (Gruszecki i inni 2011c). Ponadto, ruch fali w poprzek pola magnetycznego może wzbudzić mechanizm „mieszania faz” (ang. phase-mixing). Zjawisko to skutkuje dyssypacją energii fali powolnej (De Moortel i inni 2004, Voitenko i inni 2005). W przypadku moich badań powyższy mechanizm pojawia się w jednorodnym ośrodku w kierunku prostopadłym do linii pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2011c).

Opisana dynamika powolnej fali magnetoakustycznej była spójna z modelem dwu-wstążkowego rozbłysku (ang. two-ribbon flares) zaproponowanego przez Nakariakova i Zimovetsa (2011). Co więcej, wyniki moich badań pokazują, że zaburzenie może wzbudzić kolejny proces rekoneksji pola magnetycznego (Chen & Priest, 2006). Dokładne badanie powyższego problem nie było celem moich badań. W symulacjach pokazałem, że fala powolna może przenosić energię potrzebną do wzbudzenia kolejnego procesu uwolnienia energii (w wyniku zjawiska rekoneksji) w poprzek linii pola magnetycznego z prędkością grupową zgodną z danymi obserwacyjnymi (Gruszecki i inni 2011c).

Zmiany intensywności związane z szybkim modem kielbaski

Właściwości modów MHD są określone przez azymutalną liczbę falową „ m ”. Osiowo-symetryczny mod fali szybkiej, dla którego $m = 0$ nazywany jest modem kielbaski (ang. the sausage mode). Zaburzenie to było intensywnie badane przez wiele lat (Rosenberg 1970, Zaitsev i Stepanov 1975, Roberts i inni 1984, Cally 1986). Mod kielbaski jest symetrycznym zaburzeniem przekroju poprzecznego pętli koronalnej, który nie powoduje zmian jej osi. Poza tym jest modem ściśliwy, w którym zaburzenie gęstości jest w zgodnej fazie z zaburzeniem pola magnetycznego, zaś w fazie przeciwnej ze zmianą promienia pętli. Dla plazmy koronalnej o niskim współczynniku „ β ” ruch plazmy wzbudzony przez mod kielbaski jest prostopadły do głównej osi pętli. Istnieje również powolny mod kielbaski, dla którego azymutalna liczba falowa „ m ” również równa jest zero.

Mod kielbaski został wykryty podczas obserwacji porozbłyskowych pętli koronalnych (ang. flaring loop) w zakresie mikrofal i twardym promieniowaniu rentgenowskim (Nakariakov i inni 2003, Melnikov i inni 2005, Inglis i inni 2008) oraz w linii H_{α} (Srivastava i inni 2008). Ponieważ okresy oscylacji są bardzo krótkie (1–10 s) do obserwacji, należy użyć instrumentów o wysokiej rozdzielczości czasowej. W 2003 roku przy pomocy radioteleskopu Nobeyama grupa prof. Nakariakova wykryła po raz pierwszy przypadek modu typu kielbaski, którego charakteryzowała dobra rozdzielczość przestrzenna (Nakariakov i inni 2003). Zebrany sygnał posiadał maksimum w okolicy szczytu pętli, natomiast minimum w pobliżu jej stóp. W 2005 roku Melnikov i inni w bardziej szczegółowych badaniach potwierdzili wyniki Nakariakova (Melnikov i inni 2005). Zainteresowanie modem kielbaski jest spowodowane możliwością oszacowania wartości indukcji pola magnetycznego korony słonecznej oraz badaniami przyśpieszania i dynamiki nietermicznych cząstek (Brown i Hoyng 1975, Zaitsev i Stepanov 1982). W 2011 roku Van

Doorselaere i inni użyli szybkiego i powolnego modu kielbaski do oszacowania współczynnika plazmowego „ β ” (Van Doorselaere i inni 2011).

