

----- СПРАВКА ЗА НАУЧНИТЕ ПРИНОСИ -----

НА Д-Р ИЛИЯ ЯНКОВ РУСЕВ

по конкурс за заемане на академичната длъжност „професор“ (обявен в Държавен вестник бр. 51 от 05.06.2026г.) в област на висше образование 4.1 Физически науки, по научна специалност „Хелиофизика“ на тема „Изследване свойствата на слънчевата корона, слънчевият вятър и короналните изхвърляния на маса чрез числено магнитохидродинамично моделиране“ за нуждите на отдел „Слънце и слънчева система“ в Института по Астрономия с Националната Астрономическа Обсерватория – Българска Академия на Науките (ИАНАО-БАН).

За настоящия конкурс са представени 71 реферирани и индексирани в *Wed of Science* и/или *Scopus* статии и доклади на конференции които са публикувани за периода 2001-2026 година. Научните изследвания след докторската ми степен са основно на следните фундаментални теми: (1) физичните механизми отговорни за пораждаването на короналните изхвърляния на маса (CMEs); (2) образуването на заредени частици от ударните вълни свързани с короналните изхвърляния на маса; и (3) прогнозирането на космическото време. Тези теми са директно свързани с тематиката на обявеният конкурс в ИАНАО-БАН.

Описаните по-долу международно-признати резултати са свързани основно в работата ми по пет основни направления: (1) глобално 3-D магнитохидродинамично (МХД) числено моделиране на слънчевата корона и слънчевият вятър в „стационарни условия“ базиращо се на наблюдения на Слънцето и слънчевият вятър; (2) 3-D МХД числено моделиране на CMEs в идеализирани условия; (3) глобално 3-D МХД числено моделиране на CMEs базиращо се на наблюдения; (4) глобално 3-D МХД числено моделиране на междупланетни изхвърляния на маса (ICMEs) и магнитни облаци (MCs); и (5) числено моделиране на ускорението на заредени частици от Слънцето (SEPs) в реалистични условия.

I. Международно-признати резултати от научните дейности (2001г.-2026г.)

1. Глобално 3-D МХД числено моделиране на слънчевата корона и слънчевият вятър в „стационарни условия“ базиращо се на наблюдения

В статия **I-B2** представяме нов, усъвършенстван МХД модел за симулиране на триизмерната (3-D) структура на слънчевия вятър в „стационарни“ условия. Началното потенциално магнитно поле е реконструирано в целия изчислителен обем използвайки метода на повърхността на източника (PFSSM), при който необходимите гранични условия за полето се осигуряват от данни от слънчева магнитограма на целият диск. Слънчевият вятър в нашите симулации се захранва от енергийния обмен между плазмата и широкомащабната МХД турбулентност, приемайки че допълнителната енергия се съхранява в „турбулентните“ вътрешни степени на свобода. За да се възпроизведе наблюдаваната бимодална структура на слънчевия вятър, термодинамичните величини за началното състояние на плазмата се променят с хелиографската ширина и дължина в зависимост от силата на радиалното магнитно поле. В нашият усъвършенстван глобален 3-D МХД числен модел успяхме да създадем „стационарен“ слънчев вятър в симулации включващи магнитни полета получени от наблюдения, и успяхме да получим резултати, които да са съвместими с наблюдаваните свойства на вятъра при 1 AU. Вярваме, че изчислителните техники представени в статия **I-B2** отварят нови врати за включване на магнитни наблюдения в числени симулации насочени към моделиране на глобалната хелиосфера и космическо време.

