

Туннелирование миллиметровых радиоволн

Шмаков Владимир — ФФКЭ - Б04 - 105

МФТИ — Март 2023

Цель работы

Исследование туннелирования электромагнитных волн через воздушный зазор между диэлектрическими призмами.

Теоретические сведения

Назовём волну **неоднородной**, если хотя-бы одна составляющая её волнового вектора — комплексное число. Например, волна с $k_x \in \mathbb{R}_+$, $k_y = 0$, $k_z = \chi i$ распространяется по оси x , а её амплитуда экспоненциально затухает по оси z на характерной длине χ^{-1} .

Из формул Френеля можем получить что при углах больших предельного $\phi > \phi_{\text{пред}}$ во второй среде возникает неоднородная волна, величина χ которой выражается формулой:

$$\chi = \sqrt{k_1^2 \sin^2(\phi_1) - k_2^2} \quad (1)$$

Для описания неоднородных волн вводят величину Λ - **длину затухания**. Её физический смысл — **расстояние при прохождении которого амплитуда неоднородной волны падает в e раз**:

$$I = e^{-\frac{z}{\Lambda}} \quad (2)$$

Длина затухания может быть выражена по формуле:

$$\Lambda = \frac{1}{2\sqrt{k_1^2 \sin^2 \varphi_1 - k_2^2}} = \frac{1}{2k_2 \sqrt{n^2 \sin^2 \varphi_1 - 1}} = \frac{\lambda_2}{4\pi \sqrt{n^2 \sin^2 \varphi_1 - 1}} \quad (3)$$

Методика

Оборудование

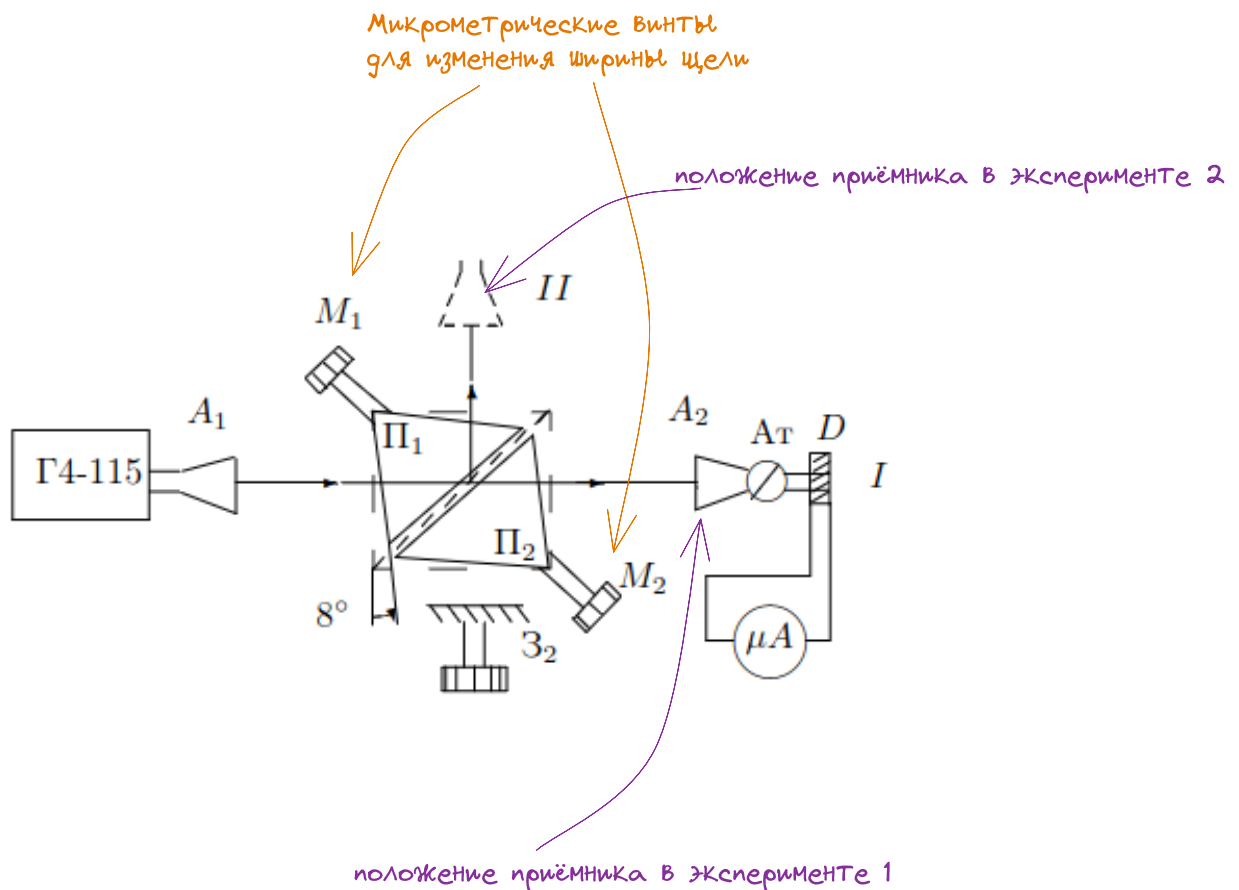
- Генератор СВЧ колебаний
- Приёмная антенна и волновод
- Детектор
- Микроамперметр
- Металлические зеркала
- Две призмы
- Пластина из фторопласта
- Микрометрические винты

