

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
ФИЗТЕХ-ШКОЛА РАДИОТЕХНИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

Лабораторная работа 3.7.1  
**Скин-эффект в полом цилиндре.**

---

Устюжанина Мария  
Группа Б01-107

**Цель работы:** исследование проникновения переменного магнитного поля в медный полый цилиндр.

**В работе используются:** генератор звуковой частоты, соленоид, намотанный на полый цилиндрический каркас из диэлектрика, медный экран в виде трубки, измерительная катушка, амперметр, вольтметр, осциллограф.

## 1 Экспериментальная установка

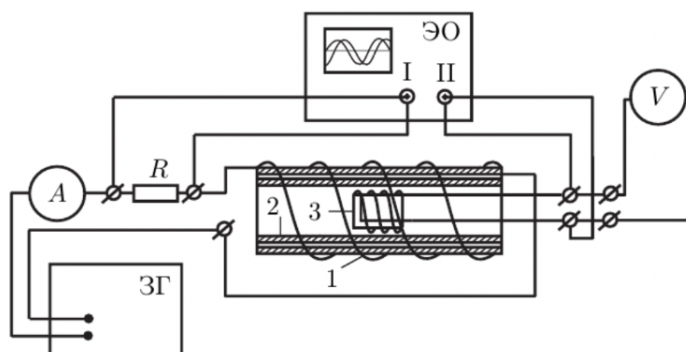


Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

## 1.1 Подготовка

Приняв проводимость меди для оценки равной  $\sigma = 5 \cdot 10^7$  См/м рассчитаем частоту  $\nu_h$  Гц, при которой толщина стенок экрана равна скинковой длине  $\delta = h = 1.5$  мм. По формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu_0}} \Rightarrow \nu_h = \frac{1}{\pi \sigma \mu_0 h^2} = 2250 \text{ Гц}$$

## 1.2 Измерения в диапазоне (0.01мкГн – 0.05мкГн)

Получим зависимость соотношения  $\xi = U/(\nu I)$  от частоты  $\nu$ :

$\nu$ , Гц	U, В	I, А	$\xi = U/(\nu I)$
22.5	0.195	0.461	0.0188
31.5	0.269	0.457	0.0187
40.5	0.338	0.453	0.0184
49.5	0.403	0.448	0.0182
58.5	0.463	0.442	0.0179
67.5	0.518	0.436	0.0176
76.5	0.569	0.43	0.0173
85.5	0.614	0.423	0.0170
94.5	0.654	0.418	0.0166
103.5	0.69	0.412	0.0162
112.5	0.723	0.406	0.0158

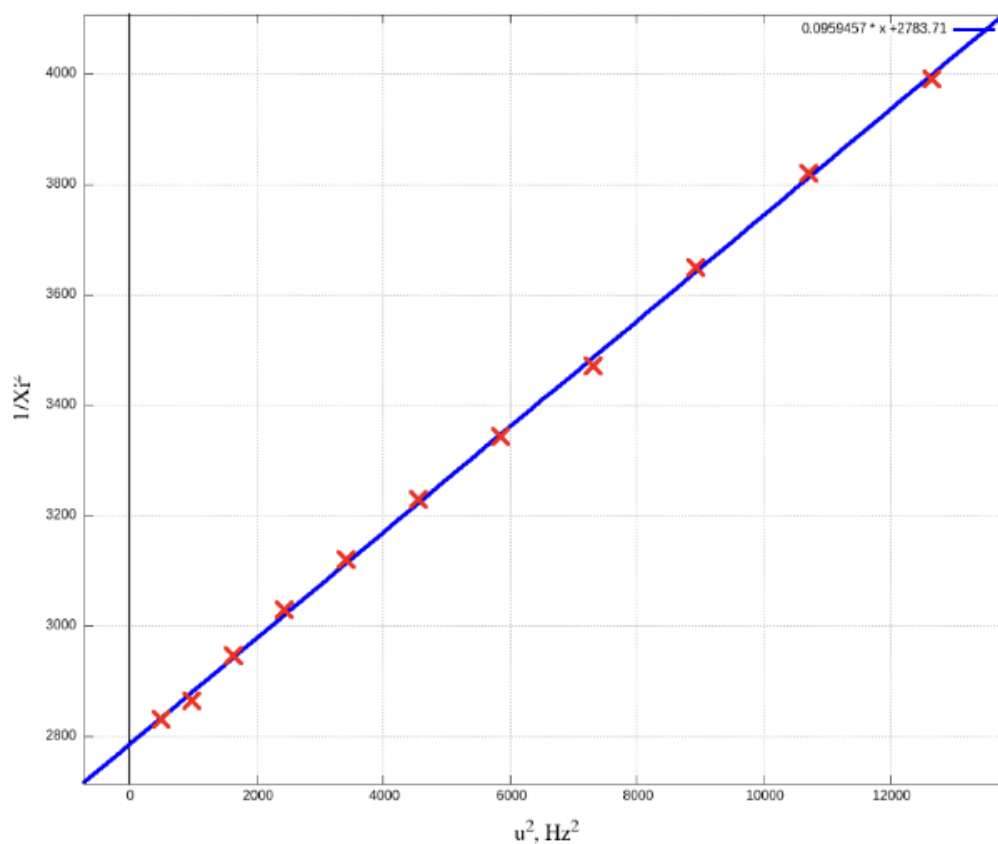


Рис. 2: график  $1/\xi^2(\nu^2)$

Получена зависимость вида  $1/\xi^2 = a \cdot \nu^2 + b$ :

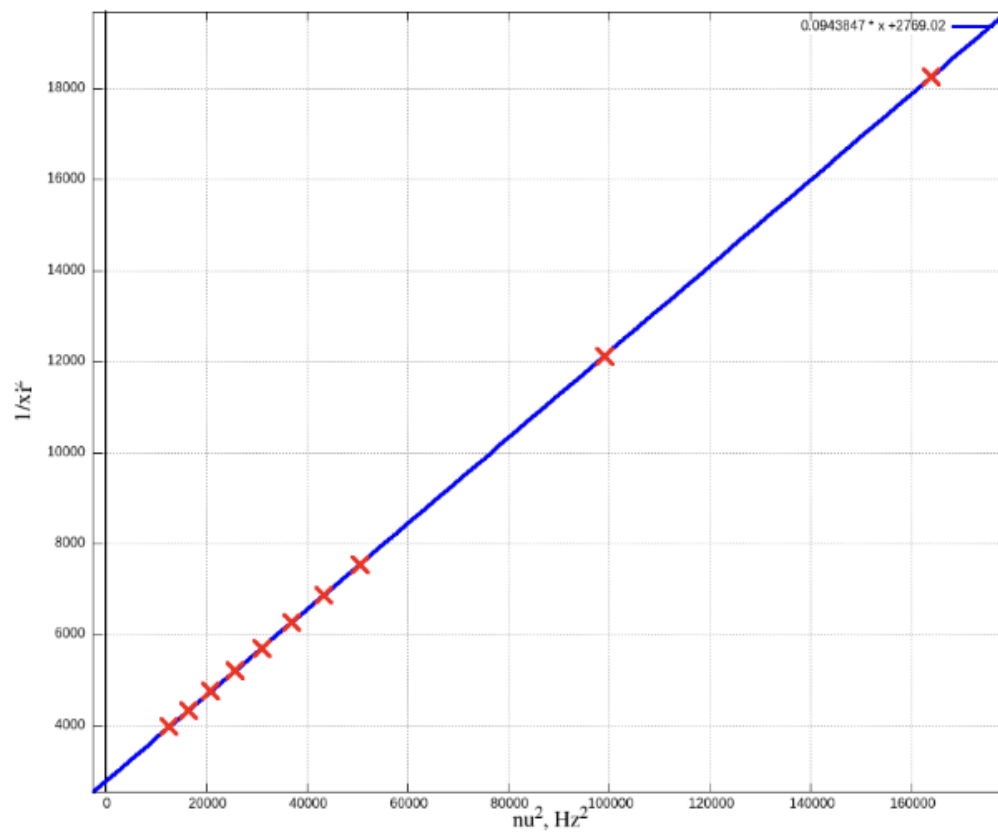
$$a = (0.096 \pm 7 \cdot 10^{-4})$$

$$b = (2783 \pm 2.7)$$

### 1.3 Измерения в диапазоне (0.05мкГн – 0.5мкГн)

Исследуем зависимости  $\xi$  и  $\psi$  от  $\nu$ :

$\nu$ , Гц	U, В	I, А	$\psi$ , рад	$\xi = U/(\nu I)$
112.5	0.721	0.404	3.70	0.0159
128.5	0.769	0.394	3.87	0.0152
144.5	0.809	0.386	4.06	0.0145
160.5	0.841	0.378	4.05	0.0139
176.5	0.868	0.371	4.04	0.0133
192.5	0.89	0.366	4.11	0.0126
208.5	0.908	0.361	4.06	0.0121
225	0.923	0.356	4.05	0.0115
315	0.967	0.338	4.32	0.0091
405	0.98	0.327	4.27	0.0074
495	0.979	0.318	4.29	0.0062
585	0.971	0.311	4.43	0.0053
675	0.959	0.304	4.61	0.0047
765	0.943	0.297	4.59	0.0042
855	0.927	0.291	4.68	0.0037
945	0.908	0.284	4.62	0.0034
1035	0.888	0.278	4.71	0.0031

