Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій
(повне найменування інституту/факультету)

Кафедра теоретичної фізики та астрономії
(повна назва кафедри)

Дипломна робота

магістра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **«Модель багатокрокової електричної перколяції в дисперсних системах»**

«A model for many-step electrical percolation in disperse systems»

Виконав: студент денної форми навчання
спеціальність: 104- Фізика та астрономія
Кулик Володимир Петрович

Керівник к.ф.-м.н., доц. Сушко М.Я. _____

Рецензент д.ф.-м.н., доц. Лисенков Е.А.

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
№ __ від ___.___.2019 р.

Завідувач кафедри

_____ Адамян В.М.
(підпис)

Захищено на засіданні ЕК № __
протокол № __ від ___.___.2019 р.
Оцінка_____/___ ___/_____
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Голова ЕК

_____ Шевчук В.Г.
(підпис)

Одеса – 2019

ЗМІСТ

ВСТУП

Композитні матеріали широко використовуються в найрізноманітніших галузях техніки і промисловості, оскільки мають унікальні електричні, теплові та механічні властивості, які відсутні у чистих речовин [1]. Незважаючи на величезну кількість експериментальних робіт, надійні теоретичні моделі, які описують властивості таких систем, залишаються малочисельними. Одним із найважливіших напрямків дослідження є вивчення особливостей поведінки електрофізичних характеристик дисперсно-подібних композитів типу діелектрик – провідник.

Ціллю даної роботи є узагальнення моделі електричної провідності дисперсних систем частинок типу тверде ядро – проникна оболонка для опису явища багатокрокової електричної перколяції в них та практичних застосувань теорії.

Класична теорії перколяції будується для ідеалізованих двокомпонентних моделях систем частинок з правильною геометричною формою. Переважна більшість результатів отримана числовими методами. Теорія повністю ігнорує виникнення міжфазних областей, які суттєво визначають провідність системи. Вона також не передбачає виникнення подвійної та потрійної перколяції і неспроможна пояснити електричну поведінку реальних невпорядкованих систем [2]. Експериментально вимірювані значення критичних індексів суттєво відрізняються від теоретично передбачуваних.

Адекватна модель перколяції в реальних системах потребує взяття до уваги впливу міжфазних ефектів на перколяційну поведінку системи та врахування багаточастинкових ефектів, відповідальних за утворення перколяційного кластеру. Така можливість відкривається при використанні моделі електричної провідності, що базується на методі компактних груп

неоднорідностей [3]. Метод дозволяє ефективно аналізувати електричні характеристики в дрібнодисперсних системах без деталізації процесів взаємної поляризації та кореляцій частинок.

У запропонованій роботі ми узагальнюємо модель [4] на випадок багатошарової міжфазної оболонки, вивчаємо особливості поведінки електричної провідності та діелектричної проникності в такій моделі, встановлюємо умови виникнення багатокрокової перколяції, зокрема положення порогів перколяції, та оцінюємо значення ефективних критичних індексів. Отримані результати застосовуємо до аналізу для провідності реальних дисперсних систем парафін – графіт [5], епоксидна смола – вуглецеві частинки [6].

Структура роботи наступна. В першому розділі дається огляд основних понять теорії перколяції, результатів модельних експериментів та типові значення критичних індексів. Досліджувана модель дисперсних систем частинок типу тверде ядро – проникна багатошарова оболонка вводиться в другому розділі. Детальному вивченню властивостей моделі присвячено третій розділ. У четвертому розділ розглядається застосування моделі до реальних дисперсних систем. Основні результати роботи сформульовано в розділі висновки.

ВИСНОВКИ

1. Модель дисперсної системи як сукупності частинок типу тверде ядро - багатошарові проникні оболонки спроможна описати виникнення багатокрокової електричної перколяції та дозволяє оцінити пороги електричної перколяції через відносні товщини шарів. Ефективні критичні індекси провідності в такій моделі не є універсальними, а залежать від різних факторів, зокрема провідності матриці, співвідношень між провідностями компонентів, та способу обробки експериментальних даних.

