ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертацію Черемниха Сергія Олеговича
«Дослідження спорадичних і ультранизькочастотних процесів у внутрішній магнітосфері Землі», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена дослідженню та прогнозуванню спорадичних та ультранизькочастотних процесів у внутрішній магнітосфері Землі. Аналітичні та чисельні моделі, представлені в роботі, базуються на даних з космічних апаратів. В цьому контексті робота С.О. Черемниха є актуальною, оскільки явища у внутрішній магнітосфері, а також плазмові структури, які спостерігаються у сонячному вітрі, відіграють ключову роль у формуванні космічної погоди. Зокрема, ультранизькочастотні хвилі відіграють важливу роль у ряді глобальних подій в магнітосфері Землі, а також беруть безпосередню участь у процесах переносу часток і енергії. Окремо слід відмітити актуальність представлених у роботі підходів до прогнозування геомагнітної активності, оскільки коректний прогноз «космічної погоди» дозволить передбачити появу геомагнітних збурень і тим самим знизити втрати від багатьох катастрофічних подій.

Наукова новизна одержаних результатів

Оцінюючи найважливіші здобутки дисертаційного дослідження, варто вказати на наступні результати, що мають вагому наукову новизну.

– Отримано систему рівнянь малих збурень у дипольному магнітному полі, яка послідовно враховує усі основні особливості геомагнітного поля, повздовжню та поперечну структуру збурень, а також описує розповсюдження усіх гілок МГД хвиль;

– Встановлено, що у магнітосферній плазмі реалізуються УНЧ хвилі у вигляді тороїдальних та полоїдальних мод, зачеплених із повільною магнітозвуковою хвилею; показано що моди з «проміжною» поляризацією є

такими, що складно реалізуються;

– Відкрито ефект згасання тороїдальних альфвенівських мод у магнітосферній плазмі через ефект перемішування фаз;

– Теоретично визначено, що у сонячному вітрі можуть бути присутні три геоефективні плазмові структури, які можуть призводити до генерації магнітосферних бур;

– Запропоновано використовувати білінійні динамічні моделі для прогнозування Dst-індексу. Побудовано модель динаміки Dst-індексу та чисельно показано можливість його прогнозування на 5 – 6 годин наперед;

– Запропоновано новий підхід до прогнозування Dst-індексу на основі локальних показників Ляпунова і процедуру їх обчислення при наявності шумів. Реалізовано процедуру обчислення горизонту прогнозу Dst-індексу з використанням спектру локальних показників Ляпунова.

Вважаю, що елементи наукової новизни сформульовані коректно, їх кількість та кваліфікаційні ознаки відповідають нормативним вимогам.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Детальне ознайомлення з текстом дисертації С.О. Черемниха дає підстави стверджувати, що підхід дисертанта до дослідження взаємодії сонячного вітру з магнітосферою Землі відзначається фундаментальністю та ґрунтовністю дослідження. Варто відзначити структурованість роботи, логічність викладу та якісне оформлення наукового апарату роботи.

У якості теоретичної бази для дослідження, обрано сучасні теоретичні положення фізики плазми, фізики коливань та хвиль, а також методи фізичної кібернетики. Відповідно до цього, слід відзначити обґрунтованість наведених дисертантом висновків, які базуються на грамотному використанні методів теоретичної та статистичної фізики, фізики плазми, фізичної кібернетики, а також чисельних методів.

Слід відзначити досить широку експериментальну базу дисертаційної роботи. Проведений ґрунтовний вторинний аналіз даних з космічних апаратів, а саме: AMPTE/CCE, Equator-S.

Справляє позитивне враження джерельна база роботи. Невелика кількість вітчизняних робот за тематикою дисертації проблематики спонукала дисертанта звернутися до численних іншомовних джерел. Видання, включені до списку використаної літератури, насамперед зарубіжної, свідчать про ґрунтовне опрацювання проблеми, і високий рівень наукової підготовки автора, його наукову зрілість.