В статия **II-B2** докладвахме за нашето внедряване на реалистично, термодинамично енергийно уравнение в глобалния модел на короната на Space Weather Modeling Framework (SWMF), и неговото развитие в новия

модел на долната слънчева корона (LC). Тази първа по рода си научна работа включва интегрирането на допълнителните условия за енергиен транспорт на короналното нагряване, електронната топлопроводимост и оптично тънкото радиационно охлаждане в определящото МХД енергийно уравнение. Разгледахме две различни гранични условия използвайки този модел; едното е зададено в горната преходна област (модел на радиационния енергиен баланс) както и еднородно хромосферно условие където преходната област може да бъде моделирана в нейната цялост. Чрез синтез на наблюдения от резултатите от модела и последващо сравнение с наблюдения на пълното Слънце в екстремни ултравиолетови и меки рентгенови лъчи на ротацията на Карингтън 1913 с център на 27 август 1996 г., ние демонстрираме необходимостта от тези допълнителни съображения при използване на глобални МХД модели за описание на уникалните условия в ниската слънчева корона. Чрез множество симулации ние изследваме способността на LC модела да оценява и разграничава моделите на коронално нагряване и установяваме, че относително прост емпиричен модел на нагряване е адекватен за възпроизвеждане на структури наблюдавани в ниската слънчева корона. Показваме, че взаимодействието между короналното нагряване и електронната топлопроводимост осигурява значителна обратна връзка върху триизмерната магнитна топология в ниската корона в сравнение с екстраполацията на потенциално магнитно поле, и че тази обратна връзка до голяма степен зависи от количеството механична енергия въведена в слънчевата корона.

В статия **II-B3** представихме нашите оригинални научни усилия да интерпретираме наблюденията на глобалните екстремни ултравиолетови (EUV) транзиенти в слънчевата корона (EUV вълни) използвайки триизмерният термодинамичен магнитохидродинамичен модел представен в статия **II-B2**. Извършихме множество числени симулации на EUV вълната от 25 март 2008 г. (~18:40 UT) наблюдавана както на, така и извън слънчевия диск от космическите апарати STEREO-A и B. Чрез независимо променяне на фундаментални параметри за които се смята, че управляват физическите механизми зад EUV вълните във всеки модел, като например околната магнитозвукова скорост, свободната от изригване енергия и насочеността на изригването, ние бяхме в състояние да оценим съответните им приноси към характеристиките на транзиента. Ключова характеристика на тази работа е възможността за синтезиране на многофилтърният отговор на STEREO Extreme UltraViolet Imagers (EUVI) директно от данни от модела, което дава средства за директно тълкуване на EUV наблюденията с пълно познаване на триизмерните магнитни и термодинамични структури в симулациите. Обсъдихме в детайли последиците от нашите резултати по отношение на някои общоприети интерпретации на EUV вълните (напр. бърза магнитозвукова вълна, плазмена компресия, фронт на повторно свързване и др.), и представихме унифициран сценарий който включва както вълнообразен компонент движещ се с висока магнитозвукова скорост, така и кохерентен задвижван фронт на компресия свързан със самото еруптивно събитие.

2. 3-D МХД числено моделиране на короналните изхвърляния на маса (CMEs) в идеализирани условия

Короналните изхвърляния на маса (CMEs) са най-енергийните събития в Слънчевата система и могат да направят околоземното пространство опасно място. През последните 50 години бяха предложени множество теоретични и числени модели които да обяснят CMEs и връзката им със слънчевите изригвания. Въпреки това, до момента, все още няма консенсус относно това какви физически механизми са отговорни за тези слънчеви явления. В статия **II-B4**, публикувана в *Nature Physics* през 2012г., демонстрирахме за първи път фундаментална връзка между появата на магнитен поток в слънчевата атмосфера и образуването на слънчеви изригвания. Представихме един модел на динамиката на слънчевата атмосфера и вътрешната област на слънчевия вятър използвайки реалистично представяне на движещото се електрическо поле във фотосферата изчислено от компютърни симулации на появата на магнитен поток като гранични условия (FEM). От това показахме как инжектирането на магнитен поток и спиралност от конвекционната зона водят до реорганизация на слънчевата корона. Показахме доказателства за in-situ образуването на плазмодид на CME, който е независим от възникващата тръба на магнитният поток, и също така убедително свързахме този процес с образуването на гореща рентгенова структура в слънчевата корона.