Badania teoretyczne modu kielbaski w geometrii cylindrycznej polegały na uzyskaniu związków dyspersyjnych (Zaitsev i Stepanov 1975, Edwin i Roberts 1982, Roberts i inni 1984, Cally 1986, Kopylova i inni 2007). Zauważono, że ze względu na iloraz długości fali do promienia cylindra można wyróżnić dwa mody: uwięziony i wyciekający. Energia modu uwięzionego nie wyciekała na zewnątrz cylindra, w przeciwieństwie do modu wyciekającego. Dla typowych warunków koronalnych ($\beta \ll 1$) mod wyciekający istnieje, gdy zewnętrzna prędkość Alfvena C_{Ae} (poza cylindrem) jest większa od wewnętrznej prędkości Alfvena C_{Ai} (wewnątrz cylindra). W przyjętej terminologii mod kielbaski przypisany jest modowi fali szybkiej. Mod kielbaski fali powolnej odnosi się do fali podłużnej, gdyż w warunkach koronalnych nie powoduje on zaburzenia promienia cylindra.

Celem mojej pracy było potwierdzenie danych obserwacyjnych dotyczących uwięzionych i wyciekających modów kielbaski w szerokiej i gęstej pętli koronalnej. W badaniach numerycznych pętla koronalna miała kształt prostego cylindra przenikniętego polem magnetycznym. Analizowałem mod kielbaski, dla którego azymutalna liczba falowa „ m ” była równa zero (Gruszecki i inni 2012). Wartość współczynnika plazmowego „ β ” była niska, co jest zgodne z warunkami koronalnymi. Poprzeczne profile gęstości plazmy były gładkie i nie zawierały silnych gradientów ani nieciągłości. W celu uniknięcia nieliniowości badania dotyczyły tylko oscylacji o małej amplitudzie.

Wyniki numeryczne dla modu kielbaski, o krótkiej długości fali były bliskie analitycznemu rozwiązaniu otrzymanemu dla cylindra o stromym poprzecznym profilu gęstości (Zaitsev i Stepanov 1975, Edwin i Roberts 1983, Roberts i inni 1984, Cooper i inni 2003b). Energia oscylacji była uwięziona w cylindrze zaś prędkość fazowa modu zawierała się w przedziale ograniczonym przez wewnętrzną i zewnętrzną prędkość Alfvena (Gruszecki i inni 2012). Okres był określony przez stosunek długości fali do prędkości fazowej. Wzbudzony mod kielbaski był ściśliwy (Gruszecki i inni 2012). Plazma przemieszczała się w poprzek pola magnetycznego powodując zaburzenie gęstości oraz indukcji pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2012).

Energia modów kielbaski o długości fali dłuższej niż wartość ucięcia (ang. cut-off value) wyciekała z cylindra (Gruszecki i inni 2012). Zgodnie z przewidywaniami Paula Cally (1986, 2003) tłumienie oscylacji zależy od wartości stosunku gęstości pomiędzy cylindrem a otaczającą go atmosferą. Dla gęstych pętli czas tłumienia był równy kilku okresom (Gruszecki i inni 2012). Stąd można wywnioskować, że długofalowe mody kielbaski mogą być łatwo wykryte podczas obserwacji. W warstwie przejściowej pomiędzy cylindrem a koroną powinniśmy obserwować zjawisko absorpcji rezonansowej (ang. resonant absorption) polegające na przepływie energii pomiędzy modem globalnym a modem Alfvena. Wyniki badań numerycznych pokazały, że powyższy mechanizm nie występuje dla osiowo-symetrycznego modu kielbaski (Goossens i inni 1992). Tłumienie modu kielbaski jest spowodowane tylko wyciekaniem energii (Gruszecki i inni 2012).

Z uzyskanych wyników można wywnioskować, że zaburzenie kielbaski jest bardzo dobrym narzędziem sejsmologii koronalnej (Gruszecki i inni 2012). Przy jego zastosowaniu jesteśmy w stanie oszacować prędkość Alfvena wewnątrz i na zewnątrz pętli a tym samym wartość indukcji pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2012).

Podsumowanie

Celem badawczym moich publikacji było rozwinięcie nowych technik diagnostycznych służących badaniu fundamentalnych zjawisk zachodzących w plazmie słonecznej przy wykorzystaniu fal

magnetohydrodynamicznych. Zrealizowane projekty przyczyniły się do głębszego zrozumienia procesów związanych z dynamiką plazmy w atmosferze Słońca. W badaniach zastosowałem metody analityczne i numeryczne. Wszędzie, gdzie było to możliwe, wyniki analiz skonfrontowałem z danymi obserwacyjnymi pochodzącymi z misji badawczych.

