

Туннелирование на сверхвысоких частотах.

Гончаров Марк

23 марта 2021 г.

1 Теория

Проникновение электромагнитных волн в менее плотную среду при полном внутреннем отражении - явление той же природы, что и проникновение частиц в область, где их полная энергия оказывается меньше потенциальной энергии. Это явление изучается в квантовой физике и носит название **туннельного эффекта**.

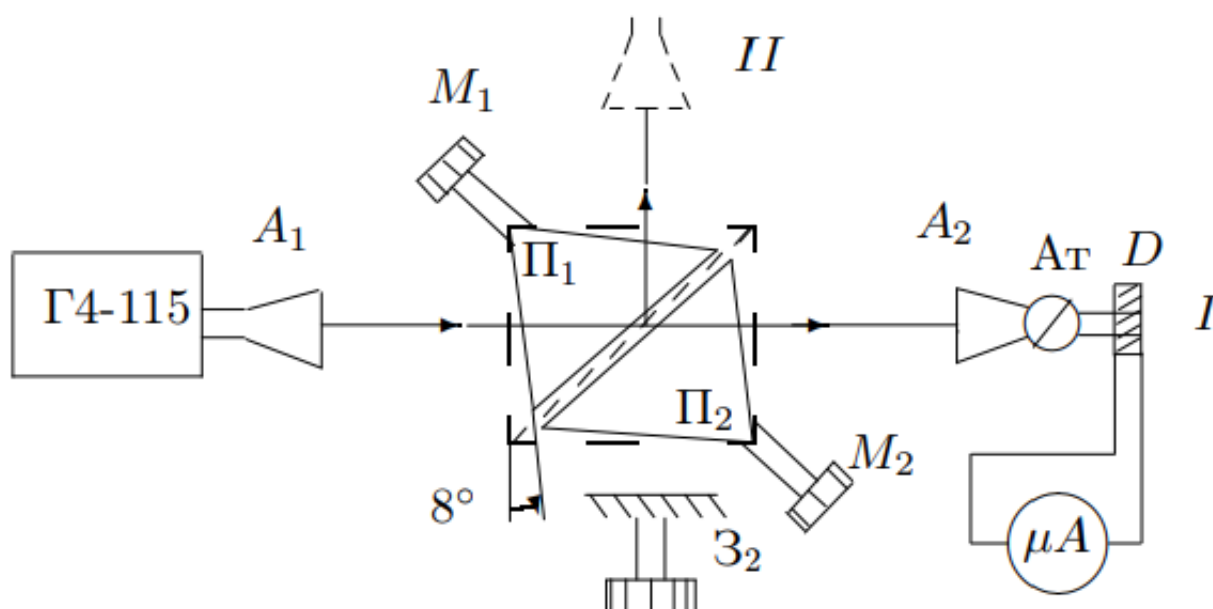


Рис. 1: Схема установки

Исследуем этот эффект - проникновение ЭМВ через воздушный зазор между диэлектрическими призмами при полном внутреннем отражении на границе диэлектрик-воздух. Моделирование интерферометра Майкельсона с использованием этого эффекта и измерение длины волны излучения и показателя преломления фторопласта для радиоволн миллиметрового диапазона.

Для измерения показателя преломления материала призм мы установим пластину толщины h из того же материала, что и призмы - фторопласта. Имеем тогда приращение длины "оптического пути"

$$\Delta = 2h(n - 1).$$

Однако это приращение можно скомпенсировать, передвинув подвижное зеркало на необходимое расстояние δx :

$$\delta x = h(n - 1).$$

2 Туннелирование

Сначала мы настроили генератор на $f = 36.36 \text{ ГГц}$. Соответствующая длина волны $\lambda = \frac{c}{\nu} \approx 8.25 \pm 0.01 \text{ мм}$.

Теперь рассматриваем преломление через фторопласт.

Преломление		Отражение	
мм	A, 10 ⁻⁵	мм	A, 10 ⁻⁵
9,34	87	15	87
9,6	85	14,77	85
9,66	84	14,58	83
9,85	83	14,45	82
9,89	81	14,31	81
9,94	80	14,09	79
9,97	79	13,59	77
10,01	78	13,44	74
10,05	77	13,31	73
10,08	75	13,09	71
10,09	74	12,97	68
10,12	73	12,9	67
10,14	72	12,69	64
10,18	70	12,42	62
10,21	69	12,2	59
10,25	68	12,11	57
10,36	66	11,93	56
10,4	64	11,82	53
10,49	63	11,59	52
10,55	60	11,55	50
10,58	58	11,3	47
10,63	56	11,22	45
10,71	55	11,06	44
10,77	53	10,99	41
10,82	51	10,93	39
10,94	48	10,76	36
10,99	47	10,72	34
11,02	45	10,65	30
11,24	42		
11,37	39		
11,51	36		
11,69	34		
11,9	30		

Рис. 2: Измеренные значения

Как видно, соотношение $T + R = 1$ примерно выполняется. Также заметим величину щели 11мм, при которой $T \approx R \approx 0.5$. На этой щели выполним интерференцию Майкельсона.

