

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий

Вопрос по выбору

Плазма из винограда

Автор:
Хамаш Виктория Насеровна
Б01-302

Долгопрудный 2024

1 Введение

Один из самых популярных опытов с микроволновой печью - получение плазмы из винограда. Если разрезать виноград на две половинки, но оставить их соединенными кожурой и разогреть их в микроволновой печи, то можно увидеть разряды плазмы.

2 Теоретические сведения

Принцип работы микроволновой печи

Основная часть микроволновой печи - магнетрон, генерирующий электромагнитные волны на частоте 2,45 ГГц. Он состоит из цилиндрического катода и анодного блока. На катоде происходит процесс эмиссии электронов: катод с помощью тока нагревается, в следствии чего начинает излучать электроны. Электроны увлекаются электростатическим полем катода и летят к аноду. Снаружи стоит постоянный магнит, который закручивает траектории электронов. В аноде вырезаны отверстия специальной формы, которые служат резонаторами. В итоге электроны пролетая мимо резонаторов своим полем возбуждают в резонаторах электромагнитные волны, которые через антенну выводятся непосредственно в печь.

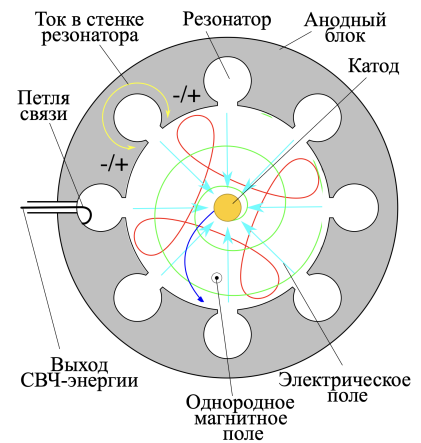


Рис. 1: Схема магнетрона

Объяснение эффекта с виноградом

Виноград почти полностью состоит из воды, поэтому в расчетах будем считать его таковой. Согласно [1] диэлектрическая и магнитная проницаемости воды при температурах 20 – 60 °C равны:

$$\varepsilon \approx 79 \quad \mu \approx 1.25 \quad \Rightarrow \quad n = \sqrt{\varepsilon\mu} \approx 9.93 \quad (1)$$

Далее посчитаем длину волны СВЧ излучения в воде:

$$\lambda_0 = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi v}{2\pi f} = \frac{v}{f} = \frac{c}{nf} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{9.93 \cdot 2.45 \cdot 10^9} \approx 1.23 \text{ см} \quad (2)$$

То есть если виноградина будет размером примерно λ_0 , то внутри её образуется стоячая волна, а значит виноградина будет нагреваться из центра наружу, а не наоборот.

Также это означает, что если поставить рядом две виноградины, то в точке их соприкосновения будет пучность, а значит при достаточно мощной мощности воздух будет ионизироваться, и мы сможем увидеть плазму.

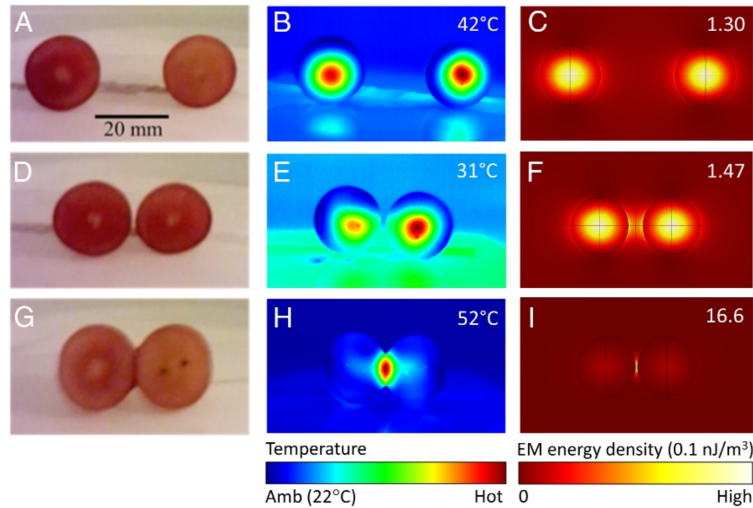


Рис. 2: Распределение температуры внутри виноградин при нагреве СВЧ излучением из [1]

3 Оборудование

Микроволновая печь, излучающая на частоте 2.45 ГГц, мощностью 700 Вт; тепловизор; виноград 3 разных сортов

4 Эксперимент

Для начала возьмем одну виноградину и поместим её в микроволновую печь, как ожидалось она просто нагрелась и лопнула. Если поместить две половинки на расстоянии, то произойдет тоже самое. Но если положить две виноградины вплоты или разрезать виноградину на две половины, скрепленные кожурой, то внезапно появляется плазма. В дальнейшем будем проводить опыт над одной разрезанной виноградиной, так как две виноградины спустя какое-то время отлетают друг от друга. Положим разрезанную пополам виноградину и измерим зависимость времени до появления плазмы от удвоенного диаметра. Измерения проводились с помощью видеокамеры телефона и ПО для видеомонтажа.