От гледна точка на космическото време, дългогодишна цел е прогнозирането на CMEs и предвижданията за тяхното въздействие върху Земята. Силният рентгенов поток идващ от слънчеви структури като рентгенови сигмоиди е особено важен, защото определя нагряването на горните слоеве на атмосферата (термосфера и екзосфера) на Земята, и свързаното с това атмосферно съпротивление изпитвано от спътници в ниска околоземна орбита. Описаният в статия **II-B4** модел на CME ни позволи не само да уловим самосъгласуваната магнитна еволюция на короналното изхвърляне на маса, но и да изчислим директно увеличението на рентгенов поток, което е значително предимство пред съществуващите модели. Докато глобалните изчисления на цялата система от конвекционната зона към слънчевата корона станат осъществими, има многобройни предимства от провеждането на описаното в статия **II-B4** свързване на модели, а именно: FEM може да бъде мащабиран и ориентиран върху слънчевата повърхност по начин който съответства на наблюдаваните свойства на възникващия магнитен поток или активните области които ще бъдат симулирани; FEM симулацията не е необходимо да се изпълнява отново всеки път когато се симулира нова активна област; и може да се симулира появата на множество активни области (което означава множество връзки на LC модела с FEM) без значително увеличение на изчислителните ресурси. От тази гледна точка, този тип модели би бил лесен за преход към прогнозирането на космическото време в реално време базирано на фундаментална физика; това е нещо което до момента не е възможно със съществуващите оперативните модели.

В статия **I-B1** направихме първи по рода си серия от симулации за да се изследва загубата на равновесие на триизмерната теоретична конфигурация на магнитния поток на Титов и Демулен (Titov & Demoulin 1999; T&D) като подходящ механизъм за възникване на CME. Чрез тези уникални по рода си симулации бяхме в състояние да определим условията при които стабилните равновесия на магнитното поле вече не съществуват. Нашите резултати показаха, че е възможно да се постигне загуба на равновесие дори ако краищата на магнитния поток са закрепени към слънчевата повърхност. За да може магнитният поток да излезе обаче, беше необходимо да се модифицира конфигурацията на T&D чрез елиминирането на аркадното магнитно поле. Нашите резултати показаха, че критерият $R > 2 L$, изведен в T&D модела чрез пренебрегване на ефектите от обвързването на линиите на полоидалното магнитно поле, може да е необходимо условие за слънчево изригване, но не е достатъчно. Открихме, че са необходими по-големи стойности на R над $5 L$. Също така открихме, че дори когато началното равновесие на магнитното поле е нестабилно, усуканото магнитно въже не може да излезе, освен ако статичното аркадно поле свързано с линейния ток не бъде премахнато. По този начин, въпреки че T&D моделът може да произведе изригване подобно на CME, той не може да го направи това без да изисква силно усукано поле на повърхността на магнитно въже. В бъдеще може да е възможно това да се смекчи чрез използване на конфигурация в която безкрайно дългият линейен ток се замени с източник на ток чието магнитно поле отслабва по-бързо с височината. Магнитното повторно свързване играе решаваща роля в разсейването на токовата покривка, като по този начин помага на изригването на усуканото магнитно въже да продължи. В бъдещи изследвания по-реалистичното третиране на процеса на повторно свързване в токовият слой и включването на сферична геометрия може значително да намали забавянето което наблюдаваме в нашата модифицирана T&D конфигурация.

3. Глобално 3-D МХД числено моделиране на CMEs базиращо се на слънчеви наблюдения

