

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа 4.6.1

Интерференция электромагнитных волн миллиметрового
диапазона

Выполнили:

Гисич Арсений
Айрапетян Микаел

Б03-102

1 Аннотация

В данной работе изучается интерференция электромагнитных волн миллиметрового диапазона с применением двух оптических интерференционных схем, экспериментальное определение длины волны излучения и показателя преломления диэлектрика

2 Теоретические сведения

Если в некоторой точке пространства происходит суперпозиция двух когерентных одинаково поляризованных волн с интенсивностями I_1 и I_2 и с разностью фаз φ , то интенсивность I результирующего колебания определяется соотношением

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$$

Интенсивность максимальна при $\varphi = 2\pi m$, минимальна при $\varphi = (2m + 1)\pi$ ($m = 0, 1, 2, \dots$ — порядок интерференции)

3 Экспериментальная установка

Источником миллиметровых волн является генератор на клистроне — специальной лампе, генерирующей сверхвысокочастотные колебания. Из клистрона энергия волны подается в прямоугольный волновод. Волноводом называется полая металлическая труба, используемая в СВЧ-диапазоне волн для передачи энергии. Клистрон возбуждает в волноводе электромагнитную волну, которая распространяется вдоль волновода и с помощью рупорной антенны излучается в пространство. Задача антенны заключается в том, чтобы сделать излучение более направленным. Направленность антенны характеризуют шириной её диаграммы направленности. Чем шире раскрыв рупорной антенны, тем уже ее диаграмма направленности.

Отражённое от препятствия электромагнитное излучение, попадая в рупорную антенну приемника, распространяется по волноводу, в котором имеется детектор высокочастотных колебаний, работающий в квадратичном режиме. Поэтому ток детектора пропорционален интенсивности I волны, попадающей в приемную антенну. Сигнал с выхода детектора усиливается и измеряется микровольтметром. Принципиальная схема приёмно-передающего тракта представлена на рис. 1.

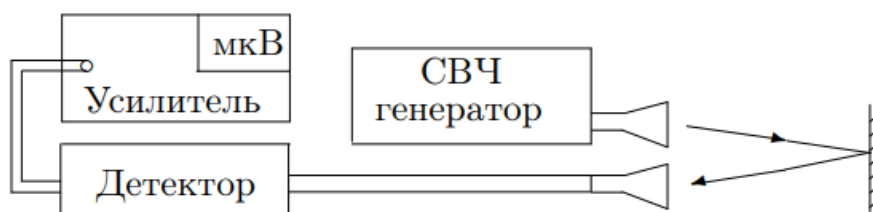


Рис. 1: Приёмно-передающая система СВЧ-диапазона

Применяемый в настоящей работе передатчик излучает линейно поляризованную волну, электрический вектор \mathbf{E} которой перпендикулярен широкой стенке волновода. Приемник также может принимать только линейно поляризованную волну. Для установления связи в системе, изображенной на рис. 1, необходимо, чтобы широкие стенки волноводов передатчика и приемника были параллельны друг другу. Если одну из антенн повернуть

относительно луча на некоторый угол α , интенсивность принимаемого сигнала будет изменяться по *закону Малюса*

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

3.1 Интерференция радиоволн, отражённых от зеркала и решётки

Схема установки, используемой для этого опыта, приведена на рис. 2.

Металлическое зеркало З и проволочная решетка Р устанавливаются на некотором расстоянии d друг от друга с помощью специальных фиксаторов. Приемная и передающая антенны располагаются симметрично, так чтобы в приемник попадала отраженная волна. Волна, излучаемая передающей антенной, частично отражается от решетки, а частично проходит через нее и отражается от зеркала. Зеркало может перемещаться при помощи микрометрического винта.

Между волнами, отраженными от решетки и от зеркала, возникает разность хода, равная

$$\Delta = 2d \cos \theta.$$

При изменении разности хода (при изменении d) интенсивность волны в точке приема изменяется в соответствии с формулой (1)

3.2 Интерферометр Майкельсона

В этом опыте используется установка, моделирующая оптический интерферометр Майкельсона (рис. 3). Зеркала З1 и З2 располагаются перпендикулярно осям передающей и приемной антенн, которые в свою очередь должны быть взаимно перпендикулярны. Решетка Р располагается на пересечении осей под углом 45° к ним. Волна от передающей антенны расщепляется на решетке на две волны, распространяющиеся в направлении зеркал З1 и З2. После отражения от зеркал обе волны возвращаются к решетке. Каждая из этих волн после вторичного расщепления на решетке Р частично попадает в приемную антенну.

