

Відгук
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Черняка Олександра Миколайовича
«Перенесення замагнічених частинок у випадкових електричних полях»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.02 — теоретична фізика

Дисертація Черняка О.М. присвячена дослідженню процесів перенесення заряджених частинок у турбулентній плазмі в магнітному полі. В роботі зокрема досліджуються дифузія в просторі швидкостей та координат вздовж магнітного поля, під дією електричного поля за умов маніпулюємих змін фази. Тематика дисертації є актуальною, оскільки повязана з вирішенням проблем утримання та нагрівання плазми, які є серед найважливіших для здійснення керованого термоядерного синтезу. Магнітні поля зазвичай є присутніми в лабораторній та космічній плазмі, тому результати дисертації також можуть бути корисними для розуміння процесів перенесення в таких системах.

В плазмових системах реалізується декілька механізмів перенесення. Найбільш відомим в рівноважній плазмі є механізм класичної дифузії, що відбувається внаслідок головним чином парних зіткнень між частинками. В системах зі складною геометрією магнітного поля, характерною для токамаків, де топологія траєкторій частинок є достатньо складною, реалізується так зване неокласичне перенесення. Крім того існує аномальне перенесення, обумовлене взаємодією частинок з турбулентними електричними полями. В більшості випадків плазма не тільки в природі, але й в лабораторних умовах є нерівноважною. Внаслідок цього в ній збуджуються власні хвилі великої інтенсивності, що значно перевищують тепловий рівень. При таких умовах аномальне перенесення стає домінуючим. В дисертації зроблено акцент саме на такому типі перенесення частинок.

Важливою рисою дисертації є спроба формулювання адекватного способу замикання статистичних рівнянь, що описують двовимірне перенесення замагнічених частинок під дією випадкових електричних полів в широкому діапазоні їх часових кореляцій. У граничному випадку нескінченного часу кореляцій такий підхід відтворює результати, які є притаманними для так званої замороженої турбулентності, коли випадкове поле перетворюється на стало. При цьому перенесення носить характер адвекції. А саме частинки в дрейфовому наближенні, тобто з нульовим ларморівським радіусом, рухаються вздовж сталих в часі еквіпотенційних ліній. Через нескінченність кореляційного часу поля неможливо розділити часові масштаби, як зазвичай це здійснюється при побудові кінетичних теорій. А саме, характерних часів, які відповідають часам кореляцій поля, та еволюції функції розподілу частинок. Крім того, замкненість майже всіх еквіпотенціальних ліній, на які накладаються траєкторії руху частинок в наближенні нульового ларморівського радіусу, призводить до захоплення частинок. Наслідком є те, що асимптотичний коефіцієнт дифузії частинок в сталому полі має

дорівнювати нулю, тоді як при збільшенні часів кореляцій випадкових полів до він, навпаки, має асимптотично прямувати до нескінченності. Відсутність граничного переходу складає проблему, яка вимагає вирішення. Перенесення частинок в сталому полі в дрейфовому наближенні саме розглядається в перших двох розділах дисертації.

В першому розділі сформульовано новий метод замикання статистичних рівнянь, а також зроблено огляд альтернативних методів, а саме – Корсіна, та декорельзованих траекторій. Припущення Корсіна найчастіше застосовується різними дослідниками при формулуванні статистичних рівнянь. Метод декорельзованих траекторій, був застосований для опису процесів аномального перенесення в широкому інтервалі кореляційних часів. Як виявилося, саме цей метод веде до результатів, які є найближчими до отриманих до методом, запропонованим в дисертації.

В другому розділі випадкове електричне поле було задане в явному модельному вигляді, і на основі відповідних аналітичних моделей було розраховано основні статистичні характеристики ансамблю частинок, такі, як лагранжева кореляційна функція, коефіцієнт дифузії та середньоквадратичне зміщення. В роботі було проведено числове моделювання руху частинок за тих самих умов, які накладалися при формулуванні аналітичної моделі. Саме дані числового моделювання використовувалися автором для порівняння із отриманими модельними аналітичними результатами. Порівняння результатів безпосереднього числового моделювання з розв'язками статистичних рівнянь, як сформульованих в роботі, так і тих, що широко використовуються в альтернативних підходах (методи Корсіна та декорельзованих траекторій) дозволило зробити висновок про певні переваги запропонованого дисертантом підходу.

