

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

(повне найменування вищого навчального закладу)

Фізичний факультет

(повне найменування інституту/факультету)

Кафедра теоретичної фізики та астрономії

## Д и п л о м н а   р о б о т а

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Радіально-симетричні течії ідеальної саморушної рідини»

«Axially-symmetric flows of ideal self-propelling fluid.»

Виконав: студент денної форми навчання  
напряму підготовки 6.040203 Фізика  
Кушнерик Павло Іванович

Керівник д.ф.-м.н., проф. Кулінський В.Л.

Рецензент PhD Ратушна В.І.,

Рекомендовано до захисту:

Протокол засідання кафедри

№ 14 від 08 . 06 . 2017 р.

Захищено на засіданні ЕК № 1

протокол № 32 від 23 . 06 . 2017 р.

Оцінка Відмінно / A / 93  
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Завідувач кафедри

Адамян В.М.

(підпис)

Голова ЕК

Калінчак В.В.

(підпис)

Одеса – 2017

## ЗМІСТ

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                      | 3  |
| 1. ДИНАМІКА СИСТЕМ БАГАТЬОХ ЧАСТИНОК.....       | 5  |
| 1.1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ .....                    | 5  |
| 1.2. СИСТЕМИ САМОРУШІЙНИХ ЧАСТИНОК .....        | 7  |
| 2. ЧИСЕЛЬНІ МОДЕЛІ КОЛЕКТИВНОЇ ДИНАМІКИ.....    | 10 |
| 1.1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ .....                    | 10 |
| 1.2. МОДЕЛЬ ВІЧЕКА.....                         | 10 |
| 3. РІВНЯННЯ ІДЕАЛЬНОЇ САМОРУШІЙНОЇ РІДИНИ ..... | 14 |
| 4. РЕЗУЛЬТАТИ.....                              | 19 |
| ВИСНОВКИ .....                                  | 22 |
| ЛІТЕРАТУРА.....                                 | 23 |

## ВТСУП

У природі існує безмежне різноманіття взаємодій між живими істотами. Однак багаторічні спостереження показали, що всі живі організми, збираючись в групи, демонструють особливий клас групової взаємодії, в результаті чого було виділено окремий напрямок в біології, що вивчає цей феномен. Колективна поведінка, часто спостерігається як скупчення, широко поширене явище в природі. Термін колективна поведінка означає синхронний рух взаємодіючих частинок в групі. Поширеними прикладами такої поведінки є: косяки риб, зграї птахів, мурашині рої і пішоходи. Такі організми як клітини і бактерії, так само схильні до колективного руху [1,2,3].

Подібна колективна поведінка була недавно виявлена в рухомих «неживих» системах. Прикладами, яких є гранульовані розчини [4] Подовжені частки на вібруючих поверхнях [5] розчини з частинками золота рухомими за допомогою поверхневих хімічних реакцій. Різноманітність систем, які демонструють подібну поведінку, вказує на наявність базових універсальних правил колективного руху. Пошук цих правил, є важливим завданням.

При описі динаміки подібних систем, які можуть бути як живими, так і неживими, стає корисним введення поняття активної речовини. Активна речовина, визначається як система активних одиниць, яка може споживати енергію для свого руху. Специфікою колективних систем є те, що вони далекі від стану теплового рівноваги. Ключовою особливістю активної речовини є те, що напрямок руху не визначається тільки зовнішніми діючими силами.

При розробці фізичної моделі в першу чергу необхідно врахувати головні особливості явища і спробувати на максимально простий моделі отримати адекватні результати, що відображають суть явища.

Для вивчення динаміки поведінки таких систем необхідно провести величезну кількість експериментів, що в деяких випадках є складно здійсненою або дуже витратною процедурою. З цієї причини в останні десятиліття були запропоновані декілька математичних моделей таких систем [5,6], в яких описано характер взаємодії між частинками. У даній роботі розглянута модифікація моделі описаної в [5].

У зв'язку з вище сказаним, метою роботи є аналіз плоского радіально симетричного течії саморушній рідини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: поставити ряд комп'ютерних експериментів при різних умовах. Обробити і

проаналізувати дані отримані в результаті експериментів. Порівняти данні отримані в результаті експерименту з розв'язком гідродинамічного рівняння.

## ВИСНОВКИ

Моделі саморушних частинок як системи яка проявляє колективні ефекти мають величезну кількість практичних та теоретичних застосувань, тому дані системи потребують глибокого та всебічного вивчення. Метою даної роботи є аналіз окремого випадку радіально симетричного руху.

На основі досягнутих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз результатів роботи програм, написаних в результаті виконання завдання, показує відмінність моделі Вічека від класичної моделі газу, яке складається в появі упорядкованого руху частинок при неврегульованих початковому стані.
2. Для порівняння результату комп'ютерного експерименту з розв'язком гідродинамічного рівняння представлені графіки функцій розподілу щільності, радіальної і кутовий швидкостей для моделі Вічека
3. Функцій розподілу щільності, радіальної і кутовий швидкостей в моделі Вічека для різних початкових умов, при наявності розподілу за модулем швидкості, вказують на розбіжність існуючої теорії з комп'ютерним експериментом.
4. Для отримання нетривіальною картини перебігу потрібно збільшувати щільність та розподіл часток за швидкостями. Це також змушує уточнювати гідродинамічне рівняння з урахуванням функції розподілу часток за швидкостями.