Разность хода Δ возникает вследствие различия в расстояниях l_1 и l_2 между решеткой Р и зеркалами З1 и З2:

$$\Delta = 2(l_2 - l_1).$$

При изменении длины одного из плеч интерферометра (при перемещении соответствующего зеркала) интенсивность в точке приема изменяется в соответствии с формулой (1).

Если на пути одного из лучей поставить пластинку толщиной d_0 с диэлектрической проницаемостью ε , разность хода изменится на величину $2d_0(n - 1)$, где $n = \sqrt{\varepsilon}$ — показатель преломления вещества, из которого сделана пластинка. Это приводит к изменению интенсивности в точке приема. Пусть в точке приема до внесения пластинки наблюдался интерференционный максимум. Для того чтобы получить тот же максимум при наличии пластинки, нужно зеркало свободного плеча интерферометра (плеча, в котором нет пластинки) отодвинуть на расстояние Δx_0 , определяемое выражением

$$\Delta x_0 = d_0(n - 1).$$

Зная Δx_0 , можно определить показатель преломления.

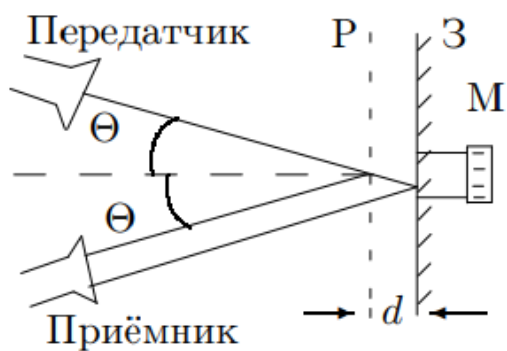


Рис. 2: Интерференция волн СВЧ в плоскопараллельной пластине

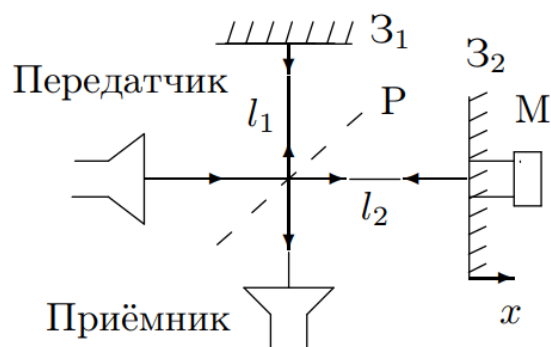


Рис. 3: Интерферометр Майкельсона на СВЧ

4 Используемое оборудование

- приёмно-передающая система радиоволн миллиметрового диапазона
- металлические зеркала
- микрометрический винт
- проволочная решётка
- пластина из диэлектрика

5 Результаты измерений и обработка данных

5.1 Проверка закона Малюса

1. Расположим рупоры как показано на рис. 2, настроим установку на максимум интенсивности методом последовательных приближений.
2. Снимем зависимость уровня сигнала I от угла поворота α приёмной антенны относительно луча, убедимся, что излучаемая электромагнитная волна линейно поляризована
3. Построим графики зависимости уровня сигнала I от $\cos^2 \alpha$, убедимся в справедливости закона Малюса (2)

Зависимость уровня сигнала I от угла поворота приёмной антенны α относительно луча

