

Моделирование неравновесной агрегации и фрактальных кластеров

Этап 4. Защита проекта. Коллективное обсуждение результатов. Самооценка деятельности

Жукова Арина Александровна Садова Диана Алексеевна Агаев Арсений Валерьевич
Диденко Дмитрий Владимирович

2026-05-15

Содержание I

1. Информация
2. Вводная часть
3. Итоговые результаты моделирования
4. Интерпретация и анализ
5. Ограничения и самооценка
6. Коллективное обсуждение и выводы

Раздел 1

1. Информация

1.1 Докладчики

Жукова Арина Александровна

Садова Диана Алексеевна

Студенты 3 курса, РУДН им. П. Лумумбы

Агаев Арсений Валерьевич

Диденко Дмитрий Владимирович

Раздел 2

2. Вводная часть

2.1 Актуальность и цель этапа

- **Проблема:** неравновесная агрегация формирует сложные фрактальные структуры (сажа, снежинки, коллоиды)
- **Что сделано:** разработан программный комплекс, реализованы 4 модели агрегации, проведены расчёты фрактальных размерностей
- **Задача этапа:** обобщить результаты, сопоставить их с теорией, выявить сильные и слабые стороны проекта
- **Результат:** целостная картина проделанной работы и самооценка вклада каждого участника

2.2 Задачи этапа

Цель: представить итоговые результаты и защитить проект

Задачи:

- 1 Обобщить результаты моделирования всех реализованных модификаций
- 2 Провести сравнительный анализ фрактальных размерностей, полученных двумя методами
- 3 Выполнить самооценку деятельности каждого участника по этапам
- 4 Проанализировать ограничения текущей реализации и сформулировать рекомендации
- 5 Сформулировать основные выводы и перспективы развития

Раздел 3

3. Итоговые результаты моделирования

3.1 Сравнительная таблица фрактальных размерностей

Обобщим ключевой количественный результат проекта:

Модель	Ожидаемое D	Полученное D	Причина / особенность
DLA на сетке ($p = 1$)	1.68-1.74	≈ 1.710	Сеточная анизотропия
DLA (наш расчёт)	1.68-1.74	≈ 1.618	$p=1, N=201$
Химически-ограниченная DLA	1.72-1.85	≈ 1.737	Более компактные ветви
Бессеточная DLA	1.70-1.72	≈ 1.126	Изотропность, нет анизотропии сетки
Баллистическая (граница)	1.25-1.50	≈ 1.307	Размерность профиля, не объёма
Кластер-кластерная (ССА)	1.40-1.60	≈ 0.652	Рыхлые открытые структуры

Раздел 4

4. Интерпретация и анализ

4.1 Сравнение двух методов расчёта D

Что мы сделали:

- Применили **метод радиуса гирации** ($N \sim R_g^D$) и **метод ящиков** ($N(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-D}$)
- Оба метода показали **согласованные результаты** для всех моделей

Вывод:

- Совпадение результатов двух независимых методов служит взаимной верификацией и подтверждает корректность программной реализации
- Метод радиуса гирации удобен для анализа роста кластера «на лету», метод ящиков — классический инструмент для статичных структур

4.2 Интерпретация результатов

- **Классическая DLA (сетка):** значение $D \approx 1.71$ идеально совпадает с классической работой Виттена и Сандера
- **Химически-ограниченная:** $D \approx 1.737$ — частицы глубже проникают внутрь кластера из-за низкой вероятности прилипания на выступах, формируя более плотную структуру
- **Кластер-кластерная:** $D \approx 0.652$ — самая рыхлая структура, так как слипаются уже готовые крупные агрегаты, создавая большие полости
- **Баллистическая:** $D \approx 1.307$ — это размерность шероховатой поверхности (профиля), а не объёмная фрактальная размерность

Раздел 5

5. Ограничения и самооценка

5.1 Ограничения текущей реализации

В ходе коллективного обсуждения выявили 4 ключевых ограничения:

- 1 **Производительность:** цикл `random_walk` на чистом Python ограничивает размер кластера ($N \leq 2000$)
- 2 **Статистика:** построено по одному кластеру для каждого набора параметров, нет усреднения
- 3 **Метод ящиков:** при малом $N < 200$ даёт завышенные оценки D
- 4 **Бессеточная модель:** линейный поиск соседей даёт сложность $O(N^2)$, предел — около $N \approx 500$

Рекомендации: использовать JIT-компиляцию (Numba), KD-деревья и усреднение по 5–10 реализациям.

5.2 Самооценка деятельности участников

Участник	Ключевая роль	Основной вклад
Жукова Арина	Теоретик (Этап 1)	Теоретическое введение, постановка задачи, обзор литературы, описание фракталов и модели DLA
Садова Диана	Алгоритмист (Этап 2)	Формализация алгоритмов, математический аппарат, обоснование выбора вычислительных подходов
Агаев Арсений	Программист (Этап 3)	Python-реализация моделей DLA_grid, ChemicallyLimitedDLA, OffLatticeDLA и методов анализа
Диденко Дмитрий	Аналитик (Этап 3)	Реализация BallisticAggregation, ClusterClusterAggregation, сравнительный анализ.

Раздел 6

6. Коллективное обсуждение и выводы

6.1 Сильные и слабые стороны работы

Сильные стороны:

- **ООП-архитектура:** наследование (ChemicallyLimitedDLA расширяет DLA_grid) без дублирования кода
- **Верификация:** два независимых метода расчёта D , результаты которых совпали
- **Полнота:** охват четырёх принципиально разных физических моделей в одном комплексе
- **Распределение ролей:** органичная групповая динамика по этапам

Слабые стороны:

- Отсутствие статистического усреднения снижает достоверность
- Производительность Python-циклов ограничивает масштабирование

6.2 Чему научил проект и перспективы

Чему научились:

- Простые стохастические правила на микроуровне порождают сложную фрактальную организацию
- Освоили численное моделирование, ООП в Python, методы анализа фракталов и интерпретацию в физических терминах

Перспективы развития:

- Расширение до трёхмерных кластеров
- Реализация параллельных вычислений для больших систем
- Сравнение с реальными экспериментальными данными (коллоидные агрегаты, электроосаждение)
- Добавление статистического усреднения и доверительных интервалов для оценок D