Uzyskane wyniki stanowią podstawę do podjęcia dalszych działań badawczych. W przeprowadzonych badaniach po raz pierwszy oszacowałem liczbę Strouhla dla szerokiego zakresu prędkości przepływu i współczynnika plazmowego „ β ” w rozrzedzonej plazmie korony słonecznej (Gruszecki i inni 2010). Wzbogaciłem nowy mechanizm generacji poprzecznych oscylacji pętli koronalnych (Nakariakov i inni 2009) badaniami numerycznymi. Doszedłem do wniosku, że przy planowaniu przyszłych badań należy brać pod uwagę wpływ ściśliwych wirów na kinematykę koronalnych wyrzutów masy, co w konsekwencji wpływa na prognozowanie pogody kosmicznej. Rezultatem moich badań dotyczących formowania fali szokowej w pobliżu magnetycznego punktu X było pokazanie, jakie fale szybkie (ze względu na szerokość i amplitudę) są w stanie wygenerować rekoneksję pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2011a). Wniosek ten ma duży wpływ na badania dotyczące wzbudzenia słonecznych rozbłysków i próby wyjaśnienia zjawiska dwóch rozbłysków następujących jeden po drugim (ang. sympathetic flares). W badaniach dotyczących propagacji fal powolnych w magnetycznej arkadzie po raz pierwszy pokazałem numerycznie, że istnieje możliwość ich rozchodzenia się w poprzek pola magnetycznego (Gruszecki i inni 2011c). Proces ten dokładnie przeanalizowałem w zależności od wartości współczynnika plazmowego „ β ” (Gruszecki i inni 2011c). Do tej pory fale powolną traktowano jako zaburzenie akustyczne i pomijano wpływ pola magnetycznego na jej dynamikę. Dodatkowo potwierdziłem fakt unoszenia energii przez falę powolną w poprzek pola magnetycznego podczas rozbłysku o kształcie dwóch wstęg (ang. two-ribbon flares). Ponieważ analizie został poddany tylko pierwszy etap powyższego procesu, otwiera to możliwość zgłębienia zagadnienia w przyszłych badaniach numerycznych i teoretycznych. W badaniach dotyczących modu kielbaski rozważałem dynamikę zaburzenia dla przypadku, gdy energia była uwięziona i wyciekała na zewnątrz pętli koronalnej (Gruszecki i inni 2012). Otrzymane wyniki w pełni potwierdziły wcześniejsze oszacowania teoretyczne. Dodatkowo pokazałem, że porównanie danych numerycznych z danymi obserwacyjnymi może być utrudnione z powodu słabej rozdzielczości przestrzennej obecnych narzędzi pomiarowych. Stąd istnieje konieczność ponownej analizy modu kielbaski w zakresie długości odpowiadającym mikrofalom i ultrafiolecie.

W podsumowaniu mogę stwierdzić, że w moim przekonaniu przeprowadzone badania są wartościowym i pożytecznym opracowaniem autorskim. Zawarte w nich elementy poznawcze, oryginalne rozważania oraz rezultaty wskazują na to, że główny cel badawczy został osiągnięty. O wysokiej wartości badań może świadczyć fakt, że wyniki zostały opublikowane w czasopiśmie o wysokim współczynniku wpływu (ang. impact factor) przy wiodącym moim udziale, co zostało udokumentowane przez oświadczenia wszystkich współautorów. Ponadto wyniki były wielokrotnie prezentowane podczas odczytów wygłoszonych na wielu uniwersytetach oraz międzynarodowych konferencjach naukowych.

3. Inne osiągnięcia naukowe

3.1 Aktualne badania naukowe

Badania dotyczące poznania mechanizmu toksyczności przeciwgrzybiczego antybiotyku amfoterycyny B (AmB)