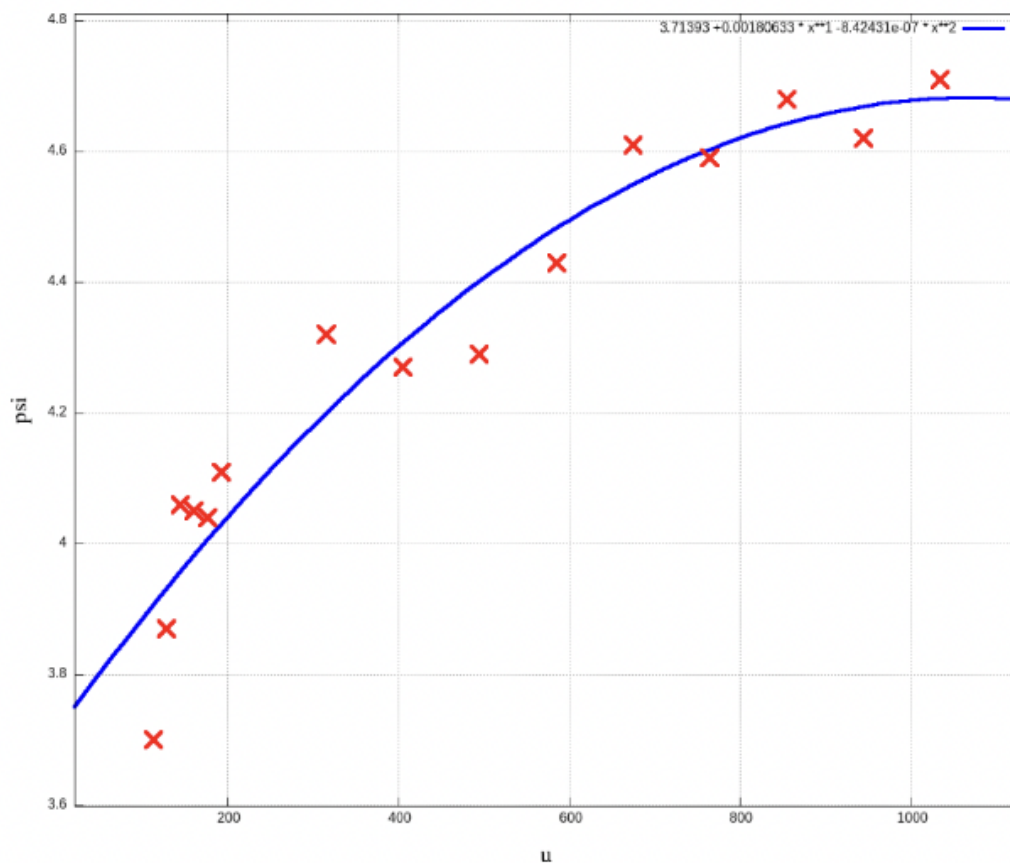
Рис. 3: график  $1/\xi^2(\nu^2)$ 

Получена зависимость вида  $1/\xi^2 = a \cdot \nu^2 + b$ :

$$a = (0.094 \pm 8 \cdot 10^{-5})$$

$$b = (2769 \pm 3.5)$$

Что совпадает со значениями на интервале  $(0.01\text{мкГцн} - 0.05\text{мкГцн})$ , говоря о том, что зависимость одинаковая на обоих диапазонах

Рис. 4: график  $\psi(\nu)$ 

Аппроксимируем многочленом 2 степени:

$$\psi = 3.7 + 0.002\nu - 8.4 \cdot 10^{-7}\nu^2 \text{ рад}$$

#### 1.4 Измерения в диапазоне (0.5мкГн – 15мкГн)

Исследуем зависимости  $\xi$  и  $\psi$  от  $\nu$ :

$\nu$ , Гц	U, В	I, А	$\psi$ , рад	$\xi = U/(\nu I)$
1125	0.867	0.271	4.71	0.00284
3330	0.468	0.148	5.02	0.0009
5535	0.288	0.095	5.41	0.00055
7740	0.197	0.068	5.80	0.0004
9945	0.143	0.053	6.03	0.0003
12150	0.106	0.041	6.13	0.00021
14355	0.081	0.034	6.28	0.00017
16560	0.062	0.028	6.70	0.00013
18765	0.049	0.023	6.75	0.00011
20970	0.039	0.019	7.07	9.8E-05
23175	0.031	0.015	7.14	8.9E-05
25380	0.026	0.012	4.55	8.5E-05
27585	0.023	0.008	8.37	0.00010
29790	0.022	0.006	8.50	0.00012
31995	0.023	0.003	9.22	0.00024

Аппроксимируем многочленом 2 степени:

$$\xi = 21.4 - 0.0023\nu + 5.6 \cdot 10^{-8}\nu^2$$

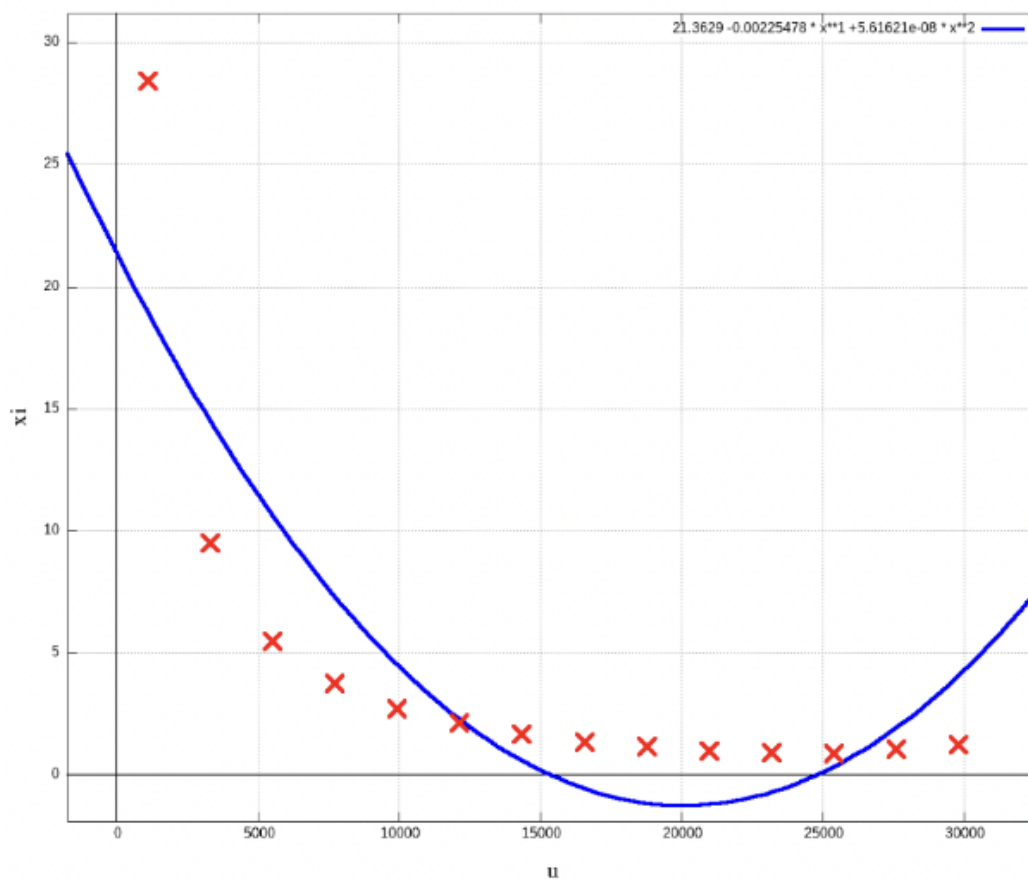


Рис. 5: график  $\xi(\nu)$

Аппроксимируем прямой вида  $\psi = a\nu + b$  :