2. Значення діелектричної проникності в околах порогів перколяцій суттєво зростають, демонструючи пікоподібну поведінку. Основний внесок у формування максимумів діелектричної проникності системи визначаються провідністю та діелектричною проникністю шарів, що формують перколяційний кластер.

3. Запропонована теорія застосовна до опису реальних дисперсних систем зі складною мікроструктурою. Зокрема, вона дозволяє описати концентраційну залежність провідності систем парафін – графіт [5] та епоксидна смола – вуглецеві частинки [6].

ЛІТЕРАТУРА

1. Электронные свойства легированных полупроводников Б. И. Шкловский, А. Ф. Эфрос – М.: Наука, Главная редакция физико –математической литературы , 1979. – 416с.
2. Tomylko S., Yaroshchuk O., Lebovka N. Two-step electrical percolation in nematic liquid crystals filled with multiwalled carbon nanotubes// Phys. Rev. E 92, 012502 (2015)
3. Сушко М.Я., Криськив С.К. Метод компактных групп в теории диэлектрической проницаемости гетерогенных систем // ЖТФ.-2009.- Т.79 В.3.-С. 97.
4. Sushko M.Ya., Semenov A.K. Conductivity and permittivity of dispersed systems with penetrable particle-host interphase // Cond. Matter Phys.-2013.- V16 No.1.-P. 1-10.
5. Соцков В.А., Карпенко С.В. Общие закономерности процессов электропроводности в бинарных макросистемах // ЖТП.-2003.-Т.73 в.1.-С. 106-109.
6. The Electronic Transport Properties of the Composites with Nanosized Carbon Fillers, Molecular Crystals and Liquid Crystals [Електронний ресурс] / Lazarenko O., Vovchenko L., Matzui L., Perets Ju.// Taylor & Francis Group, LLC. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://dx.doi.org/10.1080/15421406.2011.538346.
7. Kirkpatrickre S. Percolation and Conduction // Rev. mod. Phys.. – 1973. – №574. – С. 45.
8. Shklovskii B.I., Efros A.L., Percolation theory and conductivity of disordered systems // Uspekhi Fiz. Nauk. – 1975. – №401. – С. 117.
9. Last B. J. and Thouless D.T. Percolation Theory and Electrical Conductivity// Phys. Rev. Letters. – 1971. – №1719. – С. 27.
10. A. L. Efros, B. I. Shklovskii: Critical Behaviour of Conductivity // Phys. stat. sol. (b) – 1976. – №76. – С. 475.

11. Dykhne A. M., // Zh. eksper. teor. Fiz. – 1970. – №111. – C. 69.
12. Webman I., JORTNER J., M. H. Cohen// Phys. Rev. B 11, 2885 (1975).
13. Mott N.F. and Davis E.A. Conduction in non-crystalline systems// Phil. Mag. – 1968. – №1269. – C. 17.
14. Castner T. G., Lee N. K., Cieloszyk G. S., Salinger G. L. Dielectric Anomaly and the Metal-Insulator Transition in n-Type Silicon// Phys. Rev. Letters – 1975. – №1627. – C. 34.
15. Bonch-Bruevich V. L. // Zh. eksper. teor. Fiz. – 1974. – №198. – C. 19.
16. Dubrov V. E., Levinshtein M . E., Shur M. S., // Zh. eksper. teor. Fiz. – 1976. – №2014. – C. 70.
17. Rikvold P., Stell G. D-dimensional interpenetrable-sphere models of random two-phase media: Microstructure and an application to chromatography // J. Coll. and Int. Sci.-1985.-V.108.-P. 158.
18. Соцков В.А. О влиянии контактного сопротивления частиц на интервал перколяции в макронеупорядоченных системах проводник – диэлектрик // ЖТП.-2004.-Т.74 в.11.-С. 107-110.
19. Соцков В.А. Электрофизические характеристики макросистем диэлектрик-проводник, диэлектрик-полупроводник // ЖТП.-2005.-Т. 39 в.2.-С. 269.