В статия **I-B3** докладвахме за първото по рода си глобално 3-D МХД числено моделиране на CME базиращо се на слънчеви наблюдения. За целта симулирахме формирането и еволюцията на изхвърлянето на коронална маса което се случи на 2 май 1998 г. в активната област 8210 с помощта на изцяло триизмерният, глобален МХД код BATS-R-US. Първоначалното магнитно поле в модела се основава на магнитограмни данни от слънчевата обсерватория Wilcox, а слънчевото изригване се активира чрез бавното развитие на граничните условия докато се достигне критична точка при която магнитната конфигурация губи механично равновесие. В този момент полето изригва и се изхвърля магнитно въже от слънчевата корона което достига максимална скорост над 1.000 km/s . Ударната вълна която се образува пред коронално изхвърляне на маса достига бързо число на Мах над 4 и коефициент на компресия по-голям от 3 докато измине разстояние от 5 слънчеви радиуса от повърхността на Слънцето. За такива характеристики на ударната вълна теорията на дифузионното ударно ускорение (DSA) предсказва ускоряването на слънчевите протони (SEPs) до максимална кинетична енергия от

около 10 GeV. По този начин демонстрирахме, че за са това събитие не е необходимо да се търси допълнителен механизъм за ускорение на частиците. През последните десетилетия имаше известни противоречия относно това дали теорията на DSA при ударната вълна породена от CME може да обясни GeV частиците наблюдавани в началото на SEP събития (вижте Bulanov & Sokolov 1984 и цитираните там източници; Kiplinger 1995; Tylka 2001; Reames 2002). Въпросът беше под съмнение, защото има противоречиви изисквания поставени пред теорията от бързата поява на такива високоенергийни частици. За да ги обясни DSA теорията изисква силна ударна вълна с голямо коефициент на сгъстяване да се образува много рано и сравнително близо до Слънцето (≈ 10 слънчеви радиуса). Въпреки това, близо до Слънцето околната Алфвенова скорост е толкова висока, поради силните магнитни полета там, че силна ударна вълна е трудно постижима. От теоретична гледна точка проблемът с определянето как се развива ударната вълна с времето се усложнява допълнително от липсата на общоприета теория за това как се активират CMEs. Колко бързо се създава и усилюва ударната вълна зависи много от това как тя се задвижва от изригващите магнитни полета свързани с CME. Чрез конструиране на напълно триизмерен числен модел който включва данни за слънчевото магнитно поле и механизъм за загуба на равновесие успяхме да определим, че ударна вълна може да се развие близо до Слънцето достатъчно силна за да обясни слънчеви енергийни частици до 10 GeV. Дали подобни резултати ще бъдат получени за други събития или други предположения за механизма на CME активация предстои да бъде проучен. Ако обаче е така, то тогава изглежда вероятно само дифузионното ускорение на ударната вълна да обясни GeV частиците които се наблюдават по време на SEP събитията.

За да изследваме динамиката на CMEs които се случиха на 21 април и 24 август 2002г. ние извършихме серия от числени симулации с ad-hoc драйвер за изригванията които представихме в статия **I-B3**. Получената еволюция на слънчевата корона за всяко събитие беше проследена в пространството и времето посредством триизмерни МХД симулации. Използвахме SOHO-MDI данни, за да зададем реалистични гранични условия за глобалното магнитно поле на Слънцето. В нашия модел загубата на равновесие на короналното магнитно поле и последващото изригване на коронална маса бяха постигнати чрез разтягане на противоположните полярни крака на нововъзникнал магнитен дипол на слънчевата повърхност. Напрегнатото магнитно поле се свързва отново през нулеви точки (NPs) и, в случая на събитието от 24 август, също и през квазисепаратор. В резултат на това магнитният поток и спиралността се прехвърлят от разширяващата се система от магнитни потоци съдържаща развиващия се дипол към близките системи от магнитни потоци. Друг много важен резултат е скокообразната промяна в местоположението на един отпечатък на изригващото магнитно поле.