$$a = 1.3 \cdot 10^{-4} \pm 6.3 \cdot 10^{-6}$$

$$b = 4.55 \pm 0.06$$

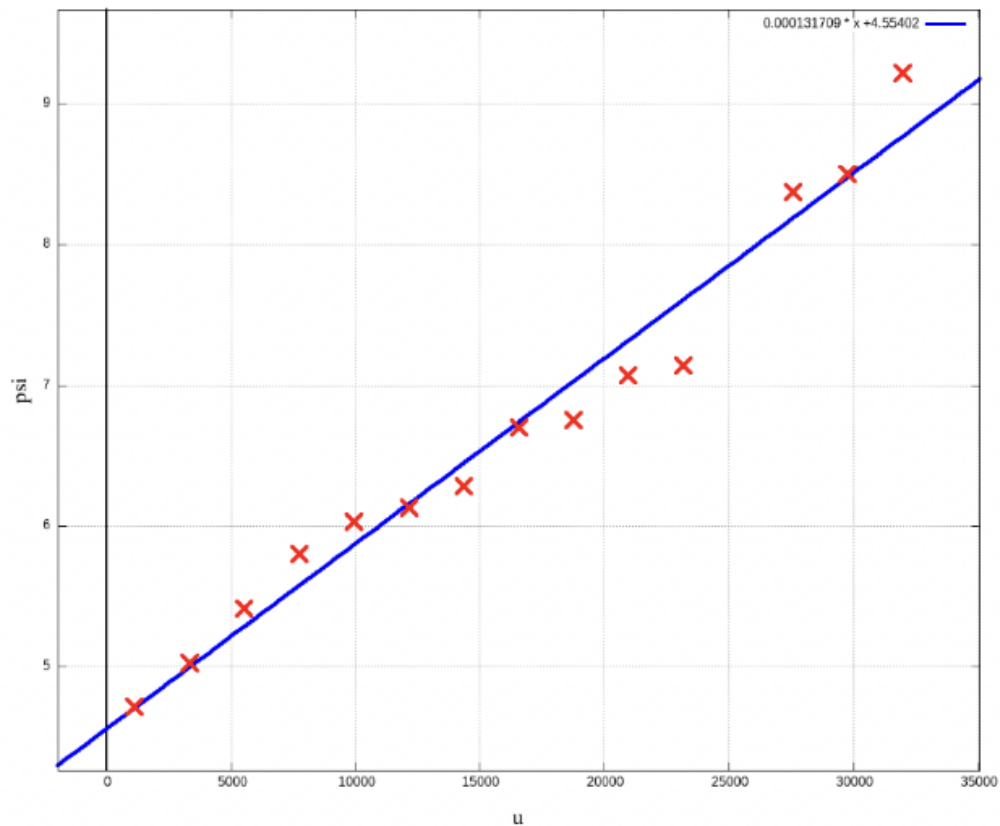


Рис. 6: график  $\psi(\nu)$

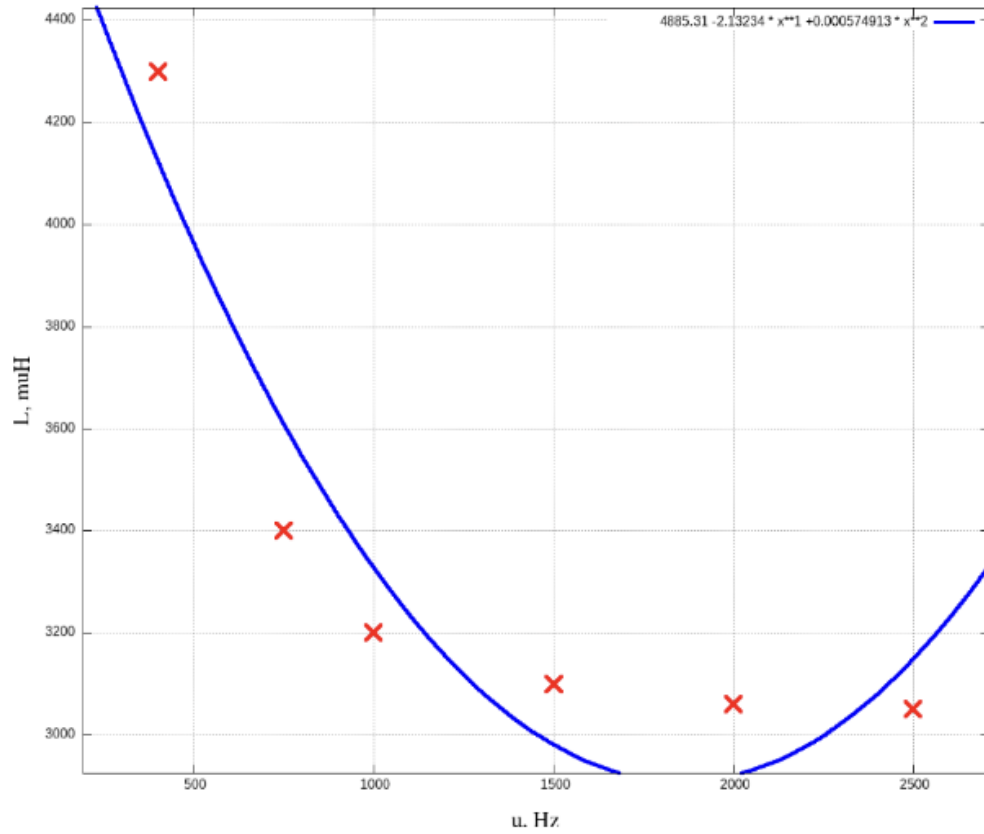
### 1.5 Зависимость $L$ от $\nu$

$\nu$ , Гц	$L$ , $\mu H$
40	550
400	4300
750	3400
1000	3200
1500	3100
2000	3060
2500	3050

Аппроксимируем многочленом 2 степени:

$$L = 4885 - 2.1\nu + 0.0006\nu^2$$



Рис. 7: график  $L(\nu)$ 

## 2 Обработка экспериментальных данных

### 2.1

По графикам на рисунках 11 и 12 легко убедиться что зависимость  $1/\xi^2(\nu^2)$  имеет линейный вид.

Экстраполируя полученную зависимость к точке  $\nu = 0$ , соответствующей величине  $\frac{|H_1|}{|H_0|} = 1$  определим коэффициент пропорциональности  $\xi_0$  между  $\xi$  и  $\frac{|H_1|}{|H_0|}$ :

$$\xi_0 = 53$$

Из того что в области низких частот

$$\left(\frac{|H_1|}{|H_0|}\right)^2 = (\xi_0 \xi)^2 \simeq \frac{1}{1 + A\nu^2}$$

получим что угловой коэффициент зависимости  $1/\xi^2(\nu^2)$  равен

$$k = \pi a h \mu_0 \xi_0 \sigma = (0.096 \pm 7 \cdot 10^{-4})$$

Отсюда найдём прпроводимость меди:

$$\sigma = \frac{k}{\pi a h \mu_0 \xi_0} = 13.6 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$$

## 2.2

Перерисую график  $\psi$  от  $\nu$  и опроксимирую прямой получим:

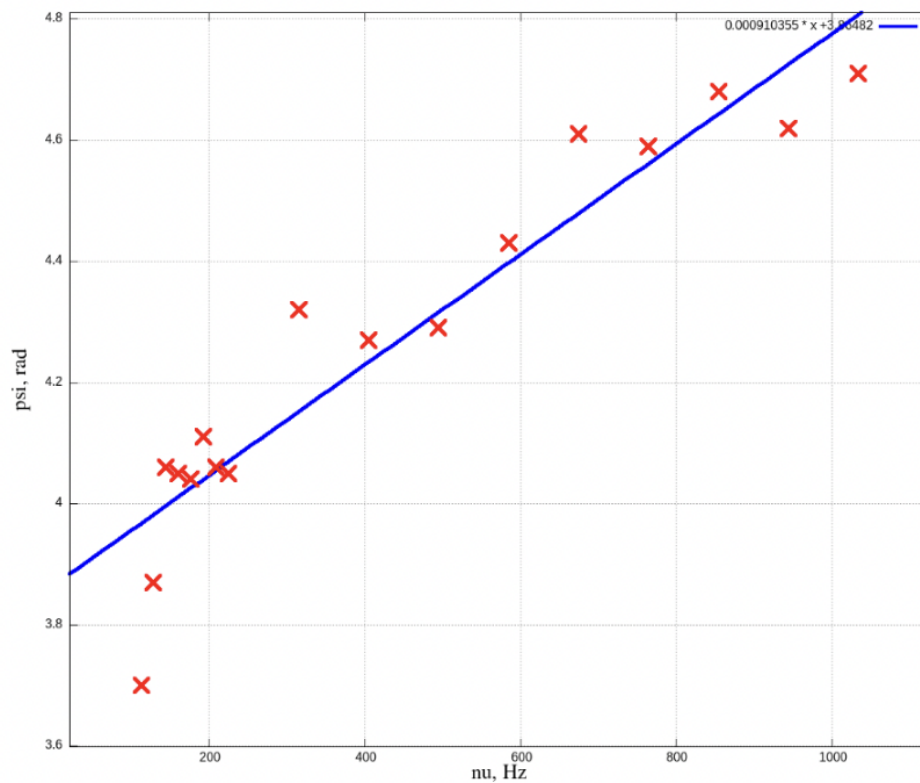


Рис. 8: график  $\psi(\nu)$

Полученная зависимость вида  $\psi = a \cdot \nu + b$

$$a = (9 \pm 0.08) 10^{-3} \text{ рад/Гц}$$

$$b = (3.9 \pm 0.02) \text{ рад}$$

Из того что

$$\text{tg}(\psi) = \frac{ah}{\delta^2}$$

и

$$\delta^2 = \sqrt{\frac{1}{\pi\nu\sigma\mu_0}}$$

получим:

$$\text{tg}(\psi) = \pi ah\sigma\mu_0\nu$$

И тогда через коэффициент пропорциональности в зависимости  $\psi(\nu)$  найдём проводимость меди:

$$\sigma = \frac{\text{tg}(\psi)/\nu}{\pi ah\mu_0} = 67.5 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$$

## 2.3

Построим график зависимости  $\phi = \psi - \frac{\pi}{4}$  от  $\sqrt{\nu}$ :

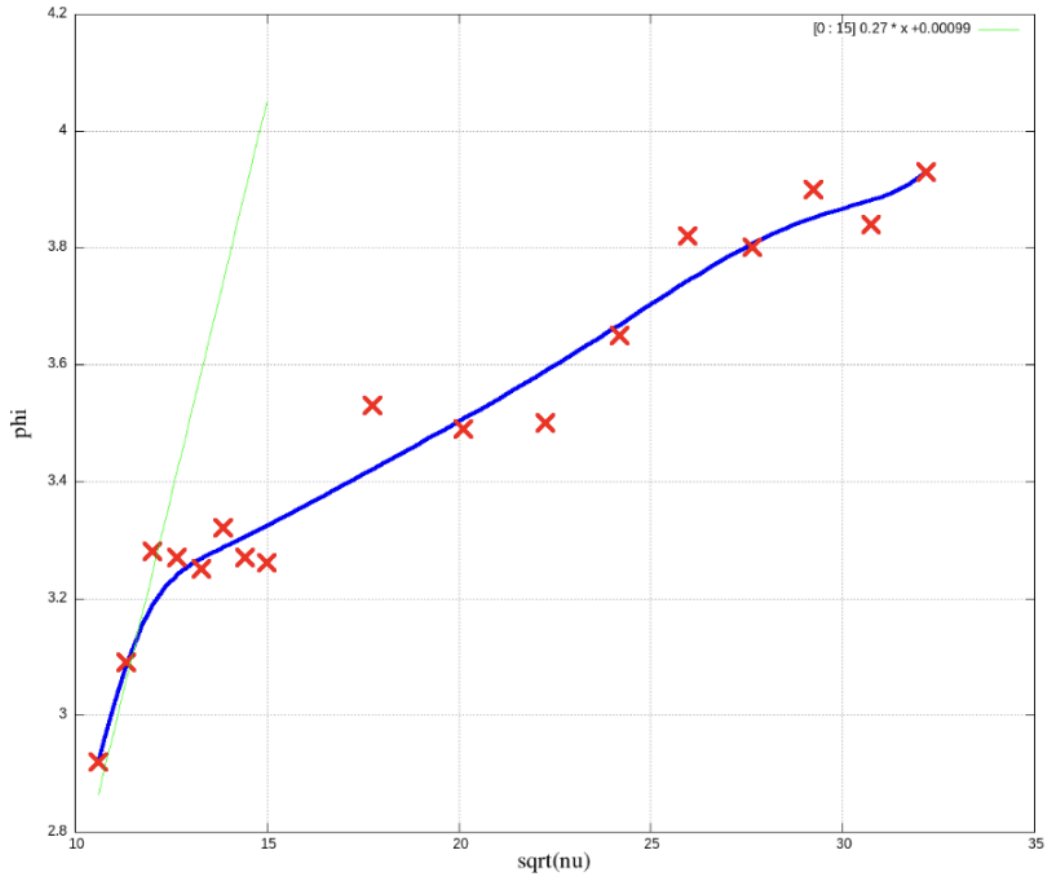


Рис. 9: график  $\phi(\sqrt{\nu})$

Угловой коэффициент касательной:

$$k = 0.27$$

Отсюда, т.к.

$$\psi = \frac{\pi}{4} + h\sqrt{\pi\nu\sigma\mu_0}$$

получим значение:

$$\sigma = \frac{k^2}{h^2\pi\mu_0} = 8207 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$$

Это значение не выглядит реалистичным, что можно связать с ошибками экспериментаторов во время измерения разности фаз.