В третьому розділі рух частинок розглянуті керуючі рівняння, сформульовані в дрейфовому наближенні з урахуванням впливу ефектів скінченного ларморівського радіусу. Випадкове електричне поле покладалось сталим. Внаслідок лармового обертання траекторії руху не тільки самих частинок, але також їх ведучих центрів не співпадали з еквіпотенціальними поверхнями. Виявилося, що коефіцієнт дифузії при цьому стає відмінним від нуля. При побудові узагальнених рівнянь виконувалось усереднення руху частинок за циклотронним обертанням. В дисертації порівнювались два способи побудови кореляційної функції поля. Априорі не було достатньо аргументованих підстав визначити який спосіб є більш адекватним. В першому випадку спочатку виконувалось гіроусереднення полів, а потім будувалась їхня кореляційна функція. В другому – гіроусереднення виконувалось вже після знаходження кореляційної функції. Формально, різниця між двома процедурами була якісною і полягала в тому, що інтегральне ядро містило або додатну, або знакозмінну функцію. Автор виконав розрахунки статистичних характеристик в широкому діапазоні лармівських радіусів, що було досить громіздкою задачею через необхідність інтегрування осцилюючої функції. Порівняння розв'язків статистичних рівнянь з результатами безпосереднього числового моделювання показало, що перший спосіб усереднення є більш коректним, причому, як в області малих так і великих лармівських радіусів. В роботі описується наступний ефект

– на початку еволюції інтенсивнішою є дифузія ведучих центрів частинок з малими ларморівськими радіусами, а з часом ситуація змінювалась на протилежну.

В четвертому розділі розглянуто дифузію у випадкових електричних полях, фаза яких змінюється з часом за завданням законом. Були виявлені умови експоненційного загасання кореляційної функції з часом. Запропонований метод замикання рівнянь в широкому діапазоні кореляційних часів, показав узгодженням розв'язків аналітичних рівнянь з результатами числового моделювання. Були відтворені відомі граничні режими дифузії в області малих та великих кореляційних часів, які сильно відрізняються залежністю від часу кореляції. За допомогою числового моделювання досліджено дифузію та нагрівання частинок під впливом електричних хвиль зі завданою зміною фаз, що рухаються вздовж магнітного поля. На цьому шляху було виявлено можливість нагрівання нерезонансних частинок, обумовленого саме моделюемою зміною фаз хвиль.

До найбільш суттєвих результатів дисертації можна віднести:

1 Метод замикання статистичних рівнянь, що в рамках єдиної моделі дозволяє описати перенесення частинок поперек магнітного поля під впливом випадкових електричних полів, як внаслідок механізму адвекції так і дифузії. У порівнянні з результатами числового моделювання та відомими методами Корсіна і декорельзованих траєкторій він показує свою достатню ефективність .

2 Розрахунки на основі цього методу коефіцієнту дифузії частинок, в широкому діапазоні кореляційних часів із відтворенням граничних режимів ,зокрема, квазілінійного та перколоційного.

3. Розв'язки статистичних рівнянь, з врахуванням ефекту скінченного ларморівського радіусу, які добре узгоджуються з даними прямого числового моделювання.

4. Модель електричних хвиль із моделюемими змінами фази яка показує можливість ефективної розігрівлі .

До дисертаційної роботи є деякі зауваження та побажання.

1.Було доцільно привести хоча б деякі експериментальні дані у порівнянні із отриманими в роботі шляхом чисельно та аналітичного моделювання.

2.Варто було б привести порівняння отриманих результатів із висновками,зробленими із використанням моделі фракційної дифузії.

3. В дисертації розглянуто ізотропне поле, що є ідеалізацією реальних плазмових систем. Варто було б пояснити, чи може запропонований метод використовуватись для неізотропних систем.

4.Варто було б детальніше пояснити, чи залежить ефект нагріву від вибору моделі, яка описує характер зміни фаз хвиль.

5. Робота містить деякі стилістичні недоліки.Зокрема в формулі (1.2) введено мікрокопічну функцію розподілу $F(x,t)$, а в формулі (1.3) з'являється $f(x,t)$, зв'язок якої із

$F(x,t)$ не визначено. На Рис. 4.1 — 4.5, 4.7 — 4.8 та 4.13 — 4.18 використовуються англійські слова. А також, деякі інші.

Зроблені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Результати дисертаційної роботи Черняка О.М. «Перенесення замагнічених частинок у випадкових електричних полях» повністю опубліковані у 7 статтях у фахових наукових виданнях та матеріалах міжнародних та національних конференцій. Автореферат дисертації повністю відображає зміст дисертації, основні результати та висновки, ступінь їх наукової новизни.

Дисертація є закінченою об'ємною роботою, що виконана самостійно на гідному науковому рівні. Виконані наукові дослідження сприяють вирішенню актуальної проблеми аномального перенесення заряджених частинок в магнітному полі. Задіяні методи досліджень є адекватними до розглянутих задач та достатньо апробованими. Представлені в роботі результати дослідження достовірні, висновки та наукові положення чітко сформульовані та достатньо обґрунтовані.

Дисертація Черняка Олександра Миколайовича «Перенесення замагнічених частинок у випадкових електричних полях» задовільняє усім вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Черняк Олександр Миколайович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 — теоретична фізика.

Офіційний опонент

Герасимов Олег Іванович

доктор фіз.-мат. наук, професор

Одеський державний екологічний університет м. Одеса
завідувач кафедри загальній та теоретичної фізики

Підпис Герасимова О.І. (захар'яю)

Вчений секретар ОДЕКУ Павленко О.П.



O.I.
Gru