Grzybice układowe są poważną kwestią w medycynie, szczególnie wśród pacjentów o obniżonej odporności. Jednym z powodów tych problemów jest brak skutecznych leków. Amfoterycyna B (AmB), antybiotyk z klasy makrolidów polienowych stosowany już od ponad 50 lat, spełnia wiele wymogów stawianych dobremu leкови przeciwgrzybiczemu. Niestety, charakteryzuje się wysoką toksycznością. Aby w sposób racjonalny zaprojektować i otrzymać mniej toksyczną pochodną AmB trzeba znać mechanizm działania tego antybiotyku na poziomie molekularnym. Pomimo licznych badań prowadzonych w tym celu, molekularne podstawy aktywności AmB są wciąż niejasne. Zastosowanie podejścia numerycznego pozwoli na precyzyjny wgląd w molekularną naturę wielu zjawisk mogących leżeć u podstaw aktywności błonowej AmB oraz jej pochodnych. Przez wgląd na przybliżony charakter metod obliczeniowych poczynione ustalenia należy traktować przede wszystkim jako uzupełnienie informacji oferowanych przez tradycyjne podejście eksperymentalne. Dlatego też, wszędzie, gdzie będzie to możliwe, wyniki numeryczne zostaną skonfrontowane z danymi zamieszczonymi w naukowej literaturze oraz danymi doświadczalnymi przygotowanymi przez grupę eksperymentatorów z Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej. Uzyskane rezultaty wespół z danymi doświadczalnymi posłużą do sformułowania szeregu spójnych hipotez dotyczących aktywności biologicznej badanego związku.

Badania regulacji przepływu mózgowego w trakcie bezdechu

Prowadzone badania mają na celu ocenę nowych aspektów dotyczących hemodynamiki mózgu. W tym celu używamy metody transluminacji w bliskiej podczerwieni z rozpraszaniem zwrotnym (NIR-T/BSS), która pozwala na nieinwazyjny pomiar zmian tętnienia drobnych naczyń podpajęczynówkowych (cc-TQ) i szerokości przestrzeni podpajęczynówkowej (sas-TQ) u człowieka. Obecnie prowadzone badania (przy moim udziale) dotyczą wpływu długich bezdechów i mimowolnych ruchów mięśni oddechowych na związek między ciśnieniem krwi oraz tętnieniem drobnych naczyń podpajęczynówkowych dla częstotliwości sercowej. Przeprowadzamy analizy w dziedzinie czasu i częstotliwości. Podczas wyczynowych nurkowań bez sprzętu, nurkowie (ang. free divers) zmagają się z dwoma wyzwaniem fizjologicznymi: ciśnieniem kompresyjnym i wydłużonym czasem bezdechu, co naraża ich na skrajne niedotlenienie (hipoksje). Odruch na nurkowanie występujący podczas bardzo długiego bezdechu charakteryzuje obkurczenie naczyń obwodowych, zwolnienie akcji serca, zmniejszenie objętości minutowej serca, zwiększenie przepływu krwi przez naczynia mózgowe i wieńcowe, zwiększenie ciśnienia krwi, obkurczenie śledziony oraz zachowanie dopływu tlenu do mózgu i serca. Pod koniec bezdechu następuje znaczny wzrost aktywności układu współczulnego. Niektórzy autorzy postulują, że adaptacja organizmu do długiego bezdechu może stanowić model do oceny zdolności mózgu do przeżycia w warunkach skrajnej hipoksji i w niektórych przypadkach zmniejszonej perfuzji. Badania prowadzone są wspólnie z profesorem Dujicem z Zakładu Fizjologii, Uniwersytetu Medycznego w Splicie, w Chorwacji.

3.2 Realizowane projekty badawcze

- ✓ Wykonawca grantu ufundowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego - „Fale i oscylacje w pętłach magnetycznych korony słonecznej” (2007 - 2010).
- ✓ Stypendysta (ang. Grant Holder) międzynarodowego grantu Newtona ufundowanego przez Królewskie Towarzystwo Naukowe w Londynie – „Magnetohydrodynamic Wave Diagnostics of Space Plasmas” (2009 - 2011)

Obecnie wspólnie z grupą prof. Gruszeckiego ubiegam się o grant „OPUS” Narodowego Centrum Nauki – „Mechanizm molekularny toksyczności antybiotyku przeciwgrzybiczego Amfoterycyny B”.