## 2.4

По результатам измерений, изображённым на Рис. 16 Определим максимальное и минимальное значение индуктивности:

$$L_{min} = 550 \mu H$$

$$L_{max} = 3060 \mu H$$

Построим график зависимости  $(L_{max} - L_{min})/(L - L_{min})$  от  $\nu^2$  ( $10^6 \text{ Гц}^2$ ):

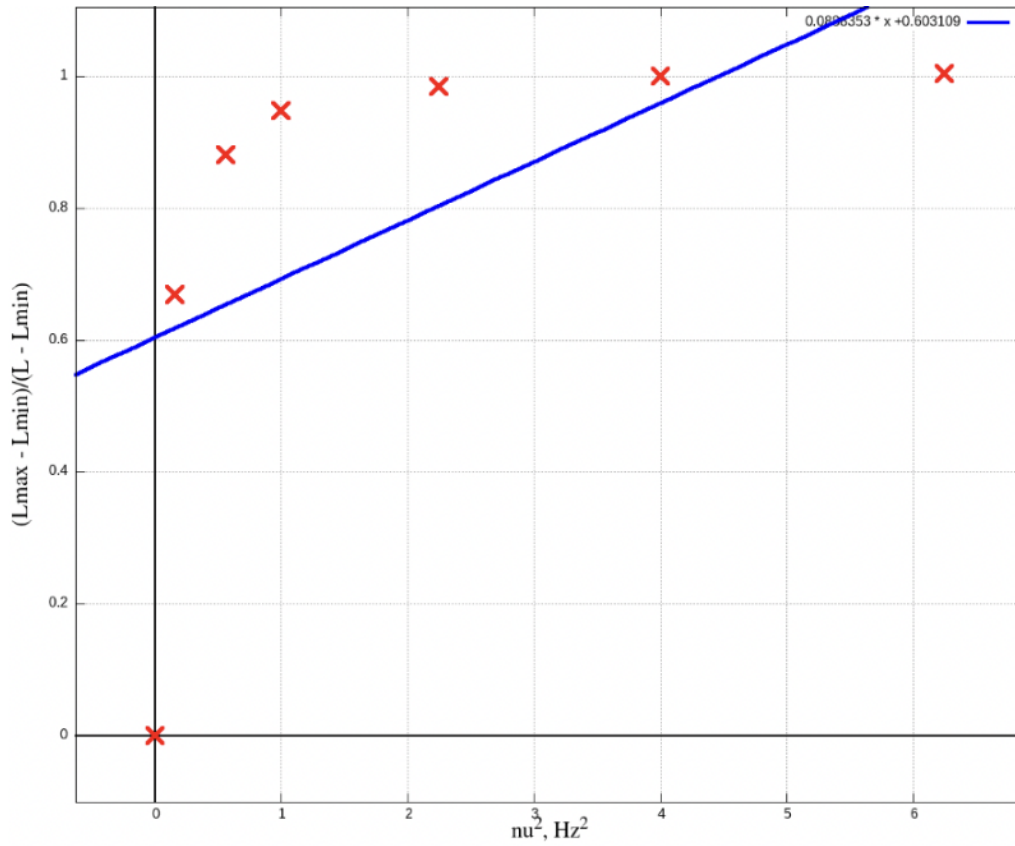


Рис. 10: график зависимости  $(L_{\max} - L_{\min}) / (L - L_{\min})$  от  $\nu^2 \cdot 10^6 \text{ Гц}^2$

Из графика видно, что измерения плохо опроксимируются прямой. Скорее всего это произошло в виду неправильного обращения экспериментаторов с измеряющим прибором и установкой. В следствии этого оценить проводимость материала исходя из этого эксперимента не предоставляется возможным.

## 2.5

Сравним значения проводимости медного экрана, полученные в ходе различных экспериментов:

$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ из 3.1	$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ из 3.2	$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ из 3.3	$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ из 3.4	$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ табличное
1.36	6.75	820	—	5.96

Можно заметить, что значения полученные в пунктах 3.1 и 3.2 достаточно близки к табличному. В то же время значение, полученное в пункте 3.3 далеко от табличного, а в 3.4 его вычисление и вовсе не предоставляется возможным, что можно связать с ошибками экспериментаторов в ходе этих экспериментов.

## 2.6

Расчитаем, используя значение  $\xi_0 = 53$ , полученное в пункте 3.1, значение  $|H_1|/|H_0|$  для всех измерений. Используем формулу

$$\frac{H_1}{H_0} = \xi \xi_0$$

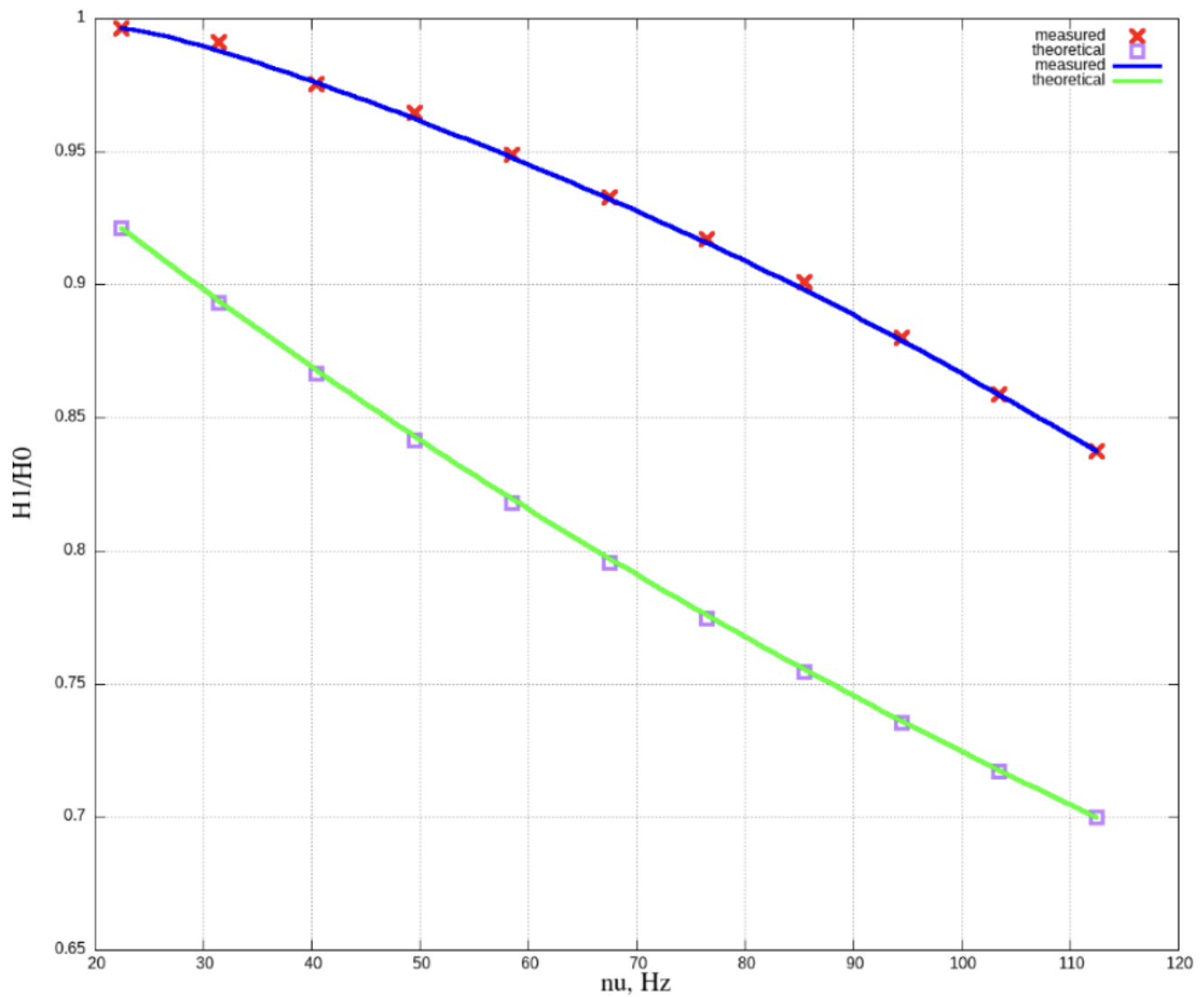
(Так же получим из формулы

$$\frac{H_1}{H_0} = \frac{1}{\cosh(\alpha h) + \frac{1}{2}\alpha a \cdot \sinh(\alpha h)},$$