$L, \text{ cm}$	2.4	2.5	2.7	2.5	2.6	3.3	3.5	3.6	4.3	4.6	5.4
$t, \text{ s}$	1.96	1.93	1.14	2.00	1.26	1.93	6.85	2.05	4.82	6.18	7.98

Эксперимент проводился на винограде 3 различных сортов. Видно, что зависимости от сорта нет. Минимум при диаметре виноградины 1.35 cm, что соответствует оценке длины волны в воде (отклонение скорее всего связано с наличием в винограде других веществ, кроме воды). Последние 5 точек хорошо ложатся на прямую (погрешность по МНК $\sim 7\%$). Так как мы нагреваем тонкий кучек кожуры, то его толщина практически не изменяется, а площадь увеличивается $\sim r^2$. И так как мощность СВЧ печи остается постоянной, значит, что эффективная мощность увеличивается $\sim r^2$, а количество теплоты, которое необходимо для нагрева $\sim r^3$, итог получается линейная зависимость.

5 Вывод

В работе были рассмотрены принцип работы магнетрона, объяснение эффекта появления плазмы при разогревании СВЧ волнами. Также были проведены эксперименты с виноградом, которые

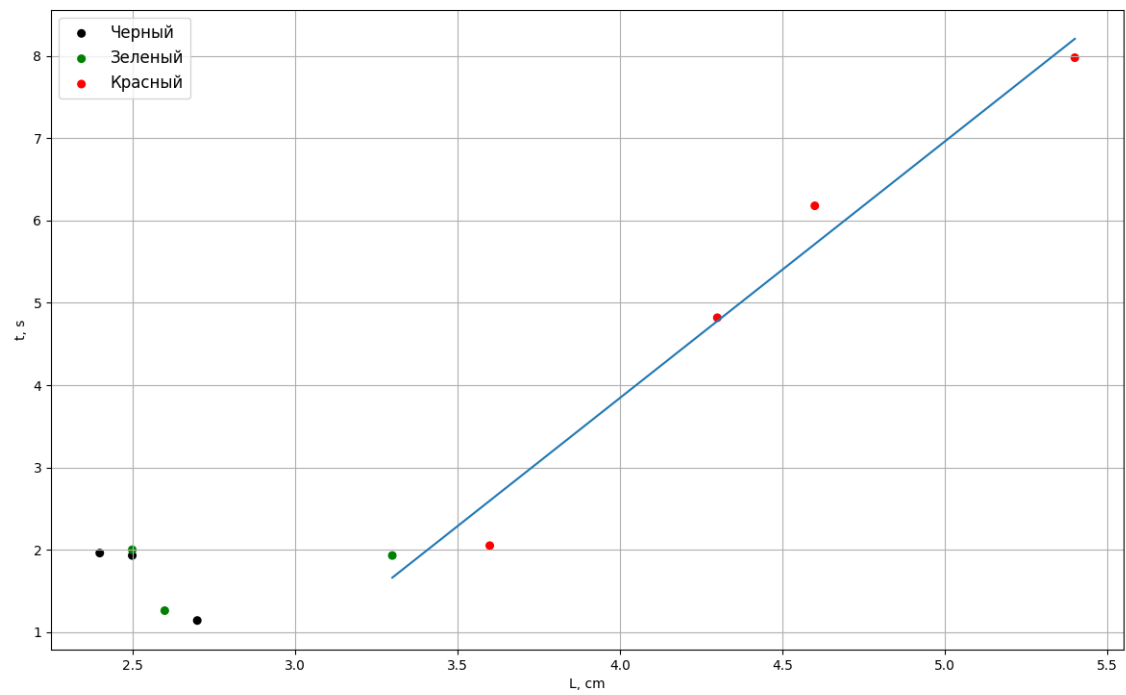


Рис. 3: $t(L)$

подтверждают теорию.

Список литературы

- [1] Hamza K. Khattaka, Pablo Bianuccib, Aaron D. Slepko *Linking plasma formation in grapes to microwave resonances of aqueous dimers*