



## Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта призера III степени среди 5-7 классов

**Название работы – Дендриты меди – реализация принципа самоподобия в природе.**

**Автор – Клепинина Валерия Сергеевна (7 класс, ГБОУ Школа № 1575, г. Москва).**

**Руководитель – Чопорова Жанна Владиславовна, учитель физики, зав.кафедрой естественных наук, ГБОУ Школа № 1575, г. Москва.**

### **Основная идея работы, цели, задачи**

*Идея проекта* возникла, когда я сравнила некоторые растения и морозные узоры на стекле. Оказалось, что и природные растительные структуры и кристаллики льда в морозных узорах можно назвать фракталами - само подобными структурами, а “веточки” - дендритами.

*Цель проекта:* исследовать методику выращивания медного дендрита.

*Гипотеза:* при определённых условиях удастся вырастить ветвящиеся красивые кристаллы меди.

Были поставлены следующие *задачи*:

- Обнаружить элементы самоподобия и симметрии в природе,
- изучить методики выращивания медного дендрита при окислительно - восстановительном замещении алюминия,
- определить оптимальные условия получения ветвистых дендритов,
- сравнить дендриты меди с природными фрактальными структурами растений,
- изготовить модели дендрита на 3Д принтере,
- снять видеофильм процесса роста дендрита.

### **Актуальность и новизна работы**

Дендриты, фракталы - широко известные объекты в науке, технике и природе. Механизм ОДА (ограниченной диффузией агрегации) – один из распространенных путей формирования агрегатов нанообъектов со сложной морфологией. Методики выращивания медных дендритов используют при нанесении на стекло супергидрофобных покрытий [5]. Это обуславливает актуальность выбранной темы исследования.

Новизна работы в том, что я поставила цель - вырастить не просто дендрит меди, а красивый дендрит в виде цветка и проследить стадии его роста. И, кроме того, изучая строение дендрита, я выполнила и распечатала 3д модель структуры. Снят видеофильм процесса роста дендрита.

### **Основные результаты**

#### 1. Процесс наблюдения.

Сначала были наблюдения растений в природе. Строение листьев всех этих растений примерно одинаково. Лист состоит из симметрично расположенных к стебельку листочков, образующих подобие конуса. Каждый следующий лист повторяет форму и структуру предыдущего, но в уменьшенном размере.



Рис. 1-2. Папоротник



Рис. 3. Сосенка горная



Рис. 4. Кустарник



Рис. 5. Дерево



Рис. 6. Снежинка (фото из наших коллекций, Бриттал Г.В.)

Результаты наблюдения: я представила структуру дендрита.

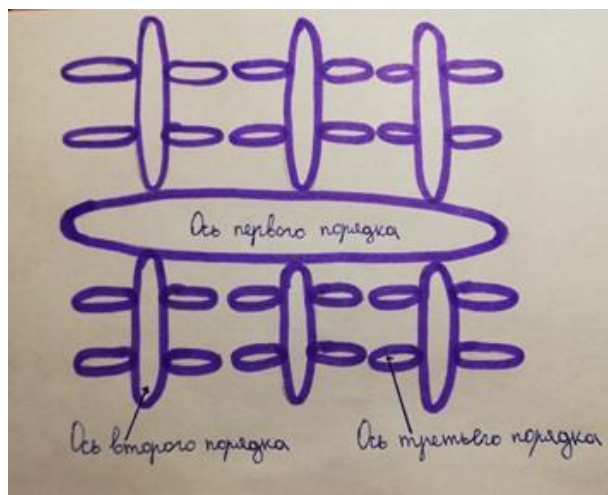
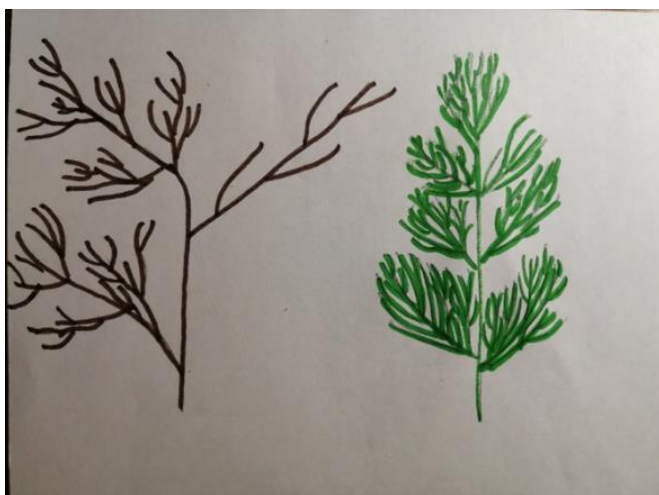


Рис. 7-8. Модель дендрита

2. Смоделировала начало роста дендрита в программе Tinkercad и распечатала модель на 3Д принтере.