В задании для определения длины затухания Λ построим график $\ln(T) = f(z)$, где z - толщина щели. Из теории мы знаем, что

$$I \propto e^{-\frac{z}{\Lambda}}.$$

Для нашего случая $\frac{z}{T} = -\Lambda$. Имеем с помощью МНК: $\tan \alpha = -0.57 \pm 0.05$.

Здесь неплохая погрешность получилась при условии неучитывания первых четырёх точек. Они были сделаны некачественно из-за возникшего люфта.

Далее мы знаем, что

$$\Lambda = \frac{1}{4\pi\sqrt{(n \sin \varphi)^2 - 1}}.$$

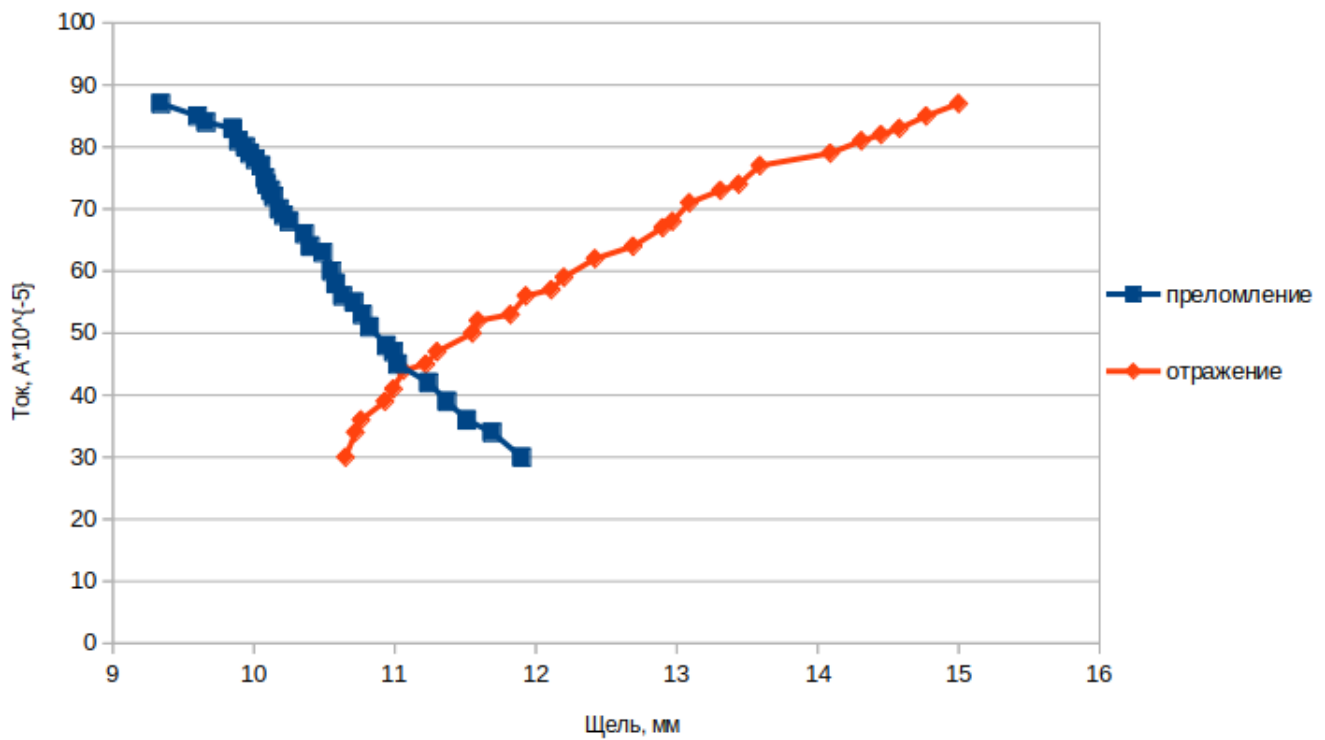
Тогда

$$n \sin \varphi = \sqrt{1 + \frac{1}{(4\pi\Lambda)^2}} = 1.01 \pm 0.08.$$

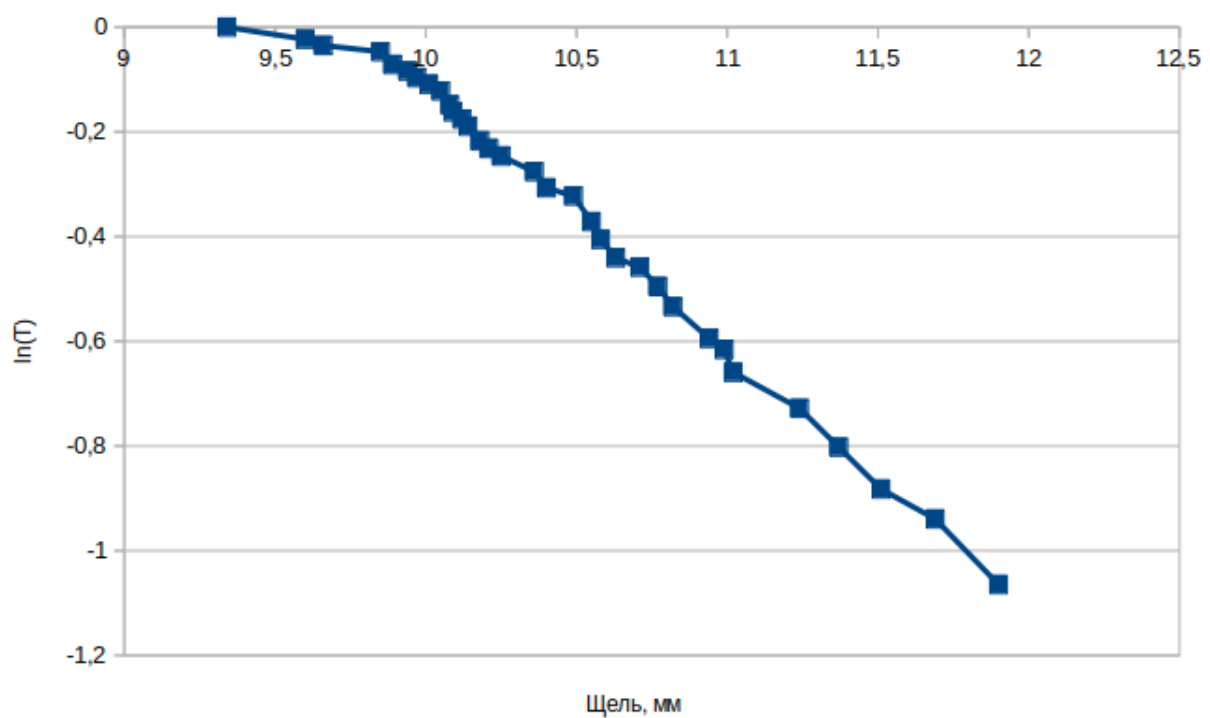
Да, последний знак почти ничего не значит, однако оставим пока для конечного результата.

В нашем эксперименте угол падения $\varphi \approx \frac{\pi}{4}$, то есть $\sin \varphi \approx 1.414$. Итог: 1.42 ± 0.1 . Теперь действительно последний знак не имеет значения: $n = 1.4 \pm 0.1$.

Туннелирование



Расчёт длины затухания