3.3 Lista wizyt badawczych

05/2008	Miesięczny staż na Uniwersytecie Stanford, Palo Alto , USA
04/2008	Dwutygodniowy staż, CEA Saclay, Paryż , Francja
03/2007	Dwutygodniowy staż na Uniwersytecie Warwick, Coventry , Wielka Brytania
03/2007	Dwutygodniowy staż na Uniwersytecie St. Andrews , Wielka Brytania
11/2006	Dwutygodniowy staż w Instytucie Maxa-Plancka, Katlenburg-Lindau , Niemcy

3.4 Wystąpienie konferencyjne i seminaryjne

11/2014	Seminarium w Centrum Badań Kosmicznych w Warszawie , Polska
01/2014	Seminarium na Politechnice Gdańskiej, Gdańsk , Polska
11/2013	Seminarium na Uniwersytecie Gdańskim, Gdańsk , Polska
04/2012	Seminarium na Uniwersytecie Marii Curie Skłodowskiej, Lublin , Polska
09/2011	Wygłoszenie referatu na międzynarodowej konferencji poświęconej falom MHD, Rhodos , Grecja
05/2011	Seminarium na Uniwersytecie Warwick, Coventry , Wielka Brytania
04/2011	Wygłoszenie referatu na międzynarodowej konferencji poświęconej falom MHD, Llandudno , Wielka Brytania
11/2010	Seminarium na Uniwersytecie Marii Curie Skłodowskiej, Lublin , Polska
11/2010	Wygłoszenie referatu na warsztatach związanych z rekoneksją pola magnetycznego oraz falami MHD na Uniwersytecie Warwick, Coventry , Wielka Brytania
07/2010	Wygłoszenie referatu na międzynarodowym spotkaniu związanym z falami MHD, St. Andrews , Wielka Brytania
04/2010	Seminarium na Uniwersytecie Warwick, Coventry , Wielka Brytania
02/2010	Plakat na warsztatach związanych z falami oraz niestabilnościami w plazmie, Londyn , Wielka Brytania
02/2010	Plakat na warsztatach zorganizowanym przez Royal Society, Londyn , Wielka Brytania

- 07/2010 Wygłoszenie referatu na międzynarodowym spotkaniu związanym z falami MHD w **Leuven**, Belgia
- 05/2008 Seminarium na Uniwersytecie Stanford, **Palo Alto**, USA
- 12/2007 Seminarium w Centrum Badań Kosmicznych, **Warszawa**, Polska
- 06/2007 Wygłoszenie referatu na międzynarodowych warsztatach poświęconych astrofizyce i badaniom przestrzeni kosmicznej, **Serock**, Polska
- 03/2007 Seminarium na Uniwersytecie Warwick, **Coventry**, Wielka Brytania
- 03/2007 Seminarium na Uniwersytecie **St. Andrews**, Wielka Brytania
- 11/2006 Seminarium w Instytucie Maxa-Plancka, **Katlenburg-Lindau**, Niemcy

3.5 Organizacja konferencji

- 11/2010 Współorganizacja warsztatów związanych z rekoneksją pola magnetycznego oraz falami MHD na Uniwersytecie Warwick, **Coventry**, Wielka Brytania

3.6 Działalność dydaktyczna

Aktualnie jestem promotorem pomocniczym pracy doktorskiej mgr Joanny Zielińskiej zatytułowanej: „Mechanizm aktywności przeciwgrzybiczej Amfoterycyny B oraz jej pochodnych – badania z zastosowaniem metod chemii obliczeniowej” realizowanym na Wydziale Farmaceutycznym Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Promotorem pracy jest prof. dr hab. Tomasz Bączek.

- 09/2014 – 01/2015 Technologie informatyczne, Konwersatorium dla studentów ratownictwa medycznego, GUMed, Gdańsk
- 09/2014 – 01/2015 Technologie informatyczne, Konwersatorium dla studentów fizjoterapii, GUMed, Gdańsk
- 09/2014 – 01/2015 Biostatystyka, Wykład i Konwersatorium dla studentów zdrowia środowiskowego, GUMed, Gdańsk
- 02/2014 – 06/2014 Modelowanie rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń, Konwersatorium dla studentów zdrowia środowiskowego, GUMed, Gdańsk
- 02/2014 – 06/2014 Technologie informatyczne, Konwersatorium dla studentów zdrowia publicznego, GUMed, Gdańsk
- 02/2014 – 06/2014 Technologie informatyczne, Wykład dla studentów pielęgniarstwa, GUMed, Gdańsk
- 02/2014 – 06/2014 Technologie informatyczne, Konwersatorium dla studentów pielęgniarstwa, GUMed, Gdańsk

