

Відгук офіційного опонента

на дисертаційну роботу Момота Андрія Івановича

«Ефективні взаємодії та флуктуації

у запырошеній слабкоіонізованій плазмі»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Запырошена плазма зустрічається як у природних, так і лабораторних умовах. Інтерес до експериментально вивчення запырошеної плазми зокрема обумовлений тим, що заряджені порошинки у плазмі можуть утворювати систему із сильним зв'язком. У такій системі спостерігається низка цікавих явищ, зокрема утворення впорядкованих структур та поширення хвиль, які пов'язані з рухом порошинок. Ці явища визначаються взаємодією між порошинками, але оскільки взаємодія відбувається у плазмовому оточенні, то вона називається ефективною. Для моделювання та теоретичного описання підсистеми порошинок необхідні аналітичні вирази для ефективного потенціалу порошинок та сили взаємодії між ними. Складність отримання таких виразів пов'язана з необхідністю враховувати плазмові потоки, які виникають через адсорбцію порошиною електронів та іонів, а також зіткнення між компонентами запырошеної плазми. Тому важливим є детальне вивчення ефективної взаємодії та потенціалів порошинок у слабкоіонізованій плазмі, а тема дисертаційного дослідження Момота А.І. безумовно є актуальною. Матеріали дисертації є частиною науково-дослідних робіт, які виконувались в рамках держбюджетних тем та міжнародних проектів на кафедрі фізики функціональних матеріалів фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, а також відділу теорії та моделювання плазмових процесів та відділу синергетики Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України.

Дисертація включає вступ, п'ять розділів, висновки та список літератури.

У вступі обгрунтовано актуальність теми роботи, розкрито її зв'язок із науковими програмами, планами та темами, сформульована мета та

перелічені завдання дослідження, визначені об'єкт та предмет дослідження, коротко описані методи дослідження, представлені його наукова новизна, особистий внесок здобувача, апробація результатів, перелічені публікації за темою дисертації.

Перший розділ містить огляд літератури. В ньому, зокрема, висвітлені параметри заповненої плазми та теоретичні підходи до її описання. Представлений формалізм імовірності переходу, який використовується для розв'язання кінетичного рівняння і дослідження діелектричного відгуку плазми.

Другий розділ присвячено вивченню ефективного потенціалу порошинки у слабоіонізованій плазмі. Дослідження виконані як для довільних довжин вільного пробігу електронів та іонів, так і для довжин пробігу, які є набагато меншими за розміри порошинки (плазма з частими зіткненнями). У першому випадку, на основі кінетичного підходу з моделлю точкових стоків, отримані аналітичні вирази для ефективного потенціалу, а у другому потенціал розраховано чисельно в рамках континуального наближення. Також досліджено потенціал порошинки у плазмі в зовнішньому постійному магнітному полі. На відміну від попередніх досліджень, у яких кінетичний опис використовувався для випадку плазми без зіткнень, в дисертації уперше розвинуто кінетичну теорію заповненої плазми, яка враховує зіткнення електронів та іонів з нейтральними частинками. Опис поглинання плазмових частинок порошинкою виконується шляхом введення ефективних точкових стоків у кінетичне рівняння. Знайдено аналітичні вирази для ефективного потенціалу порошинки у плазмі в тому числі у зовнішньому постійному магнітному або електричному полі. Також вперше показано, що в рамках дрейфово-дифузійного наближення потенціал порошинки з точністю до кількох відсотків можна описати суперпозицією кулонівського потенціалу і потенціалу Дебая з масштабованою довжиною екранування, яка значно більша за довжину Дебая.

У третьому розділі представлено числовий розв'язок задачі про взаємодію двох однакових сферичних макрочастинок. Розглянуто

макрочастинки заряди яких є заданим, а також макрочастинки заряди яких виникають в результаті адсорбції електронів та іонів плазми поверхнею частинок. Перший випадок відповідає колоїдним суспензіям, а другий – порошинкам у плазмі. Показано, що на великих відстанях сила відштовхування між колоїдними частинками має асимптоту Дебая, а взаємодію між порошинками можна описати силою Кулона з ефективним зарядом. На малих відстанях спостерігаються поляризаційні ефекти і зменшення повного заряду порошинок, тому для того щоб розрахувати силу взаємодії між двома макрочастинками на малих і середніх відстанях, необхідно розв'язувати самоузгоджену систему рівнянь для електростатичного потенціалу, розподілу плазмових частинок та заряду порошинок.