Табличное значение $n_{\text{tabl}} \approx 1.46$, что неплохо сочетается с полученными результатами! Мы молодцы!

3 Майкельсон

Мы подвигали подвижное зеркало и убедились, что действительно наблюдаем интерференцию

l, 10 ⁻¹ мкА	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	66	50	40	20	1	20	33	51	68	49	25	5
X, 0	0,14	0,19	0,25	0,3	0,41	0,65	1,01	1,29	2,06	2,49	3,43	3,72	4,82	5,44	6,47	6,79	7,02	7,8	8,19	9,32	9,88	10,31

На втором максимуме поставили пластинку толщины $h \approx 6.2$. Пришлось для того, чтобы опять наблюдать второй максимум передвинуть зеркало на $\delta x = 1.922 \pm 0.001$ мм.

По формуле $\delta x = h(n - 1)$ находим показатель преломления фторопласта:

$$n = 1 + \frac{\delta x}{h} = 1.31 \pm 0.01.$$

Явно дальше от правды... Всё равно мне кажется, что виноваты неровности пластинки.

4 Вывод

Мы рассмотрели эффект туннелирования, рассчитывали длину затухания, нашли коэффициент преломления фторопласта. Повторили опыт Майкельсона, по результатам которого, увы, получили не самый лучший результат.