09/2013 – 01/2014	Technologie informatyczne, Konwersatorium dla studentów ratownictwa medycznego, GUMed, Gdańsk
10/2008 – 01/2009	Wstęp do fizyki, Konwersatorium dla studentów chemii, UMCS, Lublin
02/2008 – 06/2008	Konwersatorium do wykładu prof. Murawskiego “Numerical methods for hyperbolic equation”, UMCS, Lublin
02/2007 – 06/2007	Wstęp do programowania, Konwersatorium dla studentów fizyki, UMCS, Lublin
10/2005 – 01/2006	Wstęp do fizyki, Konwersatorium dla studentów chemii, UMCS, Lublin

3.7 Popularyzacja nauki

Wygłosiłem pięć wykładów dla uczniów szkół średnich mających na celu popularyzację astrofizyki.

05/2009	Wykład dla uczniów Zespołu Szkół nr 1 w Lublinie
04/2008	Wykład dla uczniów LO im. A. Mickiewicza w Białej Podlaskiej
04/2008	Wykład dla uczniów LO im. J.I. Kraszewskiego w Białej Podlaskiej
04/2008	Wykład dla uczniów LO im. E. Plater w Białej Podlaskiej
05/2007	Wykład dla uczniów LO im. Unii Lubelskiej w Lublinie

Podczas wykładów uczniom zostały rozdane plakaty, pocztówki, długopisy i inne materiały pochodzące z agencji kosmicznej NASA.

3.8 Współpraca naukowa

Podczas badań naukowych współpracowałem z wieloma naukowcami. W przypadku badań fal magnetohydrodynamicznych byli to:

- ✓ prof. K. Murawski – Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej
- ✓ prof. V. Nakariakov – University of Warwick
- ✓ prof. L. Ofman – Catholic University of America
- ✓ prof. Tony Arber - University of Warwick
- ✓ prof. Sami Solanki – Max Plank Institute
- ✓ prof. A. Kosovichev – Stanford University
- ✓ dr M. Selwa – Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej
- ✓ dr T. Van Doorselaere – Catholic University w Leuven
- ✓ dr J. McLaughlin – University of St. Andrews
- ✓ dr K. Parchevsky – Stanford University

Obecnie ściśle współpracuje z:

- ✓ grupą prof. W. Gruszeckiego z Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej
- ✓ grupą prof. A. Frydrychowskiego z Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego
- ✓ dr J. Czubem z Politechniki Gdańskiej
- ✓ prof. T. Bączkiem z Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego
- ✓ prof. T. Liberek i dr hab. A. Liberek z Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego
- ✓ dr R. Korzon z Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego

3.9 **Podsumowanie dorobku publikacyjnego**

Całkowity sumaryczny **impact factor** opublikowanych prac wyliczony na podstawie współczynników czasopism na rok publikacji wyniósł: **54.15**. Całkowity **impact factor** 4 prac składający się na habilitację: **21.88**.

Całkowita liczba cytowań – 88

Całkowita liczba cytowań bez autocytowań – 84

Index Hirscha – 6

Wszystkie dane pochodzą z Web of Science.

3.10 **Nagrody i wyróżnienia**

- 2007 Stypendium naukowe przyznane przez rektora UMCS za bardzo dobre wyniki naukowe.
- 2009-2011 Grant ufundowany przez Królewskie Towarzystwo Naukowe w Londynie.

Literatura

- Akimov, L.A., Belkina, I.L., Kuzin, S.V., Pertsov, A.A., Zhitnik, I.A., 2008, Astron. Lett., 34, 851
Andreev, A.S., Kosovichev, A.G., 1994, Proc. SOHO Workshop, 373, 179
Andreev, A.S., Kosovichev, A.G., 1994, Space Sci. Rev., 70, 53
Aschwanden, M., Fletcher, L., Schrijver, C.J., Alexander, D., 1999, ApJ, 520, 880
Arber, T.D., Longbottom, A.W., Gerrard, C.L., Milne, A.M., 2001, J. Comp. Phys., 171, 151
Brown, J.C., Hoyng, P., 1975, ApJ, 200, 734
Bryson, S., Kosovichev, A.G., Levy, D., 2005, Physica D, 201, 1
Cally, P.S., 1986, Sol. Phys., 103, 277
Cally, P.S., 2003, Sol. Phys., 217, 95
Chen, P.F., Priest, E.R., 2006, Sol. Phys., 238, 313
Cooper, F.C., Nakariakov, V.M., Williams, D.R., 2003b, A&A, 409, 325
Craig, I.J.D., McClymont, A.N., 1991, ApJ, 371, L41
De Moortel, I., Hood, A.W., Ireland, J., Walsh, R.W., 2002, Sol. Phys., 209, 89
De Moortel, I., Hood, A.W., 2004, A&A, 415, 705