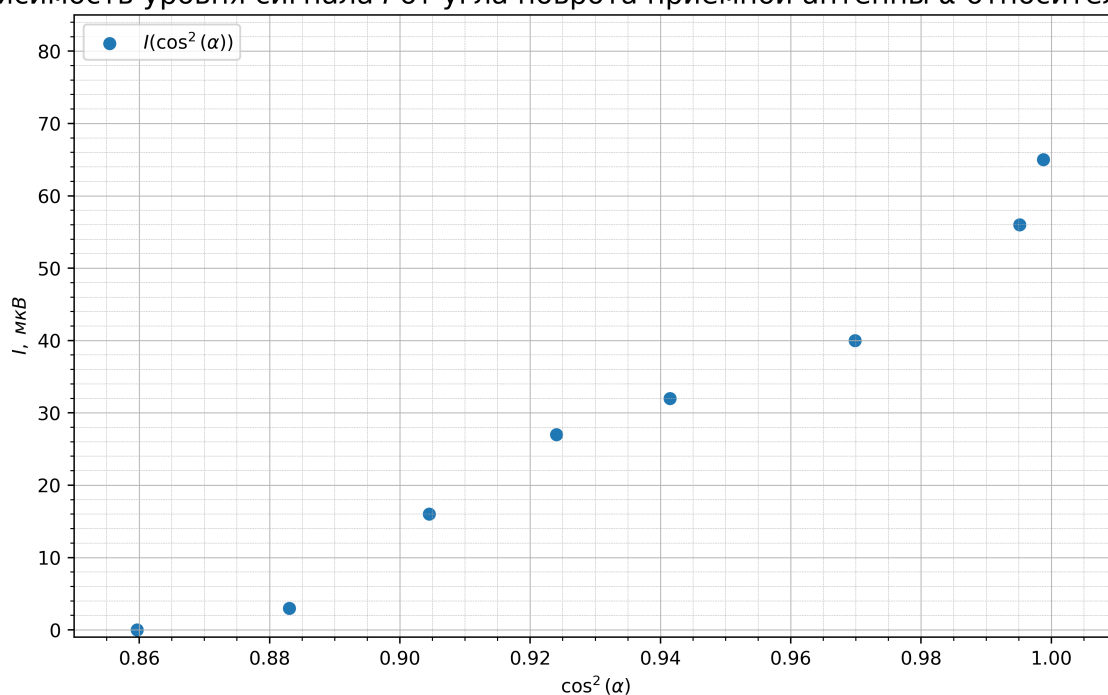


Рис. 4: Зависимость I от $\cos^2 \alpha$

5.2 Интерференция волн, отражённых от зеркала и решётки

1. Закрепим на фиксаторах перед зеркалом металлическую решётку, убедимся, что при перемещении зеркала уровень сигнала в точке приёма изменяется
2. Снимем зависимость интенсивности I от координаты x подвижного зеркала. Построим график зависимости $I(x)$