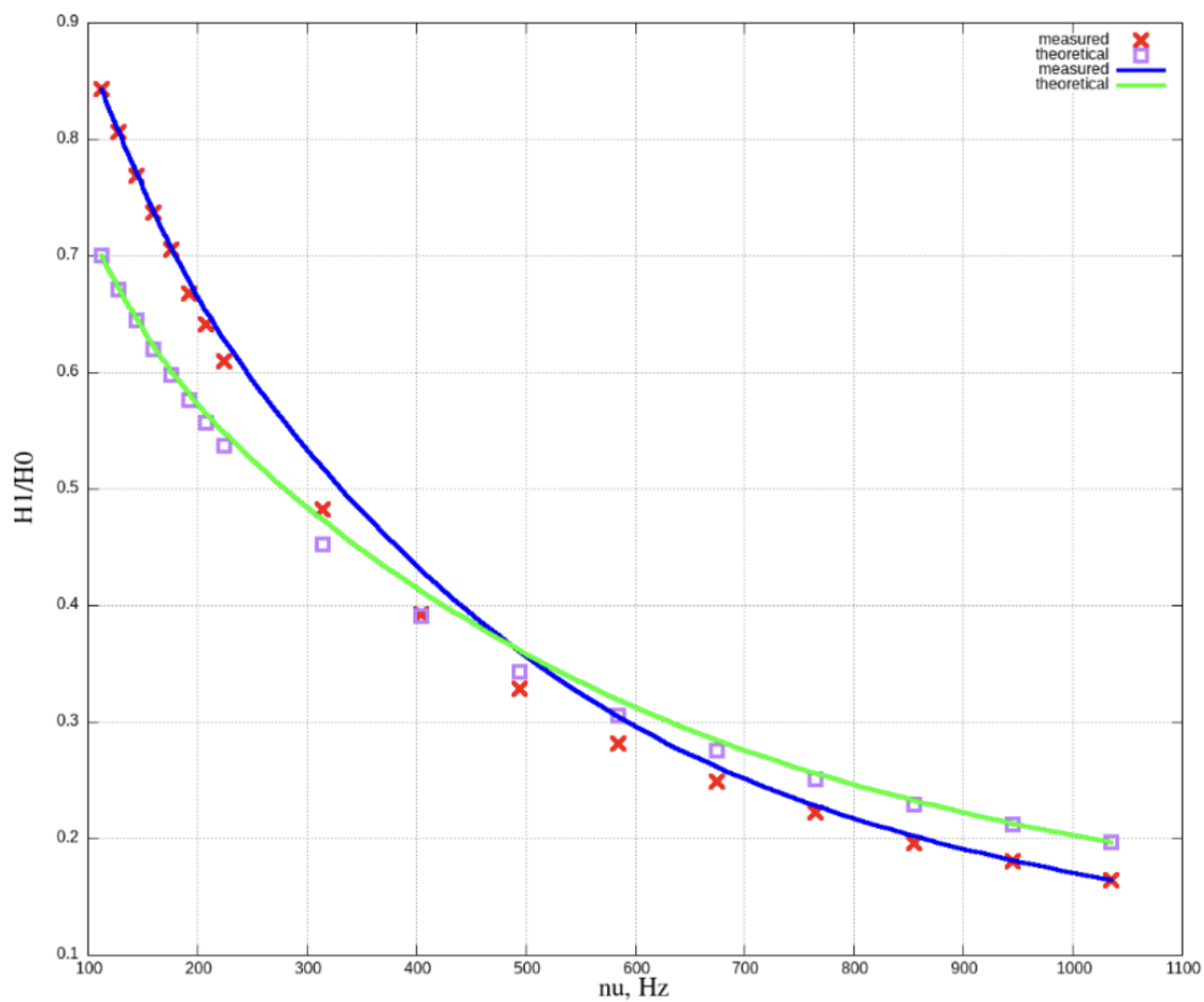
где

$$\alpha = \sqrt{\pi\nu\sigma\mu} \cos(\pi/4)$$

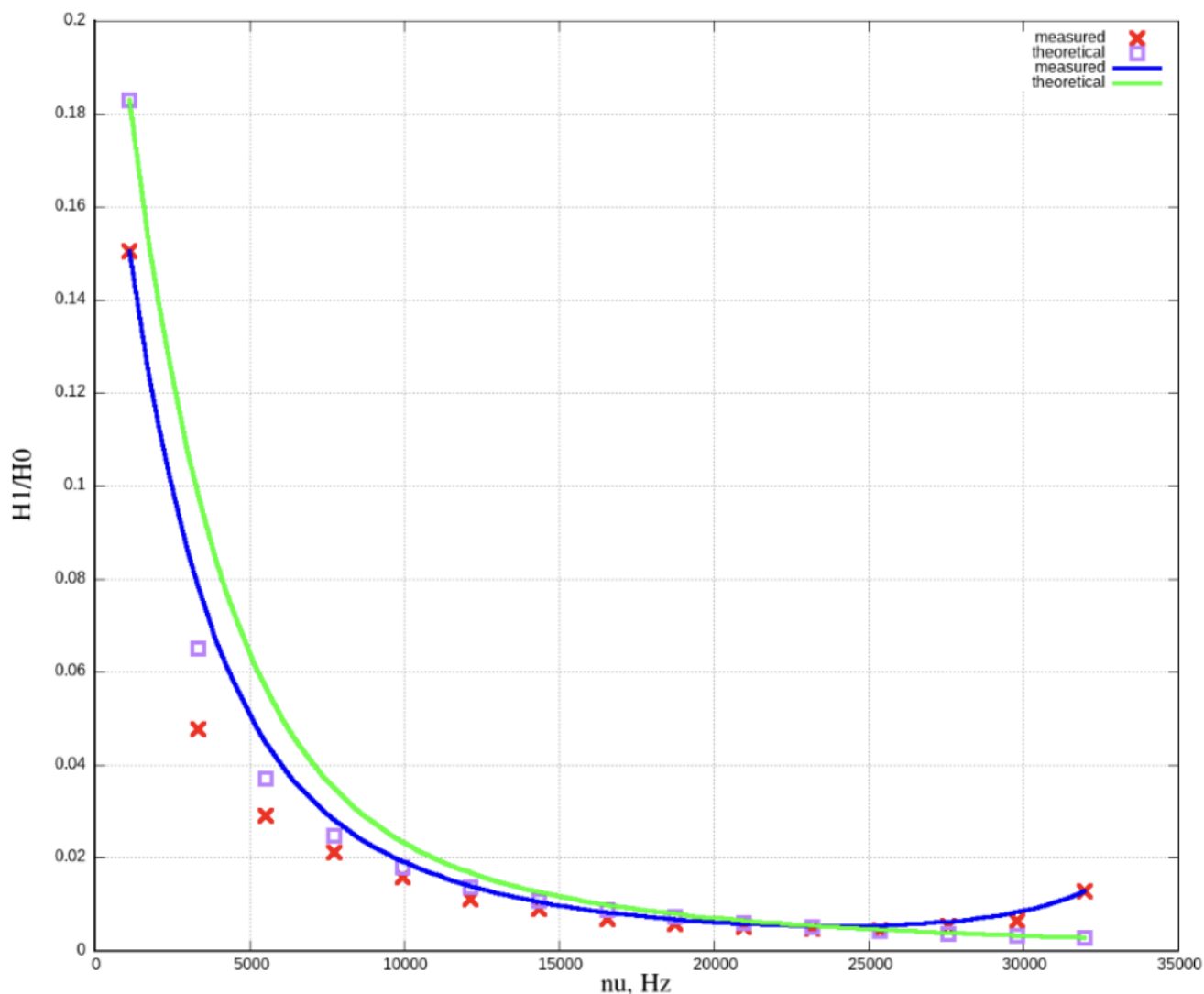
а  $a$  и  $h$  - известные нам параметры установки, получим теоретические значения  $\frac{H_1}{H_0}$ . Изобразим всё на графиках:



Теоретический и экспериментальный графики зависимостей  $H_1/H_0$  от  $\nu$  для низких частот



Теоретический и экспериментальный графики зависимостей  $H_1/H_0$  от  $\nu$  для средних частот



Теоретический и экспериментальный графики зависимостей  $H_1/H_0$  от  $\nu$  для высоких частот

Мы видим, что теоретические и экспериментальные значения  $H_1/H_0$  достаточно точно совпадают для всех диапазонов. Наибольшее отличие заметно в области низких частот, что можно связать с недостаточной точностью вычислений или измерений в этом диапазоне.

### 3 Выводы

Была проведена попытка измерения проводимости материала цилиндра 4 разными способами (теоретическое значение  $5 \cdot 10^7 \frac{C_M}{M}$ ). Результаты:

1. Из углового коэффициента зависимости  $1/\xi$  от  $\nu^2$ . Получено значение  $1.36 \cdot 10^7 \frac{C_M}{M}$ . Это значение по порядку совпадает с табличным.
2. Из зависимости  $\text{tg}(\psi)$  от  $\nu$ . Получено значение  $6.75 \cdot 10^7 \frac{C_M}{M}$ . Это значение очень близко к табличному.
3. Из угла наклона касательной к графику  $\psi$  от  $\sqrt{\nu}$  в области низких частот. Получено значение  $821 \cdot 10^7 \frac{C_M}{M}$ , что отличается от табличного на несколько порядков.

4. Из зависимости  $(L_{max} - L_{min})/(L - L_{min})$  от  $\nu^2$ . Попытка вычисления  $\sigma$  оказалась неудачной, т.к. измеренные значения нельзя хоть сколько-нибудь точно опроксимировать прямой.

Можно сделать вывод, что только первые 2 способа измерения  $\sigma$  оказались удачными и дали правильные значения.

Были сравнены теоретически-вычисленное и измеренные значения отношения амплитуд магнитных полей для низких, средних и высоких частот. Все сравнения показывают, что, хоть и в области низких частот значения незначительно отличались, тренд оказался одинаковым.

## 4 *Ход работы:*

### 4.1 Подготовка

Приняв проводимость меди для оценки равной  $\sigma = 5 \cdot 10^7$  См/м рассчитаем частоту  $\nu_h$  Гц, при которой толщина стенок экрана равна скин-слоевой длине  $\delta = h = 1.5$  мм. По формуле:

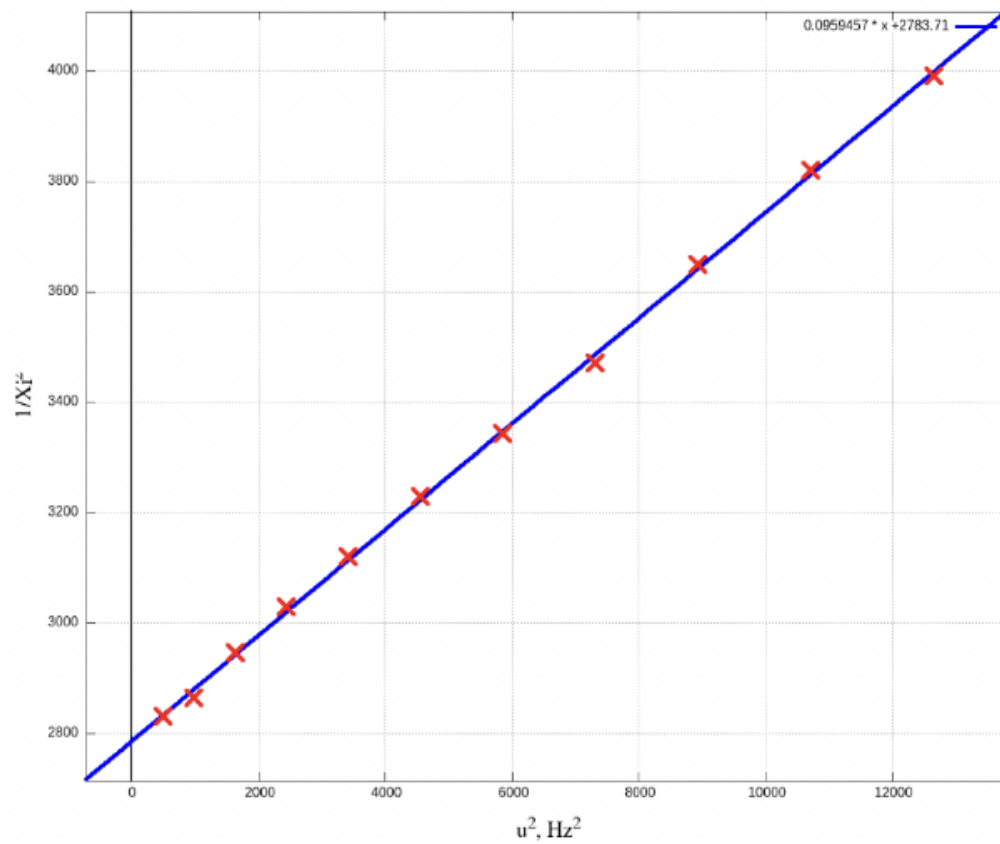
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu_0}} \Rightarrow \nu_h = \frac{1}{\pi \sigma \mu_0 h^2} = 2250 \text{ Гц}$$