Экспериментальная установка

Ниже изображена установка для изучения туннелирования радиоволн. На пути радиоволн устанавливаются две призмы П1 и П2, изготовленные из **фторопласта** — диэлектрика с малыми потерями на высоких радиочастотах.

Геометрия призм близка

к прямоугольной, однако для устранения обратных отражений две грани каждой из призм скошены под углом 8° .

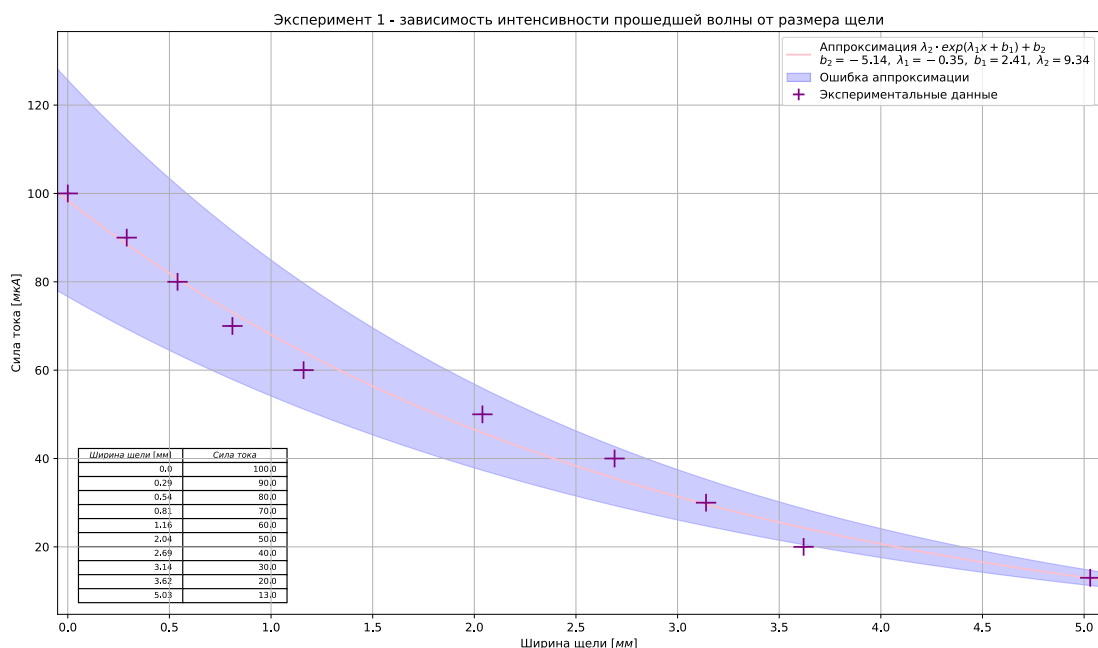


Обработка результатов эксперимента

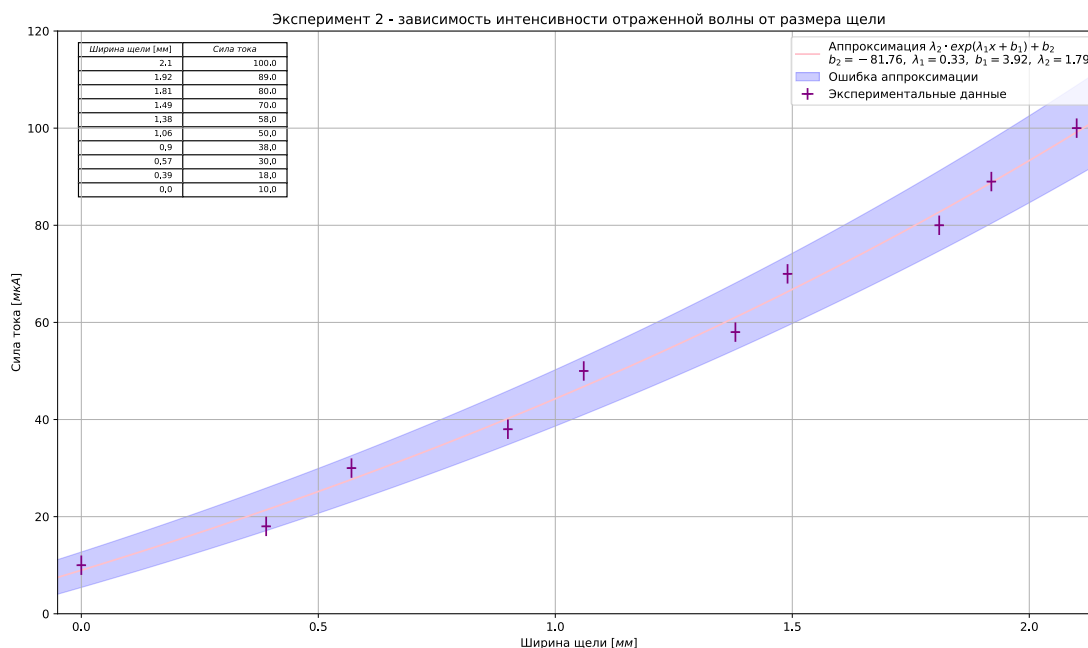