Оцінка змісту та завершеності дисертації

Дисертація С.О. Черемниха складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел. У вступі чітко обґрунтовано актуальність проблеми, науково коректно сформульовано мету, яка корелює з темою, та конкретизується у завданнях, окреслено об'єкт та предмет роботи. Логічно окреслено систему використаних в роботі дослідницьких методів.

У першому розділі дисертаційної роботи **«Довготривалі процеси у магнітосфері Землі»** автор навів стислий огляд розвитку головних напрямків досліджень, що відносяться до проблеми розповсюдження ультранизькочастотних хвиль в магнітосфері Землі та генерації спорадичних збурень магнітного поля Землі. Наприкінці кожного підрозділу автором було сформульовано задачу дослідження та означено його подальший напрямок .

У другому розділі роботи **«Основні наближення та моделі»** дисертант навів короткий огляд результатів стосовно проблем, які розглянуто у дисертації. Описано основні наближення та моделі збурення плазми у системі «магнітосфера Землі – сонячний вітер». Також, саме у цьому розділі наведені дані з космічних апаратів, на яких базується дослідження. Розглянуто проблему рівноваги плазми у магнітосфері. Викладено процедуру

отримання рівняння малих коливань для плазми, яка знаходиться у дипольному магнітному полі. Описані основні властивості безсилових конфігурацій, які використовуються у роботі для опису динаміки корональних викидів маси у потоці сонячного вітру. Також у цьому розділі представлено основні результати, що стосуються підходу до структурно-параметричної ідентифікації нелінійних дискретних динамічних моделей прогнозування геомагнітних бур.

На нашу думку, цінною є спроба автора поєднати різні аспекти геомагнітних збурень для отримання картини їх розвитку у часі – від механізмів виникнення до розповсюдження та прогнозування.

Третій розділ **«Генерація УНЧ збурень у магнітосфері Землі»** представляє собою розгляд УНЧ коливань з періодами від декількох секунд до десятків хвилин. Приведено цілу низку аналітичних результатів, котрі є важливими для подальшого дослідження цих хвиль та спостереження таких хвиль з космічних апаратів. Отримано систему рівнянь для опису власних УНЧ мод у дипольному магнітному полі. Важливим, на наш погляд, є те, що цей результат було отримано із урахування поперечної структури збурень. Також, у цьому розділі пояснюється ефект загасання тороїдальних альфвенівських мод через перемішування фаз збурень. Отримані рівняння малих коливань для поперечно-дрібномасштабних УНЧ хвиль у дипольному магнітному полі. Цей результат є важливим для подальшого дослідження, оскільки ці хвилі легко генеруються у навколоземній магнітній пастці та часто переходять у нестійкий режим.

Окремо слід звернути увагу на підрозділ, що присвячено верифікації отриманих результатів за вимірами з КА AMPTE/CCE, де показано, що здебільш реалізуються тороїдальні альфвенівські моди і полоїдальні альфвенівські моди, зачеплені через радіальну кривизну силових ліній магнітного поля з повільними магнітозвукових модами.

Четвертий розділ «**Безсилові плазмові конфігурації у сонячному вітрі**» присвячено моделюванню можливих плазмових структур у потоці

сонячного вітру. Отримано математичні моделі трьох можливих плазмових безсилових структур циліндру, тору та еліпсоїду. Слід відмітити, що дослідження, представлені в цьому розділі найскладніше зіставити з емпіричними даними через великий розмір КВМ та наявність у КВМ так званої «атмосфери».

П'ятий, останній розділ дисертації присвячено скінченновимірним динамічним моделям геомагнітних індексів. Введено білінійну динамічну модель геомагнітного індексу. Отримано алгоритм прогнозування геомагнітного Dst-індексу, проведено чисельне моделювання. Також, важливим результатом цього розділу є запропонований підхід до аналізу прогнозованості Dst-індексу на основі локальних показників Ляпунова та процедура їх обчислення за наявності шумів. Слід зазначити, що дослідження цього розділу є особливо актуальним, оскільки прогнозування геомагнітних індексів найбільш тісно пов'язано із проблемою космічної погоди.

Завершується робота досить розгорнутими висновками, які випливають зі змісту роботи, є логічними, слугують віддзеркаленням основних результатів дисертаційної роботи.