В скорошно проучване, Ugarte-Urra et al. (2007) установиха, че: (1) 7 от 26 CMEs могат да бъдат интерпретирани с модела на пробив на Antiochos et al. (1999), (2) 12 събития могат да бъдат обяснени с други CME модели (в биполарни геометрии), и (3) 7 събития остават неклассифицируеми. Това означава, че $\sim 27\%$ от наблюдаваните CMEs са по-сложни от тези моделирани в идеализирани магнитни геометрии (биполарни или квадруполарни). Също така се оказва, че е необходимо да се изследват CMEs за всеки отделен случай ако искаме да разберем тяхната енергетика, динамика и т.н., което беше подходът ни предприет в статия **I-B3**. Чрез 3D компресируеми МХД симулации успяхме да определим, че множество нулеви точки (NPs) в слънчевата короната (три или повече) и квазисепаратор (в случая на събитието от 24 август) са играли роля по време на двете сложни CMEs моделирани тук. Нашите MHD симулации показаха, че динамичната реконструкция на изригващото магнитно поле поради повторно свързване има едно важно последствие, а именно: местоположението на единия отпечатък (в действителност може би и на двата) на изригващото магнитно поле се променя с течение на времето по скокообразен начин. Това може да има някои последици за производството на SEPs по отношение на варираща популация на частици семена (seed particles). Изследователите на Слънцето често приемат, че отпечатъците на CMEs остават фиксирани към Слънцето. Това е така, защото по-голямата част от моделите на CMEs до момента включват идеализирани околни магнитни полета което затруднява изследването на подобни ефекти. За първи път, с този научен труд демонстрирахме, че като цяло това не е вярно, и че съществуващата магнитна топология определя до голяма степен как ще се развива изригващото магнитно поле по времето на CME. Ето защо е наложително да се изучават CMEs за всеки отделен случай. Също така показвахме за първи път, че поради топологичната реконструкция на изригващото магнитно поле, енергийното ограничение за отваряне на полето наложено от теоремата на Али-Стьрок (вижте дискусията във Forbes 2000),

може да не е вярно за сложни събития като тези от 21 април и 24 август 2002г. Това може да е ключът към обяснението на бързите изхвърляния на Слънцето, но това предстои да бъде доказано в бъдеще.

4. Числено моделиране на ускорението на заредени частици от Слънцето (SEPs) в реалистични условия

Производството на SEPs при ударни вълни предизвикани от CMEs е дългогодишен проблем тъй-като от слънчевите наблюдения се знае много малко за свойствата на ударните вълни породени от изригванията на коронална маса, нивото на МХД турбулентност, и т.н. Както обсъдихме по-горе, чрез един реалистичен модел на еволюцията на CME–ударна вълна свързано със събитието от 2 май 1998г. успяхме да моделираме числено производството на SEPs по самосъгласуван начин което беше докладвано в статия **I-B4**. В този научен труд представихме дифузионното ударно ускорение (DSA) на слънчевите протони при ударната вълна предизвикана от реалистично изхвърляне на коронална маса докладвано в статия **I-B3**. За тази цел използвахме новоразработен модел на адвекция на магнитните полеви линии за ускорение на частиците съчетан с глобалният МХД код BATS-R-US. Новият уникален числен модел, FLAMPA, описан в статия **I-B4** включва ефекти важни за ускорението и транспорта на заредените частици посредством DSA и използва Лагранжеви мрежи. Извършихме често динамично свързване между двата числени кода за да обясним зависимата от времето динамика на развиващата се ударна вълна предизвикана от CME. Нашите числовите резултати показаха, че с DSA механизмът може да обясни производството на високоенергийни слънчеви протони наблюдавани по време на ранните етапи на коронални изхвърляния на маса.

