

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Литвиненка Дмитра Михайловича**

«Статистична теорія систем заряджених частинок над поверхнею діелектриків»,  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних  
наук за спеціальністю **01.04.02 – теоретична фізика.**

**Актуальність обраної теми.** У дисертаційній роботі розроблений послідовний підхід для опису систем заряджених фермі-частинок над поверхнею діелектриків. Розвиток теорії зумовлений активними експериментальними й теоретичними дослідженнями критичних явищ у системах електронів над поверхнею рідкого гелію. Період досліджень таких явищ є досить тривалим, однак теоретичні підходи для опису таких систем мають феноменологічну основу, пов'язану з уявленнями про відокремлений заряд над поверхнею діелектрика. У випадку опису системи багатьох частинок ці уявлення реалізуються за допомогою модельних потенціалів, які залежать від підгінних параметрів. Побудована у дисертаційній роботі мікроскопічна теорія очікувано не має таких недоліків, оскільки виходить із перших принципів статистичної фізики і дозволяє послідовно описати рівноважний стан зазначених вище систем. Крім того, побудована теорія дає можливість опису фазових перетворень у таких системах, наслідком яких є формування просторово-періодичних структур типу лункових кристалів. Зазначені обставини й зумовлюють **актуальність** теми дисертаційної роботи Литвиненка Д.М. Також загальнонаукова і практична **актуальність** досліджень, викладених у дисертаційній роботі підтверджується тим, що вони виконувались у рамках НДР з атомної науки і техніки Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» за темами і програмами, у яких здобувач був виконавцем, за номерами державної реєстрації 080906UP0010 (2006-2010), 0111U009549 (2011-2015), 0116U007065 (2016-2020), 0109U006375 (2009-2010).

**Основні результати дисертаційної роботи є новими.** На мій погляд найбільш вагомими результатами є, власне, сама побудова нефеноменологічної статистичної теорії опису системи заряджених ферміонів над поверхнею рідкого діелектрика у зовнішньому електричному полі, а також формулювання варіаційного принципу, який дозволяє здобути систему рівнянь самоузгодження для опису рівноважного стану такої системи. Застосування теорії, побудованої на перших принципах статистичної механіки, дало можливість здобути такі цікаві результати, як рівняння критичної поверхні фазового переходу до просторово-періодичного стану системи у просторі критичних параметрів фазового перетворення (температури, зовнішнього електричного поля, кількістю зарядів над одиницею площі поверхні діелектрика). Дане рівняння визначає зв'язок між критичними параметрами фазового перетворення й окреслює головне наближення теорії збурень, в рамках якої розв'язуються рівняння самоузгодження із знаходженням виразу для збуреного профілю поверхні діелектрика - параметра

порядку фазового перетворення поблизу критичної поверхні. Слід відзначити також добре кількісне узгодження здобутих значень для критичних параметрів із експериментальними даними реєстрації лункових кристалів у системі електронів над рідким гелієм. Проведений у термінах викладеного підходу аналіз характеристик системи в залежності від товщини плівки рідкого гелію показав, що для відносно тонких плівок їх ефективна товщина слабо залежить від величини притискуючого поля, що також узгоджується із результатами експериментів.

**Наукові положення дисертації, її висновки ретельно обґрунтовані.** Дисертація виконана на високому теоретичному рівні і для досягнення поставлених у дисертаційній роботі цілей її автором залучено сучасні методи теоретичної й математичної фізики.

**Наукові положення дисертації, її висновки у повній мірі викладені в 6 опублікованих статтях у фахових виданнях та 9 тезах доповідей на конференціях,** що свідчить про достатній рівень апробації результатів дисертації.

**Автореферат вірно відображає зміст дисертації,** яка написана логічно і зрозуміло.

**Наукове й практичне значення отриманих результатів** полягає у розробці послідовного мікроскопічного підходу до опису системи заряджених частинок над поверхнею діелектриків, який можна застосувати не тільки для опису системи електронів над поверхнею рідкого гелію, а й для опису інших систем, таких, наприклад, як важкі іони у гравітаційному полі над поверхнею діелектриків. Згадана система може слугувати моделлю для вивчення просторових розподілів «левітуючого» радіаційного пилу над діелектричною поверхнею. Результати дисертаційної роботи Литвиненка Д.М. можна рекомендувати для використання при читанні лекцій із фізико-математичних дисциплін у вищих навчальних закладах, а також при проведенні досліджень у профільних наукових установах.