### 4.2 Измерения в диапазоне (0.01мкГн – 0.05мкГн)

Получим зависимость соотношения  $\xi = U/(\nu I)$  от частоты  $\nu$ :

$\nu$ , Гц	U, В	I, А	$\xi = U/(\nu I)$
22.5	0.195	0.461	0.0188
31.5	0.269	0.457	0.0187
40.5	0.338	0.453	0.0184
49.5	0.403	0.448	0.0182
58.5	0.463	0.442	0.0179
67.5	0.518	0.436	0.0176
76.5	0.569	0.43	0.0173
85.5	0.614	0.423	0.0170
94.5	0.654	0.418	0.0166
103.5	0.69	0.412	0.0162
112.5	0.723	0.406	0.0158



Рис. 11: график  $1/\xi^2(\nu^2)$ 

Получена зависимость вида  $1/\xi^2 = a \cdot \nu^2 + b$ :

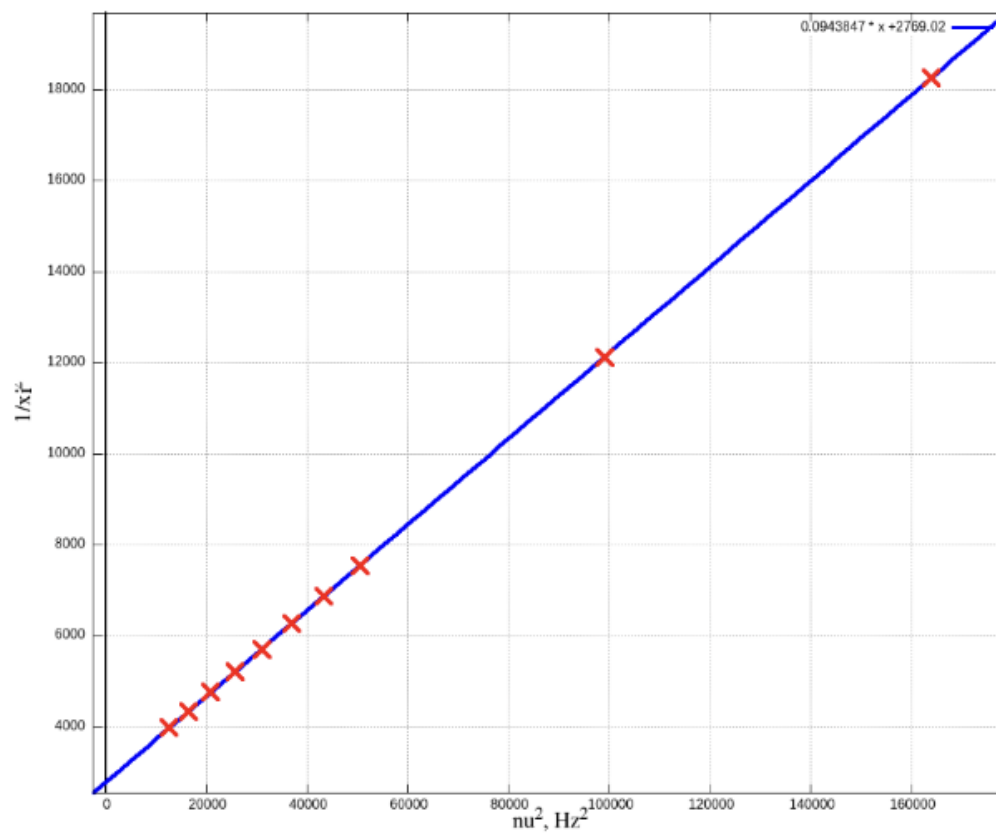
$$a = (0.096 \pm 7 \cdot 10^{-4})$$

$$b = (2783 \pm 2.7)$$

### 4.3 Измерения в диапазоне (0.05мкГн – 0.5мкГн)

Исследуем зависимости  $\xi$  и  $\psi$  от  $\nu$ :

$\nu$ , Гц	U, В	I, А	$\psi$ , рад	$\xi = U/(\nu I)$
112.5	0.721	0.404	3.70	0.0159
128.5	0.769	0.394	3.87	0.0152
144.5	0.809	0.386	4.06	0.0145
160.5	0.841	0.378	4.05	0.0139
176.5	0.868	0.371	4.04	0.0133
192.5	0.89	0.366	4.11	0.0126
208.5	0.908	0.361	4.06	0.0121
225	0.923	0.356	4.05	0.0115
315	0.967	0.338	4.32	0.0091
405	0.98	0.327	4.27	0.0074
495	0.979	0.318	4.29	0.0062
585	0.971	0.311	4.43	0.0053
675	0.959	0.304	4.61	0.0047
765	0.943	0.297	4.59	0.0042
855	0.927	0.291	4.68	0.0037
945	0.908	0.284	4.62	0.0034
1035	0.888	0.278	4.71	0.0031

Рис. 12: график  $1/\xi^2(\nu^2)$ 

Получена зависимость вида  $1/\xi^2 = a \cdot \nu^2 + b$ :

$$a = (0.094 \pm 8 \cdot 10^{-5})$$

$$b = (2769 \pm 3.5)$$

Что совпадает со значениями на интервале  $(0.01\text{мкГн} - 0.05\text{мкГн})$ , говоря о том, что зависимость одинаковая на обоих диапазонах

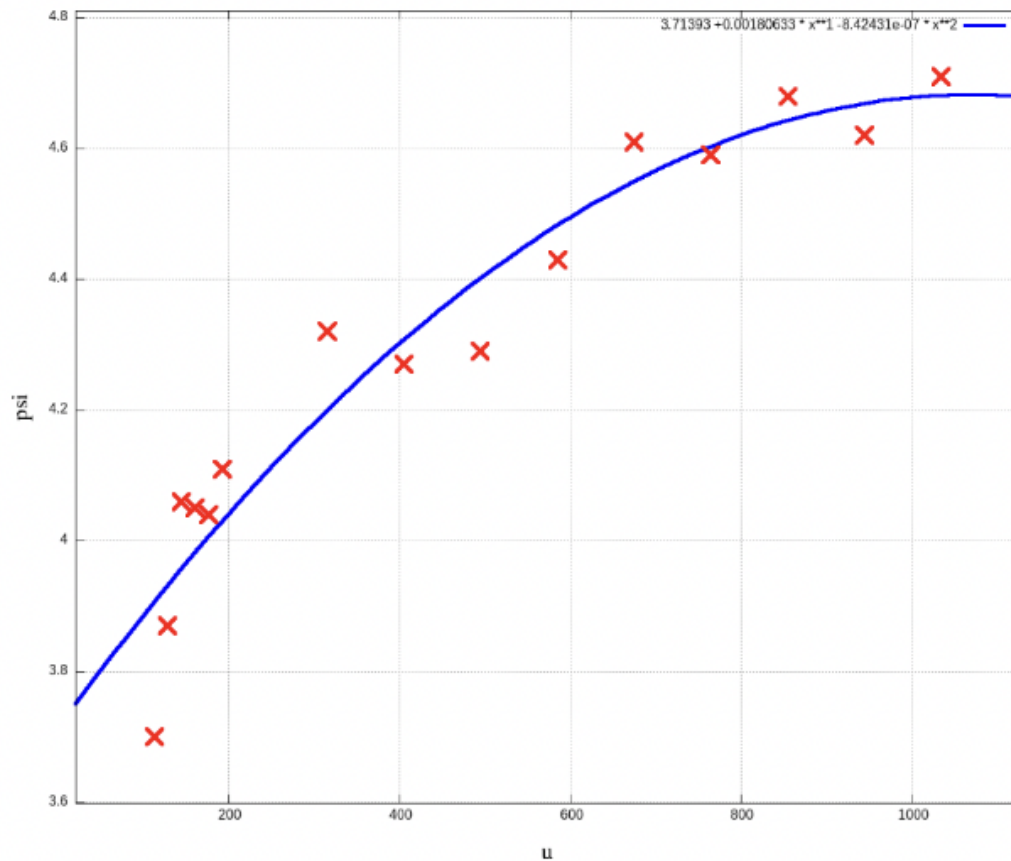


Рис. 13: график  $\psi(\nu)$

Аппроксимируем многочленом 2 степени:

$$\psi = 3.7 + 0.002\nu - 8.4 \cdot 10^{-7}\nu^2 \text{ рад}$$

#### 4.4 Измерения в диапазоне $(0.5\text{мкГн} - 15\text{мкГн})$

Исследуем зависимости  $\xi$  и  $\psi$  от  $\nu$ :

$\nu$ , Гц	U, В	I, А	$\psi$ , рад	$\xi = U/(\nu I)$
1125	0.867	0.271	4.71	0.00284
3330	0.468	0.148	5.02	0.0009
5535	0.288	0.095	5.41	0.00055
7740	0.197	0.068	5.80	0.0004
9945	0.143	0.053	6.03	0.0003
12150	0.106	0.041	6.13	0.00021
14355	0.081	0.034	6.28	0.00017
16560	0.062	0.028	6.70	0.00013
18765	0.049	0.023	6.75	0.00011
20970	0.039	0.019	7.07	9.8E-05
23175	0.031	0.015	7.14	8.9E-05
25380	0.026	0.012	4.55	8.5E-05
27585	0.023	0.008	8.37	0.00010
29790	0.022	0.006	8.50	0.00012
31995	0.023	0.003	9.22	0.00024