Новият модел, FLAMPA, беше разработен от мен съвместно с бившият ми колега д-р Игор Соколов (University of Michigan) за да симулира зависимия от времето транспорт и дифузионно ускорение на частици при ударни вълни задвижвани от CMEs. Тоест, FLAMPA имплементира теорията на DSA в най-съвременен числен код. Този код е свързан с кода BATS-R-US чрез Space Weather Modeling Framework (SWMF) който решава уравненията на свиваемата МХД в триизмерна, блоково-адаптивна геометрия на мрежата (AMR). В рамките на това свързване ние проследихме пълната зависима от времето история на реалистична ударна вълна породена от CME, и симулирахме ефектите от транспорта на частиците и дифузионното ускорение докато ударната вълна се развива в областта от 4 до 30 слънчеви радиуса. Резултатите от нашето числено моделиране показаха, че само теорията на DSA може да обясни производството на високоенергийни протони по време на слънчеви изригвания. Докато в предишното проучване (докладвано в статия **I-B3**) предоставихме само горна граница на максималната енергия на слънчевите протони, тук количествено определихме действителния енергиен спектър на протоните. FLAMPA е мощен инструмент който може да се използва с всеки реалистичен модел на CME за да се изследват начините за ускорение на частиците при ударни вълни предизвикани от CMEs. Изчислените интензитети на протоните могат да бъдат тествани спрямо тези, наблюдавани на Земята. Чрез сравняване на резултатите от симулацията на 1 AU с наличните SEP данни за събитието от 2 май 1998г. (протонни потоци от спътника GOES-8) откриваме много добро съответствие за шест от енергийните канали (15, 110, 130, 150, 160 и 1.100 MeV), и малко по-лошо съответствие за канала на 11 MeV. Началото на наблюдаваното SEP събитие се случва ~30-60 минути след началото на CME (Danilova et al. 1999), докато в нашата симулация това се случва ~30 минути след формирането на ударната вълна (или ~60 минути след началото на изригването). Поради тази причина заключихме, че е много важно да се знае от модела на CME кога (или дали) ударната вълна се формира върху магнитната линия на полето свързваща Слънцето със Земята (или точката на наблюдения на SEPs). Това доказва, че нашият свързан модел е много информативен и ни позволява да използваме реални SEP данни за да го проверим. В бъдещи научни изследвания ще включим реалистичен модел на МХД турбулентност във FLAMPA който отчита локалното генериране на вълни от енергийни йони и затихването на вълните (напр. Giacalone & Jokipii 1994; Ng et al. 1999, 2003), и свързаното с него ускорение на Ферми от втори ред. Въпреки, че много потенциално значими ефекти все още не са изследвани, FLAMPA вече включва голяма част от фундаменталната физика необходима за изследване на природата на постепенните SEP събития свързани със короналните изхвърляния на маса от Слънцето.

5. Глобално 3-D МХД числено моделиране на междупланетни изхвърляния на маса (ICMEs) и магнитни облаци (MCs)

В статия **II-Г6** успешно тествахме парадигмата, че магнитното поле в магнитните облаци (MCs) винаги наподобява това на усукано магнитно въже като извършваме „сляпа“ реконструкция на структурата на магнитното поле на симулирано междупланетно коронално изхвърляне на маса (ICME). ICME е резултат от МХД числена симулация с SWMF която не показва много усукване на магнитното силово поле, но изглежда има някои характеристики на магнитен облак поради извиване в линиите на магнитното поле. Използвахме техниката на Град-Шафранов (GS) със симулирани измервания на космически кораби на две различни разстояния от Слънцето и сравнихме реконструираното магнитно поле с това на ICME в симулацията. Докато реконструираното магнитно поле е подобно на симулираното, както се вижда в двуизмерните изчисления, то дава спирално усукано магнитно поле в трите измерения. За да проверим допълнително резултатите извършихме реконструкцията при три различни ъгъла на позиция във всяка точка на разстояние, и всички резултати се оказват в съответствие. Този научен труд демонстрира за първи път, че настоящата парадигма за свързване на MCs с усукани магнитни въжета без изкривяване на магнитните силови линии трябва да бъде преразгледана.