В ході детального вивчення даних систем і аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що дана математична модель залишає безліч відкритих питань і заслуговує глибокого теоретичного дослідження.



## ЛІТЕРАТУРА

1. J. Gachelin, A. Rousselet, A. Lindner, and E. Clement. Collective motion in an active suspension of Escherichia coli bacteria. *New Journal of Physics*, 16:0250003, 2014
2. I. H. Riedel, K. Kruse, and J. Howard. A self-organized vortex array of hydrodynamically entrained sperm cells. *Science*, 309(5732):300–303, 2005.
3. F. Peruani, J. Starruß, V. Jakovljevic, L. Søgaard-Andersen, A. Deutsch, and M. Bär. Collective motion and nonequilibrium cluster formation in colonies of gliding bacteria. *Phys. Rev. Lett.*, 108:098102, 2012
4. A. Kudrolli, G. Lumay, D. Volfson, and L. S. Tsimring. Swarming and swirling in selfpropelled polar granular rods. *Physical Review Letters*, 100:058001, 2008
5. I. S. Aranson, D. Volfson, and L.S Tsiming. Swirling motion in a system of vibrated elongated particles. *Physical Review E*, 75:051301, 2007.
6. I. Theurkauff, C. Cottin-Bizonne, J. Palacci, C. Ybert, and L. Bocquet. Dynamic clustering in active colloidal suspensions with chemical signaling. *Physical Review Letters*, 103:268303, 2012.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика (Том 10. Физическая кинетика) // книга. – 2002.
8. Боголюбов Н. Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. — М.— Л.: ОГИЗ. Гостехиздат, 1946.
9. Vicsek T., Zafeiris A. Collective motion // *Physics Reports*. – 2012. – Т. 517. – №. 3. – С. 71-140.
10. Vicsek T. et al. Novel type of phase transition in a system of self-driven particles // *Physical review letters*. – 1995. – Т. 75. – №. 6. – С. 1226.
11. Castellano C., Fortunato S., Loreto V. Statistical physics of social dynamics // *Reviews of modern physics*. – 2009. – Т. 81. – №. 2. – С. 591.
12. Helbing D. Traffic and related self-driven many-particle systems // *Reviews of modern physics*. – 2001. – Т. 73. – №. 4. – С. 1067.
13. Ramaswamy S. The mechanics and statistics of active matter // *arXiv preprint arXiv:1004.1933*. – 2010.
14. Czirók A., Vicsek T. Collective behavior of interacting self-propelled particles // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – 2000. – Т. 281. – №. 1. – С. 17-29.
15. Acebrón J. A. et al. The Kuramoto model: A simple paradigm for synchronization phenomena // *Reviews of modern physics*. – 2005. – Т. 77. – №. 1. – С. 137.

16. Климонтович Ю. Л. Статистическая физика. – М.: Наука, 1982. – Т. 608.
17. Ihle T. Chapman-Enskog expansion for the Vicsek model of self-propelled particles //arXiv preprint arXiv:1605.03953. – 2016.
18. Degond P. et al. Vision-based macroscopic pedestrian models //arXiv preprint arXiv:1307.1953. – 2013.
19. Chepizhko O., Kulinskii V. The hydrodynamic description for the system of self-propelled particles: Ideal Viscek fluid //Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2014. – Т. 415. – С. 493-502.
20. Levine H., Rappel W. J., Cohen I. Self-organization in systems of self-propelled particles //Physical Review E. – 2000. – Т. 63. – №. 1. – С. 017101.
21. Frouvelle A. A continuum model for alignment of self-propelled particles with anisotropy and density-dependent parameters //Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. – 2012. – Т. 22. – №. 07. – С. 1250011.
22. Reynolds C. W. Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model // SIGGRAPH Comput. Graph. 1987. Vol. 21, no. 4. P. 25–34.
23. Huepe C., Aldana M. New tools for characterizing swarming systems: a comparison of minimal models //Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2008. – Т. 387. – №. 12. – С. 2809-2822.
24. Chate H., Ginelli F., Gr ' egoire G. et al. Modeling collective motion: variations on the Vicsek model // The European Physical Journal B. 2008. Vol. 64, no. 3-4. P. 451–456.
25. Gregoire G., Chat ' e H. Onset of collective and cohesive motion // ' Physical review letters. 2004. Vol. 92, no. 2. P. 025702.
26. Baglietto G., Albano E. Finite-size scaling analysis and dynamic study of the critical behavior of a model for the collective displacement of self-driven individuals // Physical Review E. 2008. Vol. 78, no. 2.
27. Aldana M., Larralde H., VaZquez B. On The Emergence Of Collective Order In Swarming Systems: A Recent Debate