

Рост дендритов

Этап №4

Миронов Д. А. Павлова П. А. Матюшкин Д. В.

20 марта 2024

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Целью проекта является математическое моделирование дендритного роста.

Задачи проекта:

1. Изучить теоретическую информацию о дендритах и о моделях их роста.
2. Разработать алгоритм, который включает в себя:
 - моделирование теплопроводности;
 - исследование влияние начального переохлаждения S и величины капиллярного радиуса λ на форму образующихся дендритов;
 - исследование зависимость от времени числа частиц в агрегате и его среднеквадратичного радиуса в разных режимах;
 - определение фрактальной размерности полученных образцов;
 - исследование влияния величины теплового шума δ на вид образующихся агрегатов;
3. Написать комплексы программ по разработанному алгоритму;

Дендриты - это маленькие ветвистые образования, похожие на деревья или ветви, которые могут появляться в разных системах, от нервных клеток до кристаллов в металлах.

Самые распространённые структуры морозных узоров — дендриты.

- Рассматривается квадратная область размера $N \times N$ узлов с затвердевшей затравкой в центре.
- Используется уравнение теплопроводности для описания изменения температуры во времени.

- Уравнение теплопроводности описывает изменение температуры в узлах с учетом свойств вещества:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \nabla^2 T \equiv \kappa \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

- Для вычисления изменения температуры используется среднее значение температуры соседних узлов:

$$\begin{aligned} \langle T_{(i,j)} \rangle = & (T_{(i+1,j)} + T_{(i-1,j)} + T_{(i,j+1)} + T_{(i,j-1)} + \\ & + w(T_{(i+1,j+1)} + T_{(i+1,j-1)} + T_{(i-1,j+1)} + T_{(i-1,j-1)})) / (4 + 4w) \end{aligned}$$

- Состояние каждого узла может быть жидким (0) или твердым (1).
- Рост дендрита определяется путем изменения состояния узлов на границе жидкой и твердой фазы.

- Учитывается случайная добавка к температуре в узле, чтобы моделировать тепловой шум.
- Узел на границе переходит в твердую фазу при определенных условиях температуры и капиллярного радиуса.

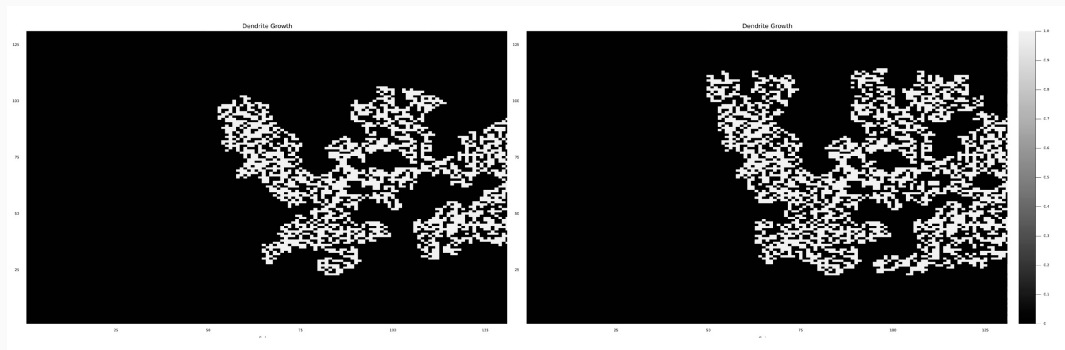
1. Инициализация
2. Уравнение теплопроводности
3. Вычисление среднего значения температуры в соседних узлах
4. Обновление температуры в каждом узле
5. Моделирование роста дендритов
6. Учет теплового шума
7. Изменение состояния узлов на границе

Этот алгоритм моделирования роста дендритов имеет несколько преимуществ:

1. Учет различных факторов.
2. Адаптивность.
3. Вычислительная эффективность.

- Код написан на языке программирования Julia, обеспечивающем эффективное выполнение алгоритма.

1. Инициализация необходимых переменных;
2. Обработка диффузии температуры через пространство моделирования;
3. Обновление значения температуры вдоль определенного пути;
4. Определение, где происходит рост дендритов на основе определенных условий;
5. Сохранение результата в виде фотографии.



- В заключении проекта по моделированию дендритного роста мы успешно создали алгоритм, учитывающий различные факторы, такие как теплопроводность, начальное переохлаждение, капиллярный радиус и тепловой шум. Написали комплексы программ по разработанному алгоритму.