

# **Групповой проект. Тема: Рост дендритов**

## **Этап 3**

Артамонов Тимофей Евгеньевич

Федорина Эрнест Васильевич

Морозов Михаил Евгеньевич

Коротун Илья Игоревич

Маслова Анастасия Сергеевна

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Моделирование роста дендритов</b>	<b>5</b>
2.1	Шаг 0 Используемые библиотеки . . . . .	5
2.2	Шаг 1 Параметры модели . . . . .	5
2.3	Шаг 2 Инициализация сетки . . . . .	6
2.4	Шаг 3 Параметры для условия Стефана . . . . .	6
2.5	Шаг 4 Функция роста . . . . .	7
2.6	Шаг 5 Визуализация итогового состояния . . . . .	8
2.7	График модели . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Вывод</b>	<b>10</b>

# Список иллюстраций

2.1 plot . . . . . 9

# 1 Введение

На третьем этапе группового проекта нужно описание программную реализацию проекта. На прошлом этапе мы уже рассмотрели алгоритм по которому мы будем двигаться при выполнении этого этапа. Приступим к описанию кода.

## 2 Моделирование роста дендритов

### 2.1 Шаг 0 Используемые библиотеки

- `using Plots`: Библиотека для визуализации данных. В данном коде используем для создания тепловой карты, отображающей состояние сетки после симуляции роста дендритов.
- `using LinearAlgebra`: Библиотека для работы с линейной алгеброй. Используем, для операций с векторами и матрицами в вычислениях.

```
using Plots
```

```
using LinearAlgebra
```

### 2.2 Шаг 1 Параметры модели

Указываем основные параметры моделирования:

`N`: размер сетки, представляющий собой квадратную сетку  $N \times N$ , на которой будет происходить моделирование. `T_melt`: температура плавления, определяющая порог, при котором материал начинает затвердевать. `growth_chance`: увеличенный шанс роста дендритов в соседние ячейки, это вероятность, с которой новые дендриты будут расти в окружающие зоны с пониженной температурой. `steps`: количество шагов симуляции, определяющее, сколько раз будет произведено обновление состояния сетки.

```

N = 100
T_melt = 1.0
growth_chance = 0.005
steps = 8000

```

## 2.3 Шаг 2 Инициализация сетки

Создаем матрицу T размером N x N, инициализируя ее нулями. Задаем начальную затравочную область в виде круга с заданным радиусом и центром.

```

T = zeros(N, N)

# Увеличение размера начальной затравочной области
center = div(N, 2)
radius = 1 # Радиус затравочной области
for i in (center-radius):(center+radius)
    for j in (center-radius):(center+radius)
        T[i, j] = T_melt
    end
end
end

```

## 2.4 Шаг 3 Параметры для условия Стефана

Определяем коэффициенты теплопроводности, плотности, латентной теплоты и температуру на границе. Используем эти параметры для вычисления скорости роста кристалла по условию Стефана.

```

κ = 0.1 # Теплопроводность
ρ = 1.0 # Плотность

```

```
L = 1.0 # Латентная теплота
Tb = T_melt # Температура на границе
```

## 2.5 Шаг 4 Функция роста

Эта функция выполняет основную часть моделирования роста дендритов. Она итерирует указанное количество шагов по сетке и обновляет ее состояние в соответствии с правилами роста кристалла и уравнением теплопроводности.

Уравнение теплопроводности:

1. Создается временная копия текущего состояния сетки T.
2. Перебираются все внутренние ячейки сетки.
3. Если температура в ячейке равна температуре плавления, вычисляется градиент температуры в соседних ячейках.
4. Для каждой соседней ячейки вычисляется градиент температуры и скорость роста кристалла по условию Стефана.
5. Если случайное число меньше произведения шанса роста на скорость роста, ячейка затвердевает на следующем шаге, и это отражается во временной копии сетки.

Обновление основной сетки: После завершения всех шагов симуляции, основная сетка T обновляется копией T\_temp.

```
function grow_crystals_stefan!(T)
    for step in 1:steps
        T_temp = copy(T) # Создаем временную копию для текущего шага
        for i in 2:N-1
            for j in 2:N-1
                if T[i, j] == T_melt
                    for di in -1:1
                        for dj in -1:1
                            if T[i+di, j+dj] == 0
```

```

# Вычисляем градиенты температуры в соседних ячейках
dT_s = [T[i+di, j+dj] - T[i, j] for (di, dj) in [(1, 0), (0, 1), (-1, 0), (0, -1)]]
dT_l = [Tb - T[i, j] for _ in 1:4]
# Умножаем градиенты для диагональных элементов
dT_s[1] /= 2
dT_s[2] /= 2
# Вычисляем вектор нормали к границе затвердевания
n = [di + dj for (di, dj) in [(1, 0), (0, 1), (-1, 0), (0, -1)]]
# Вычисляем скорость роста кристалла по условию Сильвэрманна
v = dT / (dT * L) * dot(n, dT_s - dT_l)
if rand() < growth_chance * v:
    T_temp[i+di, j+dj] = T_melt # Затвердевание
end
end
end
end
end
end
end
T .= T_temp # Обновляем основную сетку
end
end

```

## 2.6 Шаг 5 Визуализация итогового состояния

После выполнения симуляции функцией роста, код строит тепловую карту (heatmap) для визуализации конечного состояния сетки T.

```
#Выполнение симуляции
```



```
grow_crystals_stefan!(T)
```

```
#Визуализация итогового состояния
```

```
p = heatmap(T, color=:ice, aspect_ratio=1, title="Модель роста дендритов с условием Стефана")  
display(p)
```

## 2.7 График модели

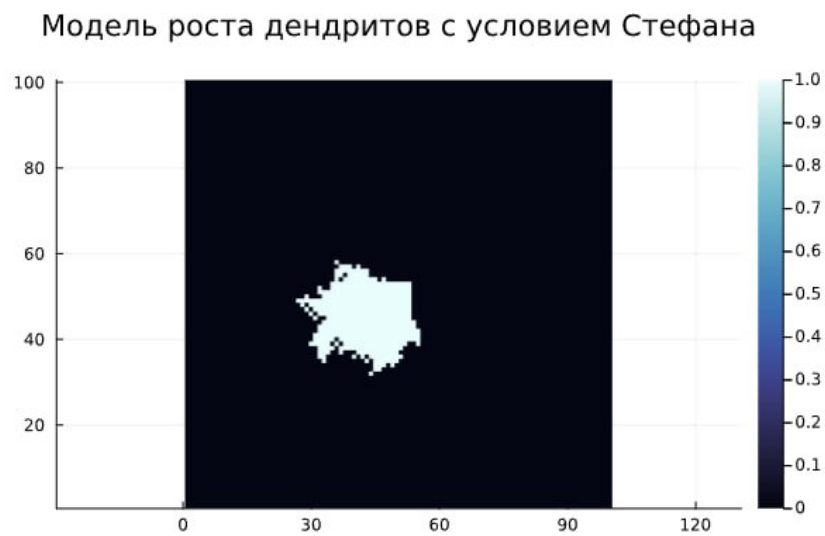


Рис. 2.1: plot

## 3 Вывод

Модель роста дендритов, реализованная с использованием условия Стефана и уравнения теплопроводности, позволяет имитировать процесс затвердевания материала и формирования кристаллических структур. После завершения всех шагов симуляции, модель предоставляет визуализацию итогового состояния сетки с помощью тепловой карты.