De Moortel, I., Hood, A.W., Gerrard, C.L., Brooks, S.J., 2004, *A&A*, 425, 741
De Moortel, I., 2006, *Roy. Soc. London Philos. Trans. Ser. A*, 364, 461
De Moortel, I., Bradshaw, S.J., 2008, *Sol. Phys.*, 252, 101
De Moortel, I., 2009, *Space Sci. Rev.*, 149, 65
Edwin, P.M., Roberts, B., 1982, *Sol. Phys.*, 76, 239
Edwin, P.M., Roberts, B., 1983, *Sol. Phys.*, 88, 179
Erdélyi, R., Taroyan, Y., 2008, *A&A*, 489, L49
Foullon, C., Verwichte, E., Nakariakov, V.M., Fletcher, L., 2005, *A&A*, 440, L59
Fujimura, D., Tsuneta, S., 2009, *ApJ*, 702, 1443
Goode, P.R., Gough, D., Kosovichev, A.G., 1992, *ApJ*, 387, 707
Goossens, M., Hollweg, J.V., Sakurai, T., 1992, *Sol. Phys.*, 138, 233
Gruszecki, M., Nakariakov, V.M., Van Doorselaere, T., Arber, T.D., 2010, *Physic. Rev. Lett.*, 105, 055004
Gruszecki, M., Vasheghani Farahani, S., Nakariakov, V.M., Arber, T.D., 2011a, *A&A*, 531, A63
Gruszecki, M., Murawski, K., Kosovichev, A.G., Parchevsky, K.V., Zaqarashvili, T., 2011b, *Acta Phys. Polon. B*, 42, 1333
Gruszecki, M., Nakariakov, V.M., 2011c, *A&A*, 536, A68
Gruszecki, M., Nakariakov, V.M., Van Doorselaere, T., 2012, *A&A*, 543, A12
Hollweg, J.V., 1982, *ApJ*, 257, 345
Inglis, A.R., Nakariakov, V.M., Melnikov, V.F., 2008, *A&A*, 487, 1147
King, D.B., Nakariakov, V.M., Deluca, E.E., Golub, L., McClements, K.G., 2003, *A&A*, 404, L1
Kneer, F., Nakagawa, Y., 1976, *A&A*, 47, 65
Kopylova, Y.G., Melnikov, A.V., Stepanov, A.V., Tsap, Y.T., Goldvarg, T.B., 2007, *Astron. Lett.*, 33, 706
Kosovichev, A.G., Popov, I.P., 1979, *Zhurnal Vychislitelnoi Matematiki i Matematicheskoi Fiziki*, 19, 1253
Kosovichev, A.G., Popov, I.P., 1981, *Bull. Crimean Astrophys. Obs.*, 63, 15
Lamb, H., 1909, *Proc. Lond. Hath. Soc.*, 7, 122
Leer, E., Holzer, T.E., 1980, *Journal of Geophysical Research*, 85, 4681
Mariska, J.T., Muglach, K., 2010, *ApJ*, 713, 573
McLaughlin, J.A., De Moortel, I., Hood, A.W., Brady, C.S., 2009, *A&A*, 493, 227
Melnikov, V.F., Reznikova, V.E., Shibasaki, K., Nakariakov, V.M., 2005, *A&A*, 439, 727
Moon, Y., Choe, G.S., Park, Y.D., i inni 2002, *ApJ*, 574, 434
Murawski, K., Zaqarashvili, T., 2010, *A&A*, 519, A8
Nakariakov, V.M., Ofman, L., Deluca, E.E., Roberts, B., Davila, J.M., 1999, *Science*, 285, 862
Nakariakov, V.M., Verwichte, E., Berghmans, D., Robbrecht, E., 2000, *A&A*, 362, 1151
Nakariakov, V.M., Ofman, L., 2001, *A&A*, 372, L53
Nakariakov, V.M., Melnikov, V.F., Reznikova, V.E., 2003, *A&A*, 412, L7
Nakariakov, V.M., Tsiklauri, D., Kelly, A., Arber, T.D., Aschwanden, M.J., 2004, *A&A*, 414, L25
Nakariakov, V.M., Verwichte, E., 2005, *Living Rev. Solar Phys.*, 2, 3
Nakariakov, V.M., Foullon, C., Verwichte, E., Young, N.P., 2006, *A&A*, 452, 343
Nakariakov, V.M., Aschwanden, M.J., Van Doorselaere, T., 2009, *A&A*, 502, 661
Nakariakov, V.M., Melnikov, V.F., 2009, *Space Sci. Rev.*, 149, 119
Nakariakov, V.M., Zimovets, I.V., 2011, *ApJ*, 730, L27
Ofman, L., Wang, T.J., 2002, *ApJ*, 580, L85
Pasachoff, J.M., Jacobson, W.A., Sterling, A.C., 2009, *Sol. Phys.* 260, 59
Parker, E.N., 1965, *Space Science Reviews*, 4, 666
Priest E.R., 1984, *Solar Magnetohydrodynamics*, D. Reidel Publishing