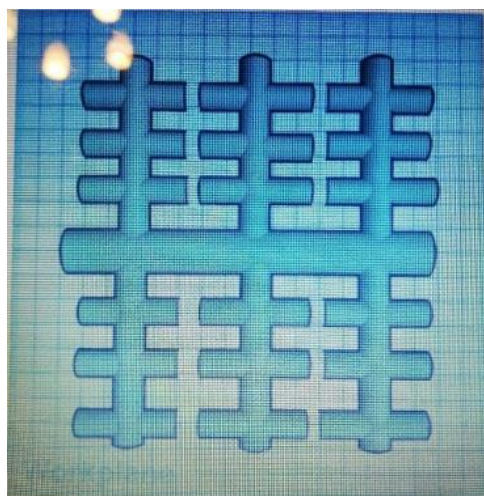


Рис. 9. Модель в программе

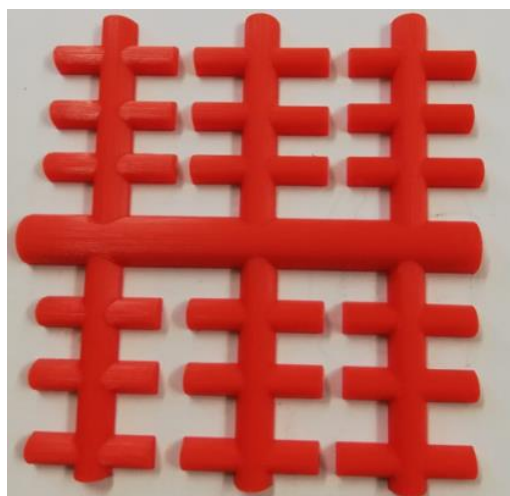
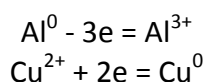


Рис. 10. Модель, распечатанная на 3Д принтере

3. Методика выращивания дендритов меди [1].

Дендриты можно получить в процессе реакции замещения ионов металла и восстановлении до металлической меди. Способность металла переходить в раствор в виде ионов, а также восстанавливаться из ионов до металла на электроде характеризуется стандартным электродным потенциалом. По сравнению с водородом, у алюминия он имеет другой знак, чем у меди, поэтому металлический алюминий при контакте с солями меди самопроизвольно отдаёт электроны, а ионы меди их получают, то есть восстанавливаются до металлической меди на границе алюминий-медь. На всём медном дендрите в силу его хорошей электронной проводимости во время восстановления остаётся фиксированный потенциал, пока не прореагирует весь алюминий.



4. Были поставлены эксперименты.

Первый эксперимент – в раствор сульфата меди опустили железную пластинку, которая в течение 3 часов покрылась тонкой медной плёнкой.

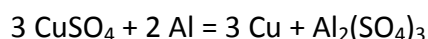


Рис. 11. Медная плёнка



Рис. 12-13. Вертикальные дендриты

Второй эксперимент проведён в высоком сосуде: в раствор медного купороса добавили поваренную соль и сверху положили фольгу из алюминия, в течение часа выросли свисающие вниз древоподобные кристаллы меди.

Третий эксперимент.

Чтобы замедлить процесс и получить мелкие красивые “веточки” дендритов меди, в третьем эксперименте добавили агар-агар для вязкости и уменьшения скорости диффузии компонентов в растворе. Для опыта понадобились: медный купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ , поваренная соль  $\text{NaCl}$ , алюминиевая фольга, вода  $\text{H}_2\text{O}$ , агар-агар.

Агар-агар 2г развели в 100 г воды, поставили в СВЧ печь нагреваться до кипения, добавили медный купорос 18 г и 2 г поваренной соли. Раствор разлили в две ёмкости. Из фольги скатали (в перчатках) 2 твёрдых шарика размером в 1 см. В раствор в первой ёмкости опустили шарик, углубив его до дна. В растворе второй ёмкости шарик не углубляли, а под ёмкость положили миллиметровку для измерения длины структур.

Происходящие изменения регистрировали с помощью цифровой фотокамеры.



Рис. 14. Начало эксперимента



Рис. 15. Начало реакции замещения

Таблица измерений приведена на следующей странице.

Сняли видеофильм процесса роста дендрита. Ссылка на просмотр <https://cloud.mail.ru/public/doZp/5Guazjka>

Объяснение результатов. Самым маленьким уровнем структуры дендрита является наночастица. Сначала появляются зародыши (наночастицы) меди непосредственно на поверхности фольги, они самоорганизуются в крупные образования - кластеры, а затем возникают красивые фрактальные (подобные кластеру) структуры.

Данные обобщили в таблице, столбцы которой содержат фотографии, время, длину веточки дендрита. Дендрит вырос в течение 100 минут. А в виде красивого цветка – через 24 часа.