Аппроксимируем многочленом 2 степени:

$$\xi = 21.4 - 0.0023\nu + 5.6 \cdot 10^{-8}\nu^2$$

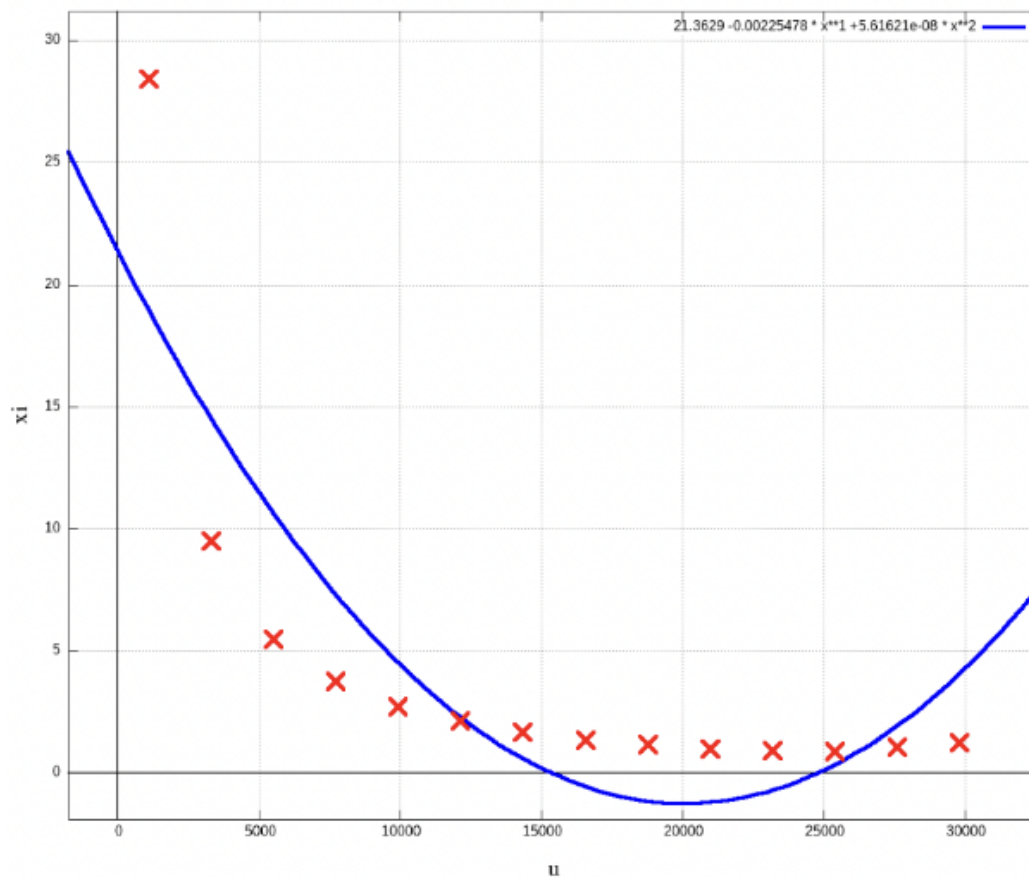


Рис. 14: график  $\xi(\nu)$

Аппроксимируем прямой вида  $\psi = a\nu + b$  :

$$a = 1.3 \cdot 10^{-4} \pm 6.3 \cdot 10^{-6}$$

$$b = 4.55 \pm 0.06$$

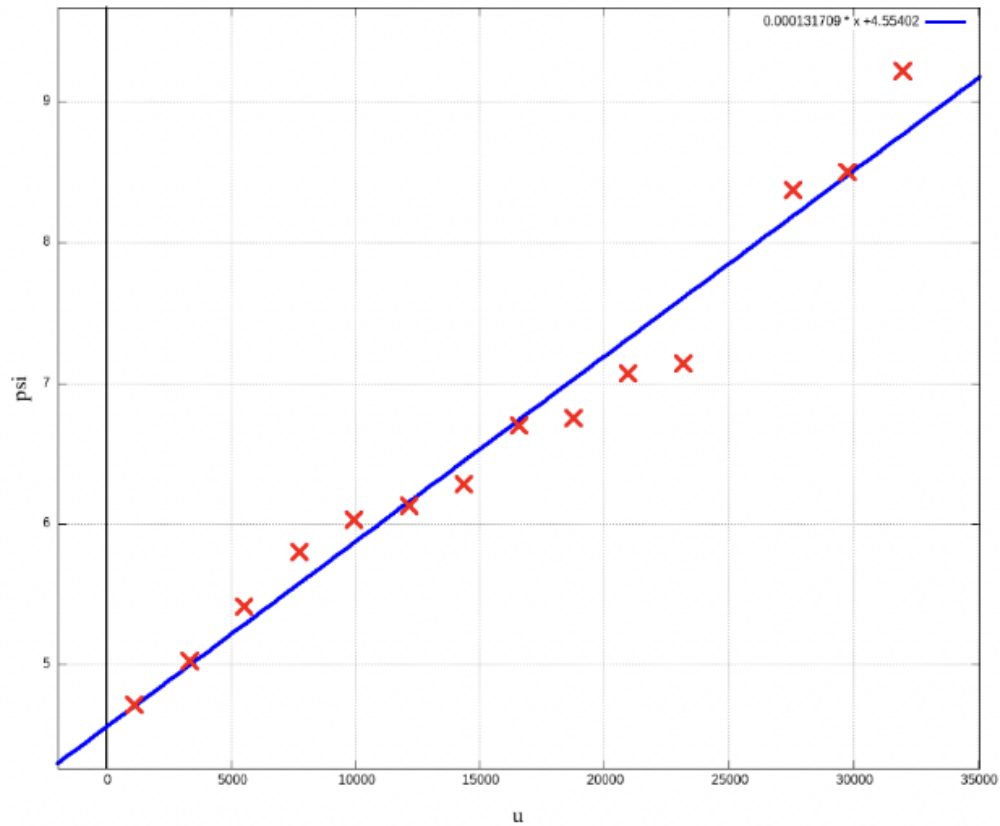


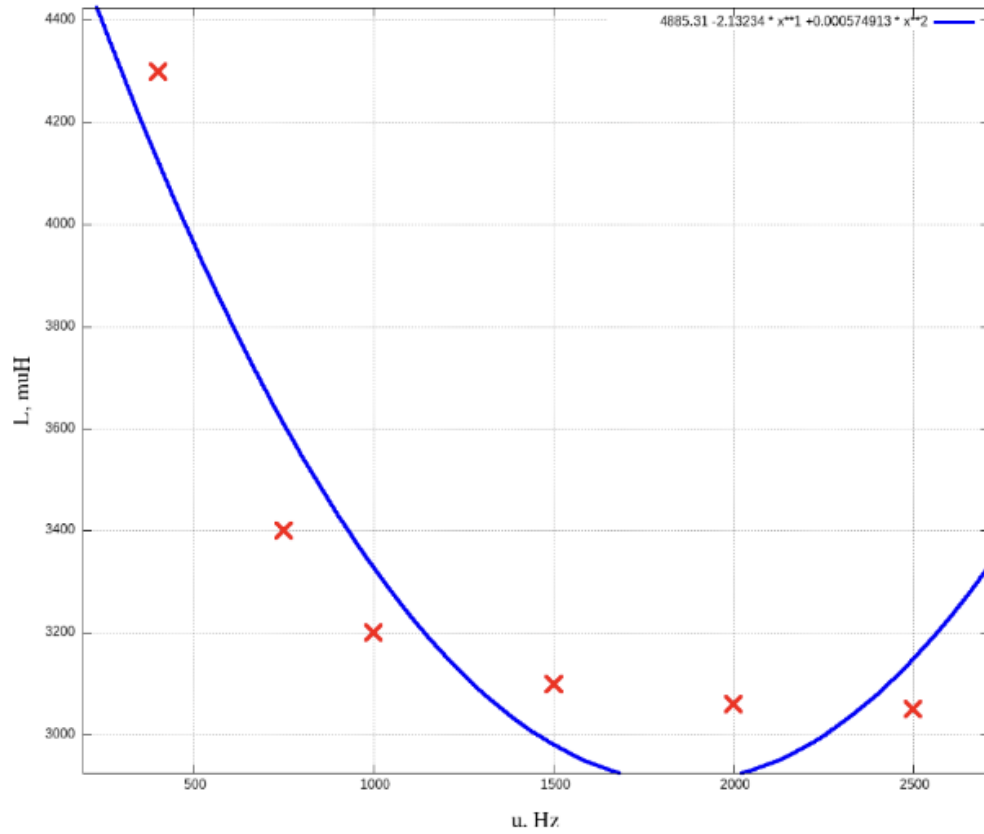
Рис. 15: график  $\psi(\nu)$

#### 4.5 Зависимость $L$ от $\nu$

$\nu$ , Гц	$L$ , $\mu H$
40	550
400	4300
750	3400
1000	3200
1500	3100
2000	3060
2500	3050

Аппроксимируем многочленом 2 степени:

$$L = 4885 - 2.1\nu + 0.0006\nu^2$$

Рис. 16: график  $L(\nu)$ 

## 5 Обработка экспериментальных данных

### 5.1

По графикам на рисунках 11 и 12 легко убедиться что зависимость  $1/\xi^2(\nu^2)$  имеет линейный вид.

Экстраполируя полученную зависимость к точке  $\nu = 0$ , соответствующей величине  $\frac{|H_1|}{|H_0|} = 1$  определим коэффициент пропорциональности  $\xi_0$  между  $\xi$  и  $\frac{|H_1|}{|H_0|}$ :

$$\xi_0 = 53$$

Из того что в области низких частот

$$\left(\frac{|H_1|}{|H_0|}\right)^2 = (\xi_0 \xi)^2 \simeq \frac{1}{1 + A\nu^2}$$