Инструментите SECCHI на борда на космическите апарати STEREO-A и B дават за първи път възможност да се проследяват непрекъснато с времето CMEs от Слънцето до 1 AU. В статия **II-Г4** анализирахме в детайли наблюденията по линията на видимост на CMEs от 24-25 януари 2007г. и успяхме за първи път в историята успешно да запълним 20-часовата празнина в покритието на SECCHI на 25 януари като извършихме 3-D МХД числена симулация базираща се на SWMF. Показахме как наблюденията отразяват взаимодействието на двете последователни CMEs помежду си и със структурирания слънчевият вятър. Направихме подробно сравнение между наблюденията и синтетичните изображения от нашия модел, включително карти на удължаване на времето за няколко позиционни ъгъла. С числени симулации за разграничаване на наблюдателните от физическите ефекти бяхме в състояние да изучим триизмерният характер на CMEs и тяхната еволюция във вътрешната хелиосфера. Този научен труд постави началото на нова ера в численото моделиране в която, от една страна, моделите на разпространение и взаимодействие на CMEs могат да бъдат напълно тествани чрез хелиосферни наблюдения, а от друга страна, наблюденията могат да бъдат по-добре интерпретирани чрез използване на глобални числени модели.

II. Обобщение

Както представихме в изложението по-горе, през последните 25 години разработихме множество реалистични числени модели базиращи се на най-съвременните технологии и наблюдения на Слънцето и междупланетната среда с който изследвахме в детайли следните фундаментални теми по Хелиофизика: (1) физичните механизми отговорни за пораждането на короналните изхвърляния на маса от Слънцето; (2) образуването на заредени частици от ударните вълни свързани с короналните изхвърляния на маса; и (3) прогнозирането на космическото време. Такива реалистични 3-D МХД симулационни инструменти могат да функционират като ефективни виртуални лаборатории за изучаването на други слънчеви явления свързани с CMEs, като например слънчевите изригвания, EUV вълни, и др. които се наблюдават рутинно от PSP, STEREO, SDO, и SOHO. Всички наши трудове демонстрират, че включването (или асимилирането) на данни от наблюдения (напр. данни от магнитограми на пълен диск) в съответните изчислителни модели като начални и гранични условия е от решаващо значение. Също така, способността да се възпроизведат съответните слънчеви наблюдения, като например разсеяна бяла светлина, EUV емисия, меки рентгенови лъчи и др., е също от решаващо значение. Този тип изчислителни инструменти са способни да осигурят директно сравнение с наблюдения. По този начин те ни позволяват да постигнем: (1) подобрена физическа интерпретация на сложни наблюдения; (2) валидиране на самите изчислителни модели; и, (3) запълване на пропуски в данните от тези слънчеви наблюдения.

II. Настоящи и бъдещи насоки

В близко бъдеще планирам да участвам в съвместни научни проекти и в дефинирането на научните цели на две бъдещи Китайски мисии, а именно CGST и SCOPE), заедно с колеги от Юнан Обсерваторията (YNAO) и Обсерваторията „Лилавата Планина“ (PMO) в Китай.

1. Китайски гигантски слънчев телескоп (CGST)

Китайският гигантски слънчев телескоп (CGST) е наземен слънчев телескоп от следващо поколение. Основната научна цел на този телескоп е да наблюдава ултрафините структури на слънчевото магнитно поле и динамичното поле. Поради предимствата в откриването на поляризация и термичния контрол със симетрична кръгова система, настоящият дизайн на CGST е 8-метров кръгъл симетричен телескоп. Резултатите от симулациите и анализите до момента показват, че настоящият дизайн може да отговори на изискванията на повечето научни случаи не само във видимите ленти, но и в близките инфрачервени ленти. Слънчевите протуберанси и нишките са много важни научни случаи на CGST. Ще бъдат разработени специални технологии за наблюдение на протуберанси, включително дневната лазерна насочваща звезда и MCAO. CGST е предложен от всички слънчеви обсерватории и няколко института и университета в Китай. Той е подкрепен от Китайската академия на науките (CAS) и Националната фондация за природни науки на Китай (NSF-C) като дългосрочен астрономически проект.