Таблица измерений 1.

ВРЕМЯ (мин)	15	10	15	10	15	15	10	10
ДЛИНА (мм)	4	6	8	8,5	9	9	9	сверху 7
ФОТО								

ВРЕМЯ (мин)	15	15	10	15	15	15	20	на следующий день
ДЛИНА (мм)	слева 9	сверху 10	10	10	11	11,5	12	18
ФОТО								

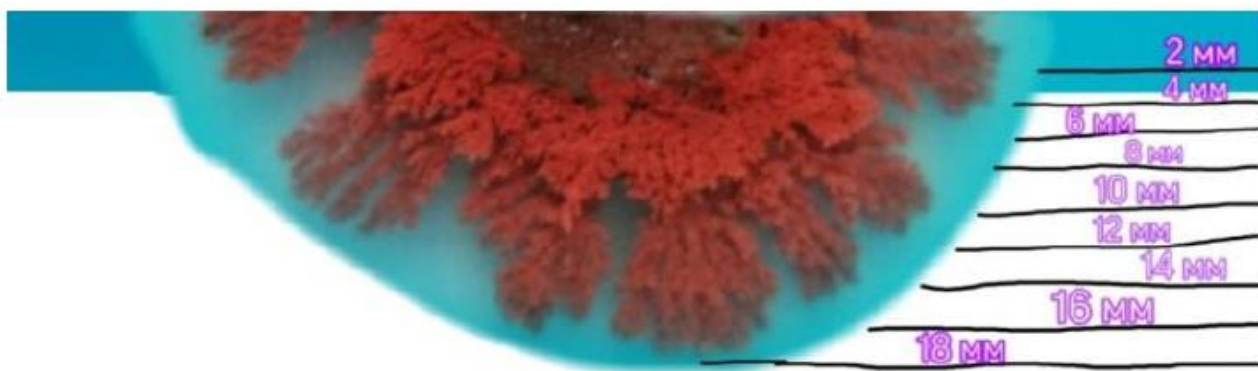


Рис. 16. Процесс роста

Фрактальная размерность – это количественная сложность характеристики объекта. Фрактальные размерности структур можно вычислить по формулам [2].

Расчет фрактальной размерности с использованием мощных методов исследования, например, малоуглового рассеяния – стандартный прием описания структур агрегированных и пористых сред [4]. Агрегированные среды, нанопоры, иерархию структур изучают с использованием термина фрактальная размерность.

Расчёт фрактальной размерности производится по формуле [2].

$$n = \ln N / \ln (1/k)$$

- N – число маленьких подмножеств
- K – коэффициент масштабирования
- N – фрактальная размерность

Фрактальные размерности дендрита (1,832) примерно такие же, как у папоротника (1,836).



Рис. 17. Фрактальная форма капусты



Рис. 18. Фрактальная форма дерева



Рис. 19. Фрактальная форма травянистого горного растения



Рис. 20. Папоротник

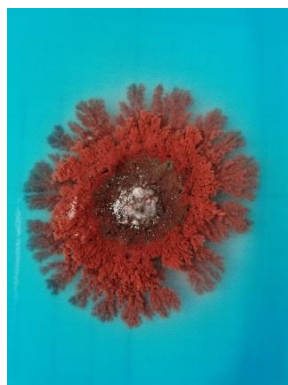


Рис. 21. Выращенный дендрит меди



Рис. 22. Снежинка из наших коллекций. Бриттал Г.В.

## Выводы, заключение, перспективы

Все задачи проекта выполнены. Получились красивые дендритные структуры меди, напоминающие растения. Снят видеофильм процесса роста дендрита. В ходе экспериментов выявлены условия проведения – ёмкость находится в спокойном месте, температура комнатная, медленная кристаллизация шарик из фольги не углубляется до дна для образования многослойных ветвистых структур. «Изучение и наблюдение природы породило науку», – писал Цицерон в первом столетии до нашей эры. И это, действительно, так! Выращенный дендрит напоминает цветок.

## Список цитированных источников

1. Щербаков А. Б., Иванов В. К. Практикум по наноматериалам и нанотехнологиям, М.: Издательство Московского Университета, 2019.
2. Жуков А. В. О числе пи. - М.: Издательство МЦНМО, 2019- формула фрактальной размерности.
3. Ю. Д. Третьяков, Дендриты и фракталы, <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/666.html> – дата обращения 18.10.2019
4. Фрактальная размерность, интернет ресурс, дата обращения 20.09.2019 [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C).
5. Baktavatsalam R. Solution chemistry-based nanostructuring of copper dendrites for efficient use in catalysis and superhydrophobic surfaces/ Источник 6 в [1].
6. Интернет-ресурс wikibotanika.ru, дата обращения 14.09.2019.