Зависимость коэффициентов отражения и преломления от ширины воздушного зазора

Уберём воздушный промежуток между призмами, и настроим частоту генератора на максимально возможную детектируемую мощность. Такой частотой оказалась 36.95 ГГц .

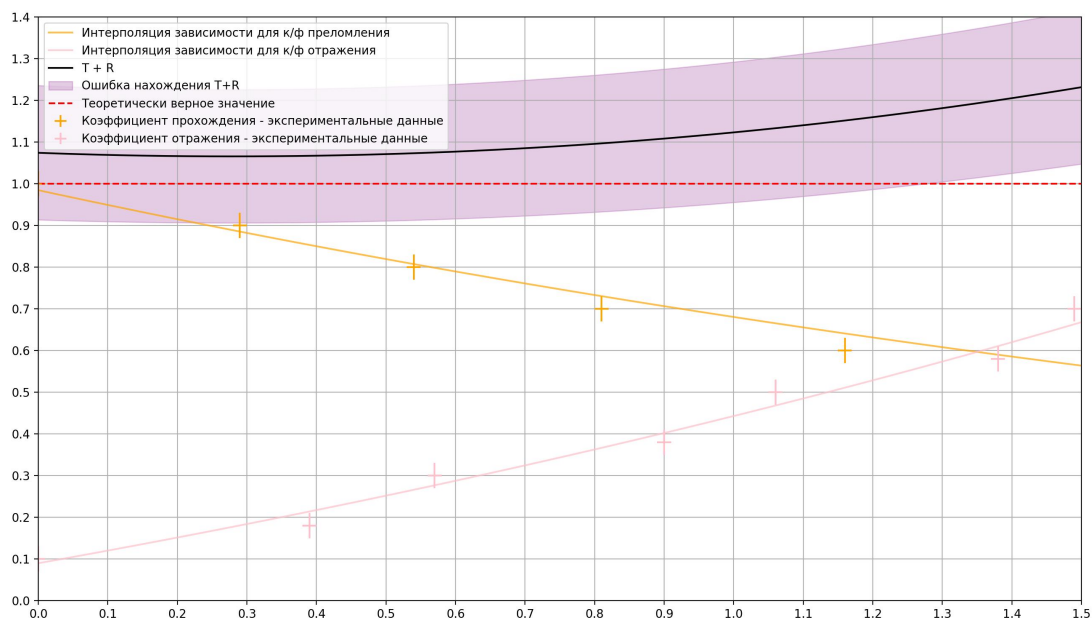
Снимем зависимость интенсивности проходящей волны (интенсивность пропорциональна току) от ширины щели. Для этого будем вращать ручку микрометрического винта, и записывать показания микроамперметра. В результате получим следующую экспоненциальную зависимость:



Переставим приёмник и проведём аналогичный эксперимент. Получим зависимость интенсивности отраженной волны от ширины щели:



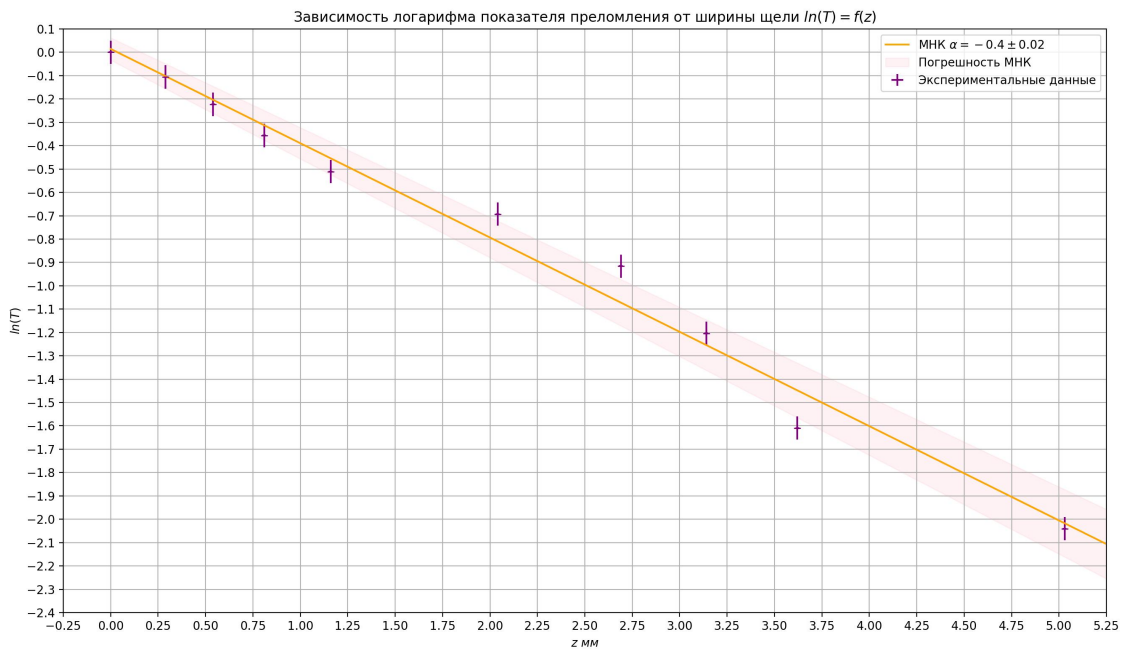
Для получения коэффициентов отражения и преломления нормируем ось значения силы тока. Построим зависимости коэффициентов преломления и отражения от ширины щели, тем самым проверим выполнено ли условие $T + R = 1$:



Как видим, условие не выполняется на всех значениях ширины щели. Это может быть связано с неточностями при проведении эксперимента, и неправильной калибровкой микрометрического винта.

Показатель преломления фторопласта

Найдём показатель преломления фторопласта. Для этого построим график зависимости логарифма коэффициента прохождения от ширины щели:



Коэффициент наилучшего наклона прямой $\alpha = -0.41 \pm 0.02$ 1/мм позволяет вычислить длину затухания:

$$I = e^{-z/\Lambda} \rightarrow \Lambda = -z / \ln(I)$$

Она оказалась равна $\Lambda = 2.5 \pm 0.2$.

Теперь по формуле (2) найдём показатель преломления фторопласта:

$$\Lambda = \frac{\lambda_2}{4\pi\sqrt{n^2\sin^2(\phi_1) - 1}} \rightarrow n \sin(\phi_1) = \sqrt{\frac{16\pi^2\Lambda^2}{\lambda_2^2} + 1}$$

Подставив данные в вышеописанную формулу получим:

$$n = 1.41 \pm 0.8$$

Сравним значение с табличным. Согласно источнику [Влияние полимерной отражающей оболочки на оптические потери световодов из халькогенидных стекол](#) показатель преломления фторопласта лежит в диапазоне 1.4 – 1.42. Таким образом экспериментальное значение соответствует действительности.

Вывод

В ходе работы было исследовано явление туннелирования радиоволн. Явление позволяет с высокой точностью рассчитывать показатели преломления диэлектрических веществ.

Погрешность измерения показателя преломления фторопласта составляет всего 6%. При этом вычисленное значение совпало с табличным.