Четвертий розділ присвячено дослідженню сили, яка діє на порошинку, що стаціонарно рухається у слабкоіонізованій плазмі, тобто сили тертя. Окрім сили, яка діє на порошинку внаслідок зіткнень з нейтральними частинками, на заряджену порошинку діє сила збоку поляризованих нею об'ємних зарядів у плазмі. Виявилось, що у слабкоіонізованій плазмі з частими зіткненнями така сила прискорює рухому порошинку. У цьому розділі отримані як аналітичні вирази для сили, так і виконані числові розрахунки. Крім того досліджено потенціал порошинки в плазмі у зовнішньому постійному електричному полі.

У п'ятому розділі досліджено флуктуації електронної густини, на основі теорії великомасштабних флуктуацій, та іонно-звукові хвилі у заповненій слабкоіонізованій плазмі. Вивчено вплив флуктуацій заряду порошинок та зіткнень електронів та іонів з нейтральними частинками на спектри флуктуацій та дисперсію і загасання іонно-звукових хвиль. Показано, що зіткнення електронів та іонів з порошинками, а також флуктуації заряду порошинок, є додатковими механізмами дисипації енергії іонно-звукових хвиль і призводять до суттєвого зростання модуля декременту загасання. З'ясовано, що присутність порошинок зі змінним зарядом суттєво впливає на спектри флуктуацій електронної густини. Основними факторами цього впливу є: зменшення у заповненій плазмі

концентрації електронів по відношенню до концентрації іонів, збільшення частоти зіткнень іонів, через зіткнення з порошинками і флуктуації заряду порошинок.

Також досліджені флуктуації і хвилі у звичайній плазмі, яка знаходиться у зовнішньому постійному електричному полі. Узагальнено кінетичну теорію великомасштабних флуктуацій у плазмі на випадок присутності зовнішнього електричного поля з урахуванням зіткнень заряджених частинок з нейтральними.

Отримані в дисертації результати мають цінність для теорії заповненої плазми. Зокрема, аналітичні вирази для потенціалу можуть бути використані для моделювання структур з порошинок, які утворюються у плазмі. Аналіз спектрів флуктуацій можна використовувати для визначення параметрів заповненої плазми.

Наукові положення дисертаційної роботи та її основні висновки виглядають достатньою мірою обґрунтованими та достовірними. Це обумовлено коректним використанням у дисертації добре апробованих теоретичних та числових методів. Перевагою роботи є використання аналітичного та числового підходів, які узгоджуються між собою та доповнюють один одного.

До дисертації можна висловити окремі зауваження та побажання.

1. Деякі припущення, які дозволяють робити більш повний аналітичний опис, можна було б обґрунтувати більш детально. Так, наприклад, у п'ятому розділі припущення, що впливом великомасштабних флуктуацій на формування стаціонарного розподілу можна знехтувати, на мій погляд не є очевидним.
2. В дисертації, також, не завжди чітко вказується, які результати належать саме дисертанту, особливо у спільних роботах із його співавторами.
3. На мою думку слід було б приділити більшу увагу коментуванню результатів, отриманих чисельними методами.

Втім, наведені зауваження не впливають на загальну високу оцінку роботи.

Результати дисертаційної роботи викладено в монографії та 21 статті у наукових фахових виданнях: «Physical Review E», «Physics of Plasmas», «Contributions to Plasma Physics», «Europhysics Letters», «Physica Scripta», «Питання атомної науки і техніки, серія Фізика плазми», «Український фізичний журнал», «ЖЭТФ» та «Письма ЖЭТФ». Слід відмітити, що п'ять статей є одноосібними. Основні результати дисертації є апробованими, вони доповідались на міжнародних наукових конференціях як за кордоном так і в Україні.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

Підсумовуючи викладене вище, вважаю, що дисертація Момота А.І. «Ефективні взаємодії та флуктуації у запыошеній слабкоіонізованій плазмі» є завершеною науково-дослідною роботою. Отримані автором нові науково обгрунтовані результати розв'язують низку важливих та актуальних проблем теорії ефективних взаємодій та флуктуацій у запыошеній плазмі, що має істотне значення для теоретичної фізики. За обсягом і рівнем отриманих наукових результатів, кількістю та якістю публікацій робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор цілком заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент,

доктор фізико-математичних наук, головний науковий співробітник
відділу математичної фізики
Інституту математики НАН України

О.Л. Ребенко

«22» 11 2019 р.

Підпис О.Л. Ребенка засвідчую:

Учений секретар

Інституту математики НАН України

кандидат фізико-математичних наук



І.В. Соколенко.