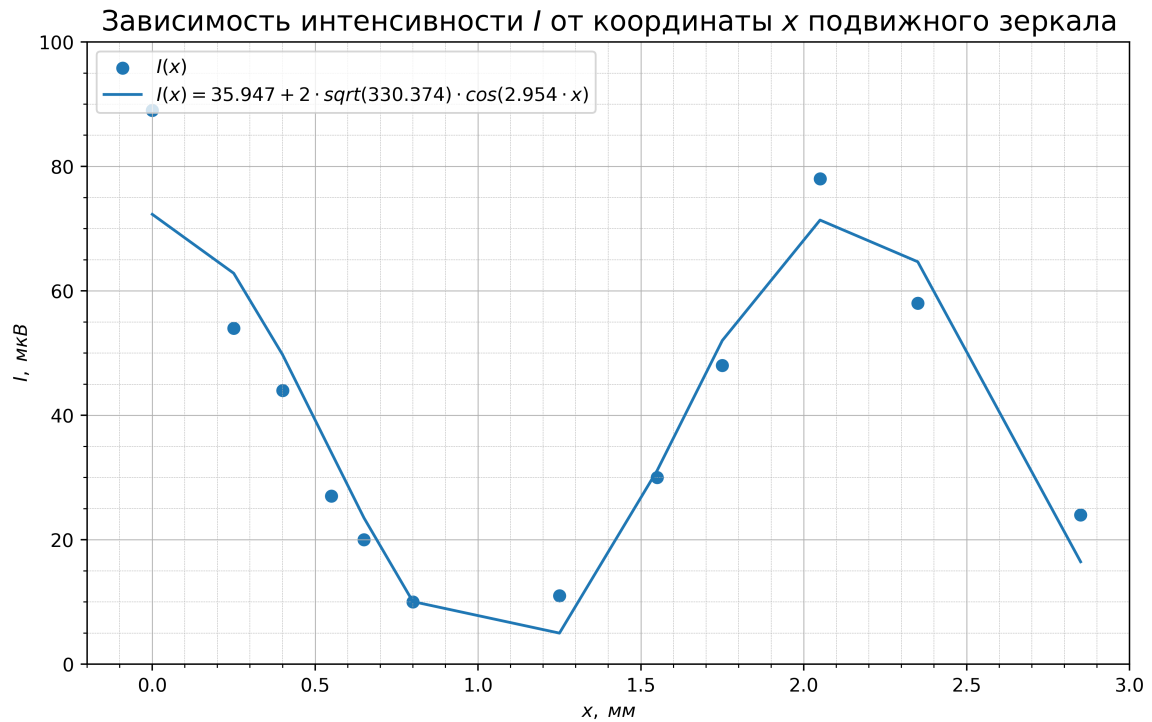


Рис. 5: График зависимости интенсивности сигнала от координаты подвижного зеркала

Длина волны, определённая по этому графику — $\lambda_1 = 4.254$ мм.

Длина волны по частотогенератору: $\lambda_0 = 8.152$ мм (частота 36.8 ГГц).

5.3 Интерферометр Майкельсона

1. Соберём схему интерферометра Майкельсона согласно рис. 3, настроим установку на максимум сигнала.
2. Перемещая подвижное зеркало 32, снимем зависимость координаты x_m в точке интерференционного максимума от номера максимума m , построим график зависимости $x_m = f(m)$

Зависимость координаты интерференционного максимума x_m от его номера m

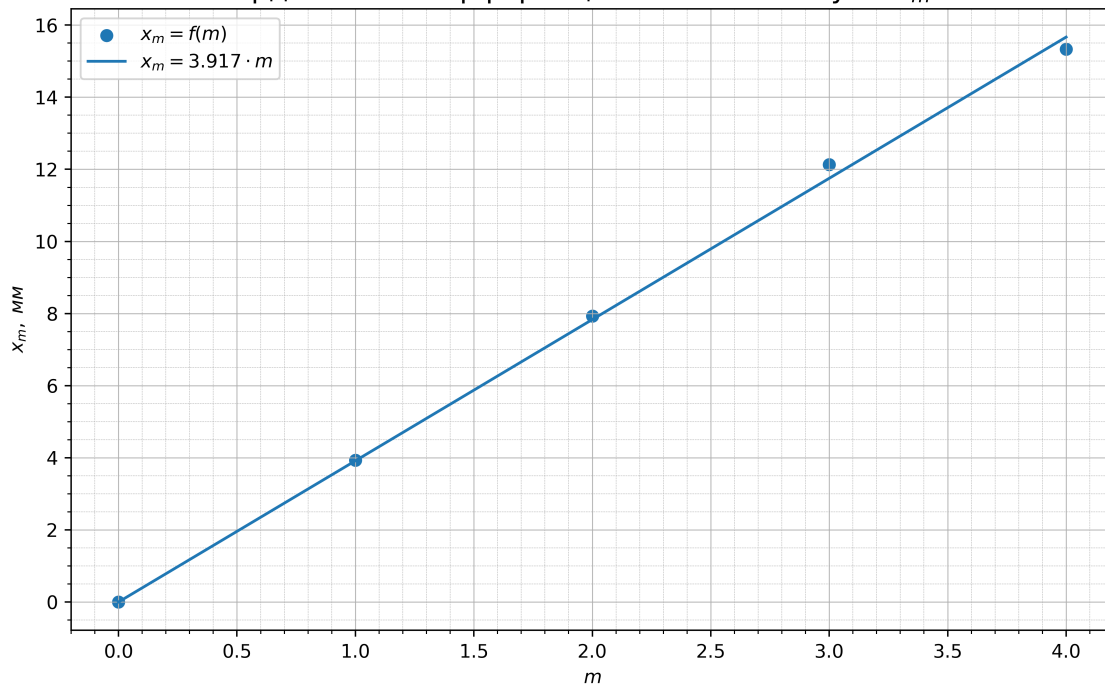


Рис. 6: График зависимости координаты подвижного зеркала от номера интерференционного максимума