Виходячи з аналізу основної частини дисертації, можу зробити висновок, що мета дисертаційної роботи в ході виконання дослідження була досягнута, а дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною працею.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях

Основні положення та висновки дисертаційної роботи викладено у п'яти працях, одна з яких опублікована в іноземному науковому виданні, шість праць додатково відображають результати роботи.

Таке представлення результатів наукової роботи є достатнім. Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам ДАК України та «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого ступеня кандидата

фізико-математичних наук». Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації.

Основні положення дисертації широко апробовані на наукових конференціях, серед яких:

Спрямованість науково-практичних конференцій, де відбувалася апробація дисертаційного дослідження, характер статей дисертанта, в яких відображено положення дисертації і результати проведених досліджень, повною мірою розкривають дослідницьку проблему взаємодії релігії та суспільства та її соціальної репрезентації. Загалом вважаю, що дисертація пройшла належну апробацію; вона є самостійною науковою працею, що має завершений характер.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Ознайомлення з текстом автореферату дисертації дає підстави стверджувати, що за структурою та змістом він відповідає вимогам, що ставляться МОН України. У тексті автореферату відображено основні положення, зміст, результати і висновки здійсненого С.О. Черемнихом дисертаційного дослідження. Можу стверджувати, що зміст автореферату та основні положенная дисертації є ідентичними.

Дискусійні положення та зауваження

Позитивно оцінюючи здобутки дисертанта, вважаю за необхідне зазначити наступні дискусійні положення та зауваження до поданої дисертаційної роботи:

- У постановці задачі розповсюдження ультранизькочастотних хвиль у магнітосфері Землі недостатньо уваги приділено формулюванню граничних умов. Фізичні та математичні аспекти меж розповсюдження УНЧ хвиль на наш погляд можна було б представити більш повно.

- В роботі недостатньо повно обґрунтовано результати щодо експериментальної перевірки трьох можливих плазмових безсилових структур: циліндру, тору та еліпсоїду.
- В роботі задача структурно-параметричної ідентифікації нелінійних динамічних моделей прогнозування геомагнітних індексів зведена до розв'язку відповідної задачі математичного програмування. Неясно, чи запропоновані процедури оптимізації дозволяють знаходити глобальні мінімуми похибки прогнозу?
- Із роботи неясно, чим відрізняється процедура обчислення горизонту прогнозу від запропонованої в роботі при негативних значеннях показників Ляпунова.
- Крім того, в тексті дисертації трапляються орфографічні та синтаксичні помилки, які відмічено на полях дисертаційної роботи.

Але загалом, висловлені зауваження не мають принципіального значення і не ставлять під сумнів отримані С.О. Черемнихом в дисертації «Дослідження спорадичних і ультранизькочастотних процесів у внутрішній магнітосфері Землі» вагомі наукові результати, а ці недоліки звичайно повністю можуть бути враховані і виправлені у подальшій науковій роботі дисертанта.

Загальний висновок

Дисертаційна робота на тему «Дослідження спорадичних і ультранизькочастотних процесів у внутрішній магнітосфері Землі» виконана вперше і поглиблює існуючі знання щодо процесів у ближньому космосі, а саме є суттєвим внеском в розвиток дистанційних аерокосмічних досліджень.

Дисертація є завершеною, самостійно підготовленою кваліфікаційною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані та практично цінні результати.

Актуальність обраної теми дисертації, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна та повнота викладу в

опублікованих працях повністю відповідають вимогам до кандидатських дисертацій.

Вважаю, що дисертаційна робота «Дослідження спорадичних і ультранизькочастотних процесів у внутрішній магнітосфері Землі», представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року, а її автор – Черемних Сергій Олегович – заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження.

.

Офіційний опонент:
член-кореспондент НАН України,
професор, доктор фізико-математичних наук
головний науковий співробітник
Астрономічної обсерваторії
Київського Національного Університету
імені Тараса Шевченка

Чурюмов Клим Іванович,

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Ідентифікаційний код 00019270

Підпис Чурюмова К.І.
засвідчую
Начальник Секретаріату Президії
Національної академії наук України