2. Близки наблюдения на Слънцето и експерименти за близост (SCOPE)

Мисията „Близки наблюдения на Слънцето и експерименти за близост“ (SCOPE) ще изпрати космически кораб в слънчевата атмосфера на ниска височина само на 5 слънчеви радиуса от центъра на Слънцето (Lin et al., 2025). Мисията SCOPE има за цел да достигне по-близо до Слънцето от мисията Parker Solar Probe (PSP) на НАСА, и да обхване по-голям диапазон от географски ширини от мисията Solar Orbiter (SolO) на ЕКА. Тя има за цел да изясни механизмите зад слънчевите изригвания и нагряването на слънчевата корона, както и директно да измери короналното магнитно поле. Мисията има за цел да отговори на следните фундаментални научни въпроси които предизвикват общността на слънчевата физика повече от осем десетилетия:

I. Какво причинява слънчеви изригвания и CMEs?

I.1 Каква е природата на повторно свързващия се токов слой (CS)?

I.2 Къде се намира областта на източника на SEPs по време на слънчеви изригвания?

II. Как се нагрява слънчевата корона и как се ускорява слънчевият вятър?

II.1 Дали нагряването на слънчевата корона се доминира от нано-изригвания, от разсейване на МХД вълни или от други механизми?

II.2 Какъв е делът на приноса на различните механизми за нагряването на слънчевата корона?

II.3 Какво можем да научим за ускорението на слънчевия вятър от височината където зарядното състояние на тежките йони започва да замръзва?

SCOPE ще извършва in-situ измервания на токовете слоеве свързващи CMEs със слънчевите изригвания, както и SEPs произведени по време на повторно свързване на магнитното поле, или при бързи ударни вълни породени от CMEs. Това ще помогне да се определи природата на повторните връзки в токовете слоеве и областите на ускорение на енергийните частици. За да изследва короналното нагряване мисията ще наблюдава нано-изригвания в мащаби по-малки от 70км в слънчевата корона и региони по-малки от 40км във фотосферата където възникват МХД вълни. За да изучи механизмите на ускорение на слънчевия вятър мисията ще проследи и процеса на замръзване на зарядните състояния на йоните в слънчевия вятър. Ключово постижение ще бъде наблюдението на короналното магнитно поле в безпрецедентна близост до слънчевата фотосфера. Полярните региони също ще бъдат наблюдавани отблизо, а вътрешният ръб на праховия диск на Слънчевата система може да бъде идентифициран за първи път.

В началото на 2027г., планирам да задълбоча сътрудничеството ми с изследователи по Хелиофизика от YNAO и PMO в Китай по фундаментални теми свързани с тези две мисии. Първата фундаментална изследователска тема е насочена към по-доброто разбиране на условията в слънчевата корона преди CME, глобалната топологична еволюция на магнитните структури от Слънцето до Земята, и междупланетното взаимодействие между ударната турбулентност предизвикана от CME по време на слънчевите изригвания (използвайки реални данни от слънчеви магнитограми както и 3-D MHD числено моделиране). Тази изследователска тема ще бъде проучена съвместно с д-р. Кайфън Канг (YNAO), Джисин Мей (YNAO), Инна Су (PMO) и Сяоджоу Джао (YNAO). Втората фундаментална изследователска тема е фокусирана върху 2.5-D и 3-D радиационни MHD (RMHD) числени изследвания на дребномащабни еруптивни явления в слънчевата атмосфера допринасящи за нагряването на слънчевата корона и задвижващи слънчевия вятър. Съвместното научно изследване ще се проведе с д-р Лей Ни (YNAO), Я Уанг (PMO) и Цинмин Джанг (PMO). Ще се стремим да разберем по-добре ролята на p -модните трептения във вътрешността на Слънцето върху модулирането на дребномащабни събития на магнитно повторно свързване. Третата изследователска тема ще включва числени изследвания на еволюцията на зарядното състояние на тежки йони в бързия слънчев вятър по време на междупланетната еволюция на короналните изхвърляния на маса (ICMEs). Тези изследвания ще се проведат съвместно с д-р Ченгкай Шен (YNAO). За да се даде възможност за това сътрудничество в бъдеще изпратихме съвместен научен проект до Китайската Академия на Науките (CAS) който се рецензира в момента.

Дата: 10.07.2026г.

Подпис:

/д-р Илия Янков Русев/