

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.

### Объяснение эффекта

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  $\lambda_0$ , то внутри её образуется стоячая волна, а значит виноградина будет нагреваться из центра наружу, а не наоборот.

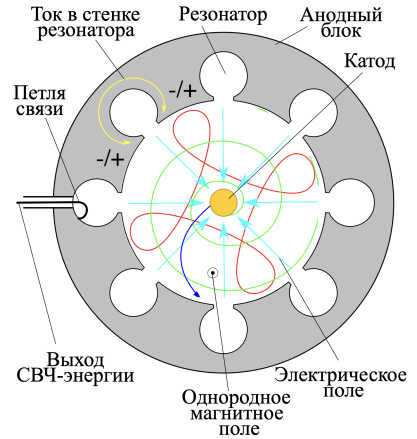


Рис. 1: Схема магнетрона

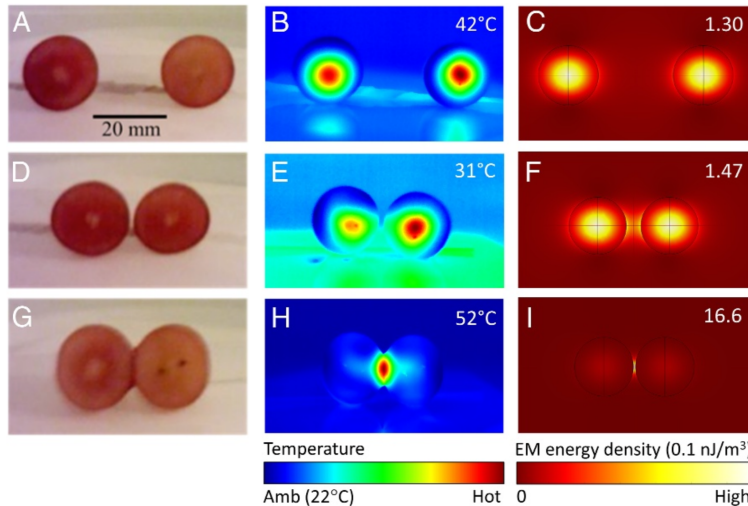


Рис. 2: Распределение температуры внутри виноградин при нагреве СВЧ излучением из [1]

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

### 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 вплотную или разрезать виноградину на две половины, скрепленные кожурой, то внезапно появляется плазма [видео 2](#). Положим разрезанную пополам виноградину и измерим зависимость времени до появления плазмы от удвоенного диаметра и сорта винограда. 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

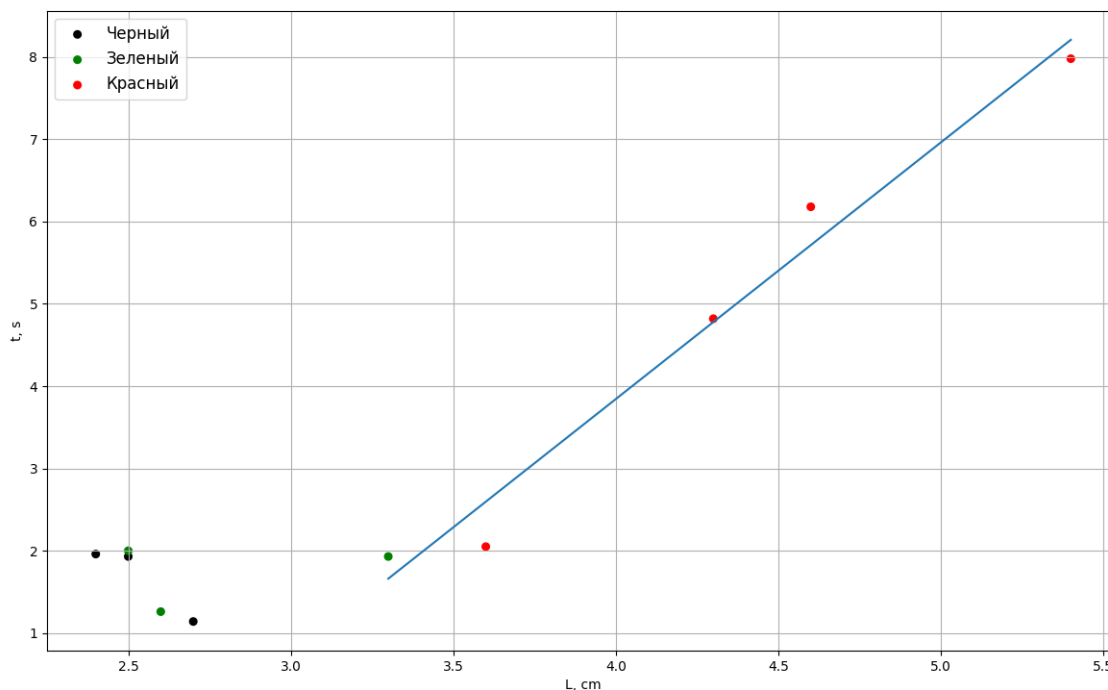


Рис. 3:  $t(L)$

Эксперимент проводился на винограде 3 различных сортов, видно, что зависимости от сорта нет. Также видно, что график нелинейный. Минимум при диаметре виноградины 1.35 см, что соответствует оценке длины волны в воде (отклонение скорее всего связано с наличием в винограде

