



ПРЕЗИДІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

## ПОСТАНОВА

19.10.2022

м. Київ

№ 311

Моделювання хвильових та турбулентних процесів у плазмі ближнього космосу

Заслухавши та обговоривши доповідь заступника директора Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України члена-кореспондента НАН України О.К.Черемних «Моделювання хвильових та турбулентних процесів у плазмі ближнього космосу», Президія НАН України наголошує на важливості та актуальності завдань моделювання колективних процесів у плазмі ближнього космосу.

Математичне моделювання процесів у ближньому космосі є невід'ємною частиною космічних інформаційних технологій, які також включають моніторинг процесів у ближньому космосі, розроблення методик відбору, ідентифікації та аналізу даних супутникових вимірювань. Моделі процесів в іоносфері та магнітосфері Землі та атмосфері Сонця розробляються з використанням супутникових даних, методів та підходів системного аналізу. Проводиться робота з верифікації розроблених моделей та синтезу спостережних даних і моделей (асиміляція даних). При побудові моделей використовується математичний апарат класичної механіки, звичайної та магнітної гідродинаміки, фізики плазми, а також лінійної алгебри, математичної та нелінійної фізики, методів спектрального аналізу, математичного апарату вейвлет-перетворень.

За цим науковим напрямом в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України отримано низку вагомих результатів. Зокрема, створено моделі поширення акустико-гравітаційних хвиль, які за сучасними уявленнями є одним із домінуючих глобальних хвильових процесів в іоносфері Землі. Виявлено новий вид іоносферних хвиль – еванесцентні хвилі, які мають безперервний спектр і можливість існування яких зазначали раніше запропоновані математичні моделі.

Властивості цих хвиль вивчено спільно з фахівцями Інституту прикладної математики ім.І.Векуа Тбіліського державного університету імені Іване Джавахішвілі.

Спільно з науковцями з Великої Британії та Мексики, а також співробітниками Національного університету імені Тараса Шевченка, Львівського центру Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України розроблено модель, завдяки якій вдалося пояснити результати експериментів щодо інфразвукового впливу на іоносферу. Ці експерименти здійснювали фахівці Львівського центру інституту за участю науковців Інституту іоносфери НАН України та МОН України й Харківського національного університету ім.В.Н.Каразіна.

Для опису магнітогідродинамічних збурень у внутрішній магнітосфері Землі використано метод ейконалу, за допомогою якого розроблено нову модель та досліджено хвильове поширення і стійкість цих збурень. Такі дослідження виявилися актуальними для пояснення результатів наземних вимірів і космічних експериментів, а також для отримання нових та уточнення попередніх результатів щодо стійкості магнітосферної плазми.

У проєкті Європейського космічного агентства та NASA «Кластер» за допомогою чотирьох космічних апаратів вивчались процеси в хвості магнітосфери Землі. Для опису взаємодії потоку плазми сонячного вітру з плазмою хвоста магнітосфери запропоновано використовувати модель, що базувалася на нестійкості Кельвіна – Гельмгольца. Завдяки цій моделі вдалося пояснити виникнення турбулентності в хвості і генерацію пульсацій на нічній стороні магнітосфери, що спостерігаються у експерименті. У розробленні моделі брали участь вчені з Німеччини.

Спільно з науковцями з Великої Британії з використанням енергетичного методу пояснено поведінку сонячних плазмових трубок.

Для визначення особливостей руху одного з найбільших за енергією плазмових утворень у ближньому космосі корональних викидів маси запропоновано використовувати модель вихору Максвелла. Засвідчено, що цей тривимірний вихор описується нелінійним рівнянням Брега – Хотторна. Рішення цього рівняння дало можливість отримати траєкторію такого вихору в потоці сонячного вітру. Отримані результати добре узгоджуються зі спостережними даними.

У рамках міжнародної діяльності з розроблення європейської системи автоматичного прогнозування космічної погоди створено модель для її оперативного короткострокового прогнозування, що за основними показниками є на рівні світових аналогів.

Сьогодні Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України співпрацює з університетом Шеффілда (Велика Британія) у галузі розроблення та верифікації моделей хвильових і турбулентних процесів на Сонці, університетом Мюнхена (Німеччина) щодо дослідження турбулентних процесів у хвості магнітосфери Землі, інститутом Вольфганга Паулі (Австрія), університетами штату Морелос (Мексика) та Шеффілда – дослідження хвильових збурень в іоносфері Землі.

Роботи з математичного моделювання колективних процесів у плазмі ближнього космосу наразі ведуться також у рамках гранту Національного фонду досліджень України, Цільової комплексної програми НАН України з фізики плазми та електроніки й Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2018–2022 рр.

За тематикою дослідження процесів у ближньому космосі протягом останніх десяти років інститут регулярно проводить Британо–Українсько–Іспанські конференції, в яких беруть участь науковці зі Сполучених Штатів Америки, Європи, Азії та Австралії.

Водночас слід зазначити, що в галузі моделювання процесів у ближньому космосі існує ще значна кількість математичних проблем, які потрібно розв'язувати для опису явищ, що спостерігаються, і планування космічних експериментів. Нові математичні підходи, зокрема, потрібні для прогнозування магнітних бур, опису турбулентних та нелінійних плазмових збурень тощо. Важливим є також обмін інформацією з країнами-партнерами Європейського космічного агентства (ESA) та NASA для поповнення баз експериментальних даних та чисельних методів вирішення систем диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Президія НАН України постановляє:

1. Доповідь члена-кореспондента НАН України О.К.Черемних «Моделювання хвильових та турбулентних процесів у плазмі ближнього космосу» взяти до відома, відзначивши важливість виконаних наукових досліджень та вагомість отриманих результатів.

2. Вважати завдання моделювання колективних процесів у плазмі ближнього космосу одним з пріоритетних напрямів наукової діяльності Відділення інформатики НАН України та Відділення фізики і астрономії НАН України.

3. Відділенню інформатики НАН України спільно з Інститутом космічних досліджень НАН України та ДКА України:

3.1. Сприяти посиленню та розширенню наукових досліджень з моделювання колективних процесів у плазмі ближнього космосу з застосуванням інформаційних технологій.

3.2. Активізувати міжнародне співробітництво, зокрема з країнами ЄС та США, у галузі дослідження ближнього космосу, участь у міжнародних космічних проєктах.

3.3. Сприяти проведенню міжнародних конференцій з вивчення ближнього космосу.

3.4. Розглянути можливість створення в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України спільних наукових підрозділів із зарубіжними космічними організаціями.

4. Контроль за виконанням цієї постанови покласти на Відділення інформатики НАН України та Науково-організаційний відділ Президії НАН України.

Президент  
Національної академії наук України  
академік НАН України

**Анатолій ЗАГОРОДНІЙ**

В.о.головного вченого секретаря  
Національної академії наук України  
академік НАН України



**Вячеслав БОГДАНОВ**