

## Відгук офіційного опонента

на дисертаційну роботу Черняка Олександра Миколайовича "Перенесення замагнічених частинок у випадковому електричному полі", подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

І лабораторна, й космічна плазма, як правило, є термодинамічно нерівноважною. Тому в ній можуть розвиватися різноманітні нестійкості, що приводять до збудження численних типів хвиль. Нелінійна взаємодія останніх приводить до турбулентної динаміки плазми. Остання, в свою чергу, може радикально змінити картину перенесення частинок – дифузія в плазмі пабуває аномального характеру. Розуміння особливостей аномальної дифузії особливо важливе для плазми, що утримується в різноманітних частках, починаючи з магнітних часток для термоядерної плазми й закінчуючи, наприклад, радіаційними поясами Землі. Таким чином, тема дисертації О.М. Черняка, присвяченої дифузії частинок замагніченої плазми під впливом стохастичних електричних полів, є, поза сумнівом, актуальною. Ця дисертація підготовлена в рамках цілого ряду тем, які виконувалися в Інституті теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова ІАН України, починаючи з 2008 року й дотепер.

Метою своєї роботи дисертант вважає побудову аналітичного методу опису перенесення частинок у просторі перпендикулярно до магнітного поля, чинного в широкому діапазоні параметрів моделі. Для перевірки аналітичних розрахунків потрібно було також створити програму числового моделювання процесів перенесення частинок.

Дисертація включає вступ, чотири розділи, висновки та список літератури.

Перший розділ являє собою огляд літератури, присвяченої наближеним аналітичним методам опису перенесення частинок у заданих стохастичних полях. Основну увагу приділено наближенню Корсіна та методу декорельованих траєкторій. Розділ включає також опис так званого методу моментів, розробленого за участю автора. Цей метод має ряд переваг порівняно із запропонованими раніше: він не потребує вільних параметрів, не використовує припущення про гаусівський розподіл зсувів частинок, є простішим порівняно з методом декорельованих траєкторій.

У другому розділі досліджено перенесення частинок у статичному електричному полі, що випадково змінюється в просторі. Рух частинок розглядається в наближенні провідного центра. Сформульовано, зокрема, наближення моментами з підасамблями частинок, які відповідають різним значенням потенціалу.

Третій розділ також присвячено перенесенню частинок у статичному електричному полі, що випадково змінюється в просторі. Але тут автор відходить від наближення провідного центра і враховує ефекти, зумовлені скінченням величиною ларморовського радіусу. Показано, що поведінка частинок з малим та великим ларморовськими радіусами помітно відрізняється.

Четвертий розділ роботи є, на мою думку, найбільш цікавим. У ньому отримані раніше результати узагальнюються на випадок електричних полів, які стохастично змінюються як у просторі, так і в часі. Зокрема, детально аналізується поперечне та поздовжнє щодо магнітного поля перенесення частинок хвилями з випадковими стрибками фази, а також випадковими послідовностями імпульсів. Досліджується також нагрівання частинок такими електричними полями.

У висновках сформульовано основні результати роботи.

Новизна результатів дисертаційної роботи визначається тим, що в ній уперше:

- отримані рівняння, що описують часову еволюцію статистичних характеристик руху частинок перпендикулярно до зовнішнього магнітного поля під дією стохастичного електричного поля; вони мають ряд переваг порівняно із запропонованими раніше методами опису подібних процесів;

- ці рівняння узагальнені на випадок скінченного ларморівського радіусу; показано, що їхні розв'язки узгоджуються з результатами моделювання як для малих, так і для великих ларморівських радіусів;
- згадані вище рівняння узагальнені також на випадок нестационарних випадкових полів; отримано асимптотичні коефіцієнти дифузії для різних часів кореляції в системі; показано, що запропоновані рівняння правильно описують випадки як малих (квазілінійний режим), так і великих (перколяційний режим) кореляційних часів;
- досліджено нагрівання частинок хвилями зі стрибками фаз, а також стохастичними послідовностями імпульсів електричного поля; показано, що стрибки фази підвищують інтенсивність нагрівання резонансних частинок, а також забезпечують нагрівання нерезонансних частинок у широкому діапазоні їхніх початкових швидкостей.

На мою думку, самостійну цінність являють також результати числового моделювання процесів перенесення, наведені в дисертації.

Практична цінність результатів дисертації пов'язана з тим, що вони є помітним внеском до теоретичного опису процесів перенесення заряджених частинок, утримуваних магнітним полем, під дією випадкових електричних полів. Результати роботи можуть бути використані при плануванні та інтерпретації результатів відповідних експериментів. Зокрема, це стосується експериментальних досліджень газового розряду в полях із випадковими стрибками фази, які проводяться в Інституті плазмової електроніки та нових методів прискорення ННЦ ХФТІ.

Наукові положення дисертації, її основні висновки та рекомендації виглядають достатньою мірою обґрунтованими та достовірними. Цей висновок зумовлений використанням у дисертаційній роботі добре апробованих методів теоретичної та математичної фізики, а також комп'ютерного моделювання плазмових процесів. Запорукою обґрунтованості основних положень дисертації є також широка апробація її результатів на національних та міжнародних наукових конференціях протягом 2010-2018 рр.

Вважаю, що дисертаційна робота О.М.Черняка засвідчує високу кваліфікацію її автора в галузі теоретичної фізики, володіння ним як методами аналітичних розрахунків, так і методами комп'ютерного моделювання.

Результати дисертаційної роботи з достатньою повнотою викладені у 7 статтях у наукових фахових виданнях (Ukrainian Journal of Physics, Problems of Atomic Science and Technology).

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

До дисертації можна висловити окремі зауваження та побажання.

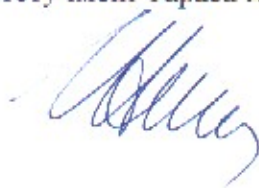
1. Хоча проблема аномальної дифузії обговорюється в контексті плазмової турбулентності, з тексту дисертації не видно, як обрані автором моделі стохастичних полів співвідносяться з реальними полями в турбулентній плазмі. Це особливо стосується розділів 2-3, де розглядаються стаціонарні електричні поля, які випадково змінюються в просторі.
2. Результати аналітичних розрахунків, виконаних автором, порівнюються лише з результатами виконаного ним же числового моделювання. Хотілося б бачити хоч якийсь порівняння з лабораторним експериментом.
3. В оформленні дисертації є ряд недоліків. Трапляються неточні формулювання (наприклад, у вступі, говорячи про процеси перенесення, автор має на увазі виключно перенесення частинок, забуваючи про перенесення енергії та імпульсу), кальки з російської (наприклад, "ведучий центр" замість "провідний центр") та англійської ("ефект скінченного ларморівського радіуса" замість "вплив скінченного ларморівського радіуса") мов у термінології, граматичні та орфографічні помилки, описки. На деяких рисунках окремі криві не проглядаються (рис. 3.4) або за легендою не можна розрізнити різні криві (рис. 3.7 - 3.8).

Втім, указані недоліки не впливають на загальну високу оцінку роботи.

Підсумовуючи викладене вище, вважаю, що за обсягом і рівнем наукових результатів, кількістю та якістю публікацій робота О.М.Черняка "Перенесення замагнічених частинок у випадковому електричному полі" відповідає вимогам чинних нормативних документів до

кандидатських дисертацій, а її автор цілком заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Доктор фізико-математичних наук, професор,  
декан факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка



I.O. Анісімов