По графику определим длину волны: $\lambda_2 = 7.834$ мм

3. Измерим интенсивности в плечах интерферометра $I_1 = 10$ мкВ, $I_2 = 14$ мкВ. Тщательно промерим один период интерференции.
4. Поместим перед подвижным зеркалом 32 тефлоновую пластину толщиной 3.2 мм. Смещение интерференционного максимума от прежнего положения составляет 2.57 мм. По формуле (5) определим показатель преломления тефлона: $n_1 = 1.8$. Табличное значение: $n_0 = 1.4$

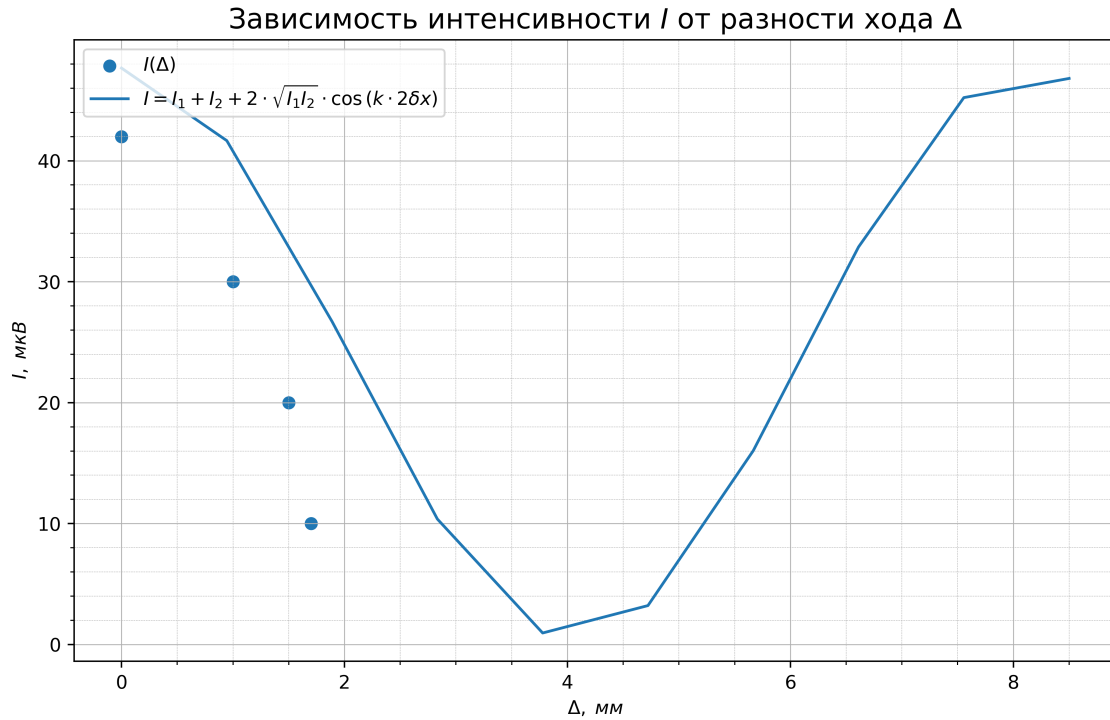


Рис. 7: График Зависимости интенсивности от разности хода. Теоретическая и экспериментальная зависимость

6 Вывод

В ходе работы была изучена интерференция электромагнитных волн миллиметрового диапазона с помощью оптических схем. Несколькими способами определена длина волны:

$$\begin{aligned}\lambda_0 &= 8.152 \text{ мм (частотогенератор)} \\ \lambda_1 &= 4.254 \text{ мм (интерференция с решёткой)} \\ \lambda_2 &= 7.834 \text{ мм (интерферометр Майкельсона)}\end{aligned}$$

Существенное расхождение второго результата может быть связано с люфтом микрометрического винта на подставке зеркала или некорректной интерпретацией экспериментальных данных.

Также был определен показатель преломления тефлона:

$$n_{th} = 1.4 \quad n_{ex} = 1.8$$