Restaino, S.R., Stebbins, R.T., Goode, P.R., 1993, ApJ, 408, L57
Richtmyer, R.D., 1960, Commun. Pure Appl. Math. 13, 297
Roberts, B., Edwin, P.M., Benz, A.O., 1984, ApJ, 279, 857
Roberts, B., Nakariakov, V.M., 2003, Frontiers, 15, 12
Roberts, B., 2006, Roy. Soc. London Philos. Trans. Ser. A, 364, 447
Rosenberg, H., 1970, A&A, 9, 159
Schrijver, C.J., 2009, Adv. Space Res., 43, 739
Schulten, K., J. Comput. Chem., 2005, 26, 1781
Schwenn, R., 2006, Living Rev. Solar Phys., 3, 2
Srivastava, A.K., Zaqarashvili, T.V., Uddin, W., Dwivedi, B.N., Kumar, P., 2008, MNRAS, 388, 189
Stein, R.F., Schwartz, R.A., 1972, ApJ, 177, 807
Sych, R., Nakariakov, V.M., Karlicky, M., Anfinogentov, S., 2009, A&A, 505, 791
Taroyan, Y., Erdélyi, R., Doyle, J.G., Bradshaw, S.J., 2005, A&A, 438, 713
Taroyan, Y., Bradshaw, S., 2008, A&A, 481, 247
Tsiklauri, D., Nakariakov, V.M., Arber, T.D., Aschwanden, M.J., 2004, A&A, 422, 351
Uchida, Y., 1970, PASJ, 22, 341
Wang, T.J., Solanki, S.K., Curdt, W., i inni 2003, A&A, 406, 1105
Wang, T.J., Ofman, L., Davila, J.M., 2009, ApJ, 696, 1448
Wang, T.J., 2011, Space Sci. Rev., 158, 397
Williamson, C.H.K., 1996, Ann. Rev. Fluid Mech., 28, 477
Van Doorselaere, T., Wardle, N., Del Zanna, G., i inni 2011, ApJ, 727, L32
Van Doorselaere, T., De Groof, A., Zender, J., Berghmans, D., Goossens, M., 2011, ApJ, 740, 90
Verdini, A., Velli, M., Buchlin, E., 2009, Astrophysical Journal Letters, 700, L39
Vernazza, J.E., Avrett, E.H., Loeser, R., 1981, ApJ, 45, 635
Verwichte, E., Marsh, M., Foullon, C., i inni 2010, ApJ, 724, L194
Voitenko, Y., Andries, J., Copil, P.D., Goossens, M., 2005, A&A, 437, L47
Zaitsev, V.V., Stepanov, A.V., 1975, A&A, 45, 135
Zaitsev, V.V., Stepanov, A.V., 1982, Sov. Astron. Lett., 8, 132

Marin Gusev