Дисертація представлена на 153 сторінках і містить вступ, чотири розділи (22 рисунки у тексті), висновки та список використаних джерел із 90 найменувань на 8 сторінках, додаток на 3 сторінках. У **вступі** обґрунтовується вибір і актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету й основні задачі дослідження, методи й теоретичні основи розв'язання цих задач, розкрито наукову новизну положень, які виносяться на захист, визначено наукову й практичну цінність проведених досліджень. У **першому розділі** зроблено огляд наукової літератури, пов'язаної з вивченням систем зарядів над поверхнею діелектриків. Зважаючи на недосконалість існуючих досі підходів пояснено мотивацію побудови послідовної мікроскопічної теорії, яка позбавлена недоліків наявних напрацювань. У **другому розділі** сформульовано варіаційний принцип, в результаті реалізації якого здобуті рівняння опису рівноважного стану зазначеної

системи. Також описано очікуваний сценарій фазового переходу з утворенням просторово-періодичних структур у системі, коли при досягненні зовнішнім електричним полем деякого критичного значення і починають формуватися такі структури. У **третьому розділі** досліджено систему зарядів над плоскою поверхнею діелектричної плівки, як у випадку квазінейтральної системи, так і у випадку зарядженої системи. Дослідження проводилось з виходом за межі статистики Больцмана, граничним випадком якого є невідроджений фермі-газ зарядів. Частина розділу присвячено розгляду характеристик такої системи у випадку тонкої діелектричної плівки. У **четвертому розділі** досліджено критичні параметри фазового переходу системи зарядів над поверхнею рідкого діелектрика до просторово періодичних угруповань у одномірному випадку. Отримано рівняння критичної поверхні фазового переходу в узагальненому просторі критичних параметрів. Здобуто вираз для параметра порядку фазового переходу - амплітуди просторово-періодичного збурення профілю поверхні рідкого діелектрика для макроскопічних структур одноперіодичного типу.

### **Однак до змісту дисертації можна висловити наступні зауваження:**

1. Рівняння самоузгодження у другому розділі здобуто у загальному вигляді, поза межами теорії збурень за параметром порядку, малим у порівнянні з рівноважним значенням профілю поверхні і товщиною гелієвої плівки. Зважаючи на це, використання теорії збурень в околі фазового переходу є необов'язковим, і залучення чисельних розрахунків дозволило би віднаходити нелінійні розв'язки системи рівнянь самоузгодження, тим самим надаючи опис розвинутих просторово-періодичних структур для більш коректного порівняння з експериментальними даними.
2. У другому розділі сформульовано сценарій фазового переходу системи до стану з просторово-періодичними упорядкуваннями, причому пошук розв'язків виконувався в одновимірному випадку. Здається, що уникнути у подальшому виправдання застосування саме одновимірного випадку можна було б шляхом закладення одновимірності у геометрію системи або у вигляді потенціалу зовнішнього поля.
3. Деякі визначення, що даються у третьому розділі дисертаційної роботи, дублюються, зокрема, визначення повного числа зарядів над поверхнею – формули (3.26) та (3.41), визначення полілогарифмічної функції – (3.39) і (3.70) та визначення частки зарядів від їх повного числа, що знаходяться нижче відстані  $z$  від поверхні діелектрика – формули (3.63) і (3.88). Можна було б без втрати послідовності викладення уникнути дублікатів формул, використовуючи відповідні посилання.

Однак, на мій погляд, наведені зауваження мають, скоріше, характер побажань і **не знижують цінності роботи і не впливають на обґрунтованість положень**, що виносяться на захист, залишаючи загальне позитивне враження від дисертації.

На основі викладених міркувань можна зробити висновок, що рецензована дисертаційна робота є закінченим, професійно виконаним дослідженням, в якому

було здобуто нові достовірні теоретичні результати й проведено їх кваліфікований аналіз. Результати дисертаційної роботи в повному обсязі опубліковано в 6 статтях у наукових журналах й апробовано на міжнародних фізичних конференціях. Автореферат вірно відображує зміст дисертації та здобуті наукові результати. У відповідності із зазначеним вважаю, що дисертаційна робота «Статистична теорія систем заряджених частинок над поверхнею діелектриків» відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р., № 567 від 27.07.2016 р.), а її автор, Литвиненко Дмитро Михайлович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач відділу теорії конденсованого стану  
речовини, Інститут монокристалів НАН України



В.В. Яновський

Підпис В.В. Яновського засвідчую:

Вчений секретар

Ін. монокристалів НАН України, к.ф.-м.н



К.М.Кулик