других веществ, кроме воды). При этом если придерживаться теории локальные минимумы также должны быть в точках  $L = 4.05\text{ cm}$  и  $L = 5.4\text{ cm}$  ( $L = q \cdot 1.35\text{ cm}; q \in \mathbb{Z}$ ), но их нет. 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 средний модуль вектора Пойнтинга остается постоянным, а значит, что эффективная мощность увеличивается  $\sim r^2$ , а количество теплоты, которое необходимо для нагрева  $\sim r^3$ , итого получается линейная зависимость.

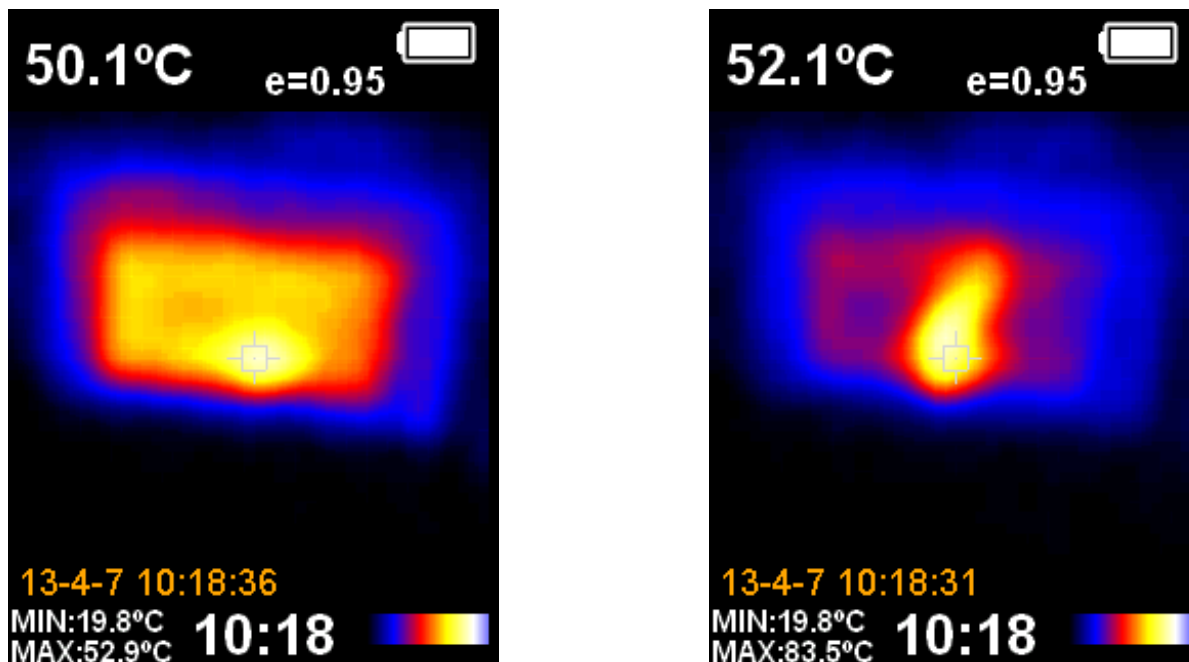


Рис. 4: Фотографии с тепловизора

Также мной были полученные фотографии с тепловизора. Температура в  $83.5^\circ\text{C}$  была получена, когда виноградина уже искрилась, а это искажает показания тепловизора. Но температуры полученные мной совпадают с температурами полученными авторами [1], хоть я не обладаю таким точным тепловизором

## 5 Вывод

В работе были рассмотрены принцип работы магнетрона, объяснение эффекта появления плазмы при разогревании СВЧ волнами. Также были проведены эксперименты с виноградом, которые подтверждают теорию, а также измерение авторов статьи, на которую опирается вопрос по выбору.

Выражаю благодарность за помощь следующим студентам МФТИ:

Стрижак Даниил М02-310

Пьянков Артем Б02-002

А также сотруднику лаборатории террагерцовой оптики МФТИ Гутору А.В.

## Список литературы

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