получим что угловой коэффициент зависимости  $1/\xi^2(\nu^2)$  равен

$$k = \pi a h \mu_0 \xi_0 \sigma = (0.096 \pm 7 \cdot 10^{-4})$$

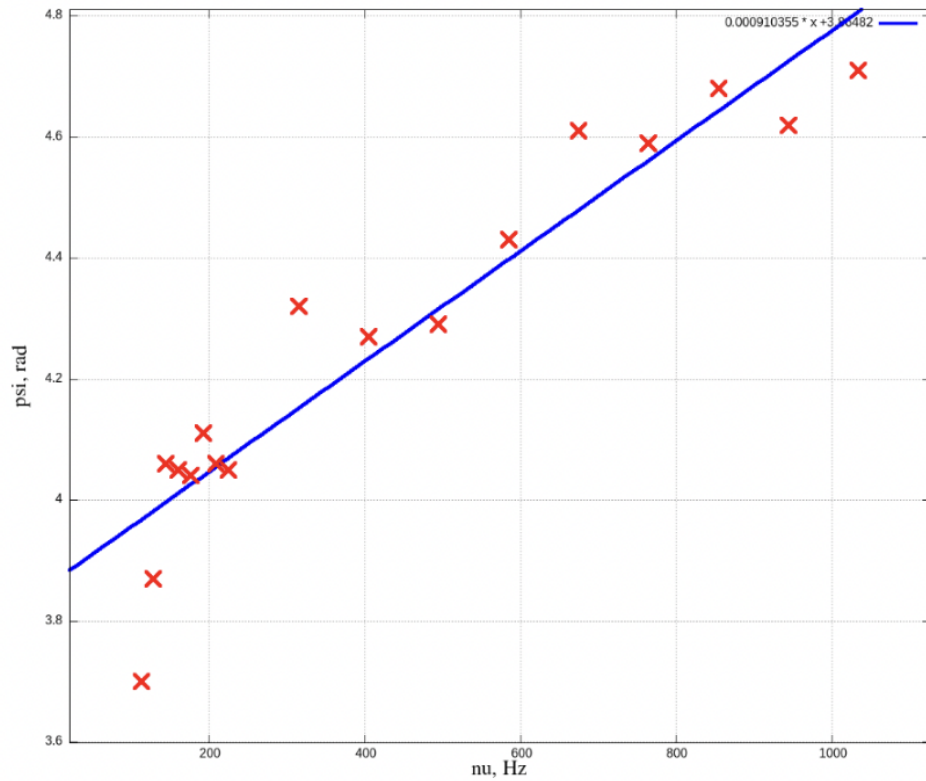
Отсюда найдём проводимость меди:

$$\sigma = \frac{k}{\pi a h \mu_0 \xi_0} = 13.6 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$$

## 5.2

sigma\_2

Перерисую график  $\psi$  от  $\nu$  и опроксимируя прямой получим:

Рис. 17: график  $\psi(\nu)$ 

Полученная зависимость вида  $\psi = a \cdot \nu + b$

$$a = (9 \pm 0.08) 10^{-3} \text{ рад/Гц}$$

$$b = (3.9 \pm 0.02) \text{ рад}$$

Из того что

$$\text{tg}(\psi) = \frac{ah}{\delta^2}$$

и

$$\delta^2 = \sqrt{\frac{1}{\pi\nu\sigma\mu_0}}$$

получим:

$$\text{tg}(\psi) = \pi ah\sigma\mu_0\nu$$

И тогда через коэффициент пропорциональности в зависимости  $\psi(\nu)$  найдём проводимость меди:

$$\sigma = \frac{\text{tg}(\psi)/\nu}{\pi ah\mu_0} = 67.5 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$$

## 5.3

Построим график зависимости  $\phi = \psi - \frac{\pi}{4}$  от  $\sqrt{\nu}$ :

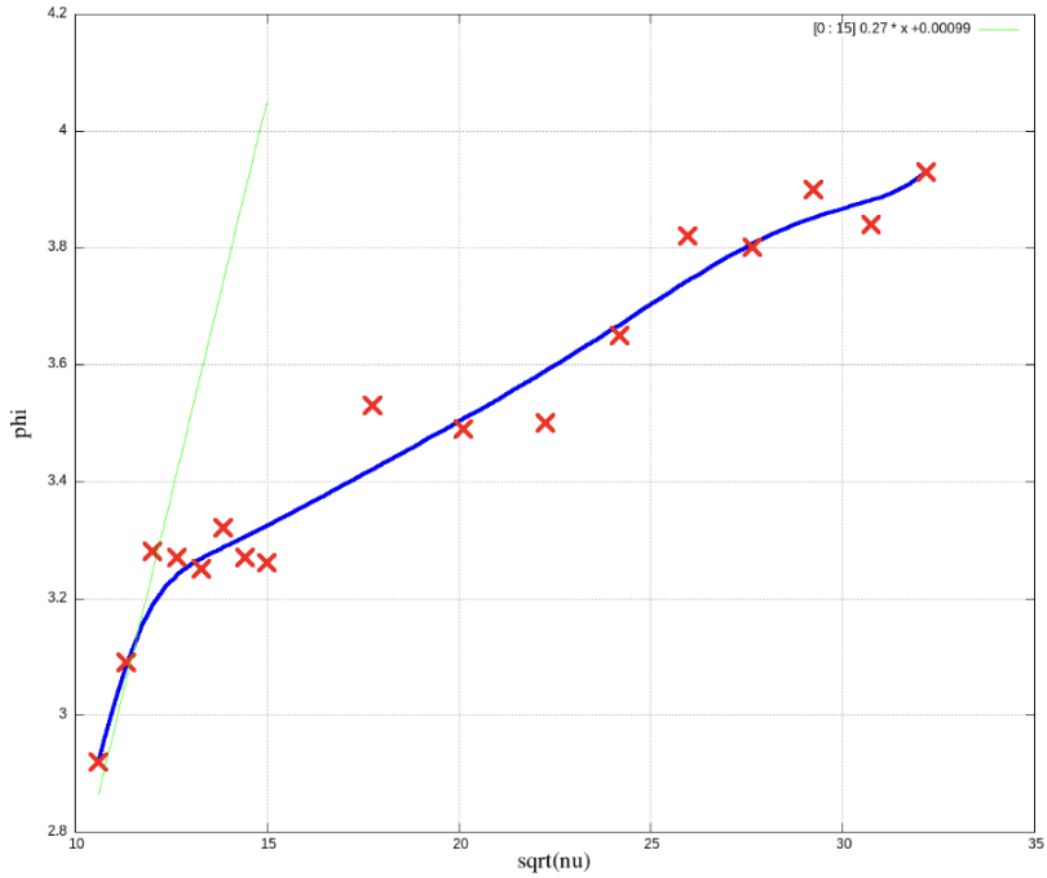


Рис. 18: график  $\phi(\sqrt{\nu})$

Угловой коэффициент касательной:

$$k = 0.27$$

Отсюда, т.к.

$$\psi = \frac{\pi}{4} + h\sqrt{\pi\nu\sigma\mu_0}$$

получим значение:

$$\sigma = \frac{k^2}{h^2\pi\mu_0} = 8207 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$$

Это значение не выглядит реалистичным, что можно связать с ошибками экспериментаторов во время измерения разности фаз.

## 5.4

По результатам измерений, изображённым на Рис. 16 Определим максимальное и минимальное значение индуктивности:

$$L_{min} = 550 \mu H$$

$$L_{max} = 3060 \mu H$$

Построим график зависимости  $(L_{max} - L_{min})/(L - L_{min})$  от  $\nu^2$  ( $10^6 \text{ Гц}^2$ ):



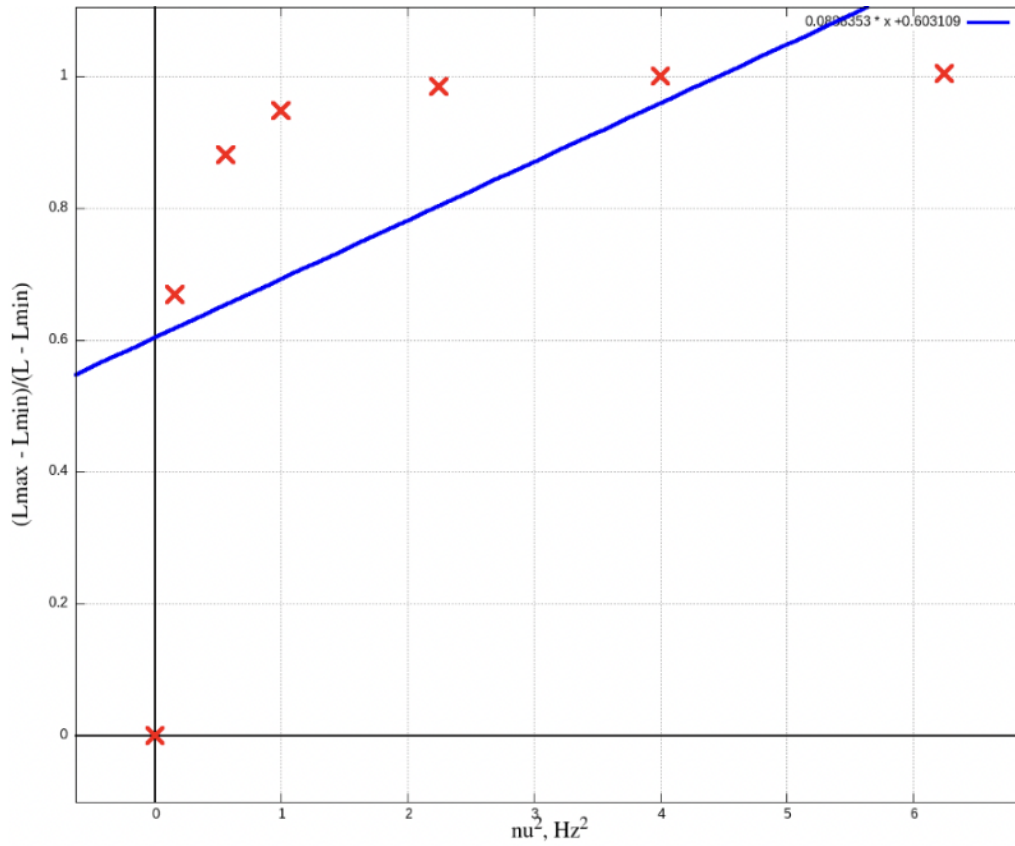


Рис. 19: график зависимости  $(L_{\max} - L_{\min}) / (L - L_{\min})$  от  $\nu^2 \cdot 10^6 \text{ Гц}^2$

Из графика видно, что измерения плохо опроксимируются прямой. Скорее всего это произошло в виду неправильного обращения экспериментаторов с измеряющим прибором и установкой. В следствии этого оценить проводимость материала исходя из этого эксперимента не предоставляется возможным.

## 5.5

Сравним значения проводимости медного экрана, полученные в ходе различных экспериментов:

$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ из 3.1	$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ из 3.2	$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ из 3.3	$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ из 3.4	$\sigma \cdot 10^7 \text{ См/м}$ табличное
1.36	6.75	820	—	5.96

Можно заметить, что значения полученные в пунктах 3.1 и 3.2 достаточно близки к табличному. В то же время значение, полученное в пункте 3.3 далеко от табличного, а в 3.4 его вычисление и вовсе не предоставляется возможным, что можно связать с ошибками экспериментаторов в ходе этих экспериментов.

## 5.6

Расчитаем, используя значение  $\xi_0 = 53$ , полученное в пункте 3.1, значение  $|H_1|/|H_0|$  для всех измерений. Используем формулу

$$\frac{H_1}{H_0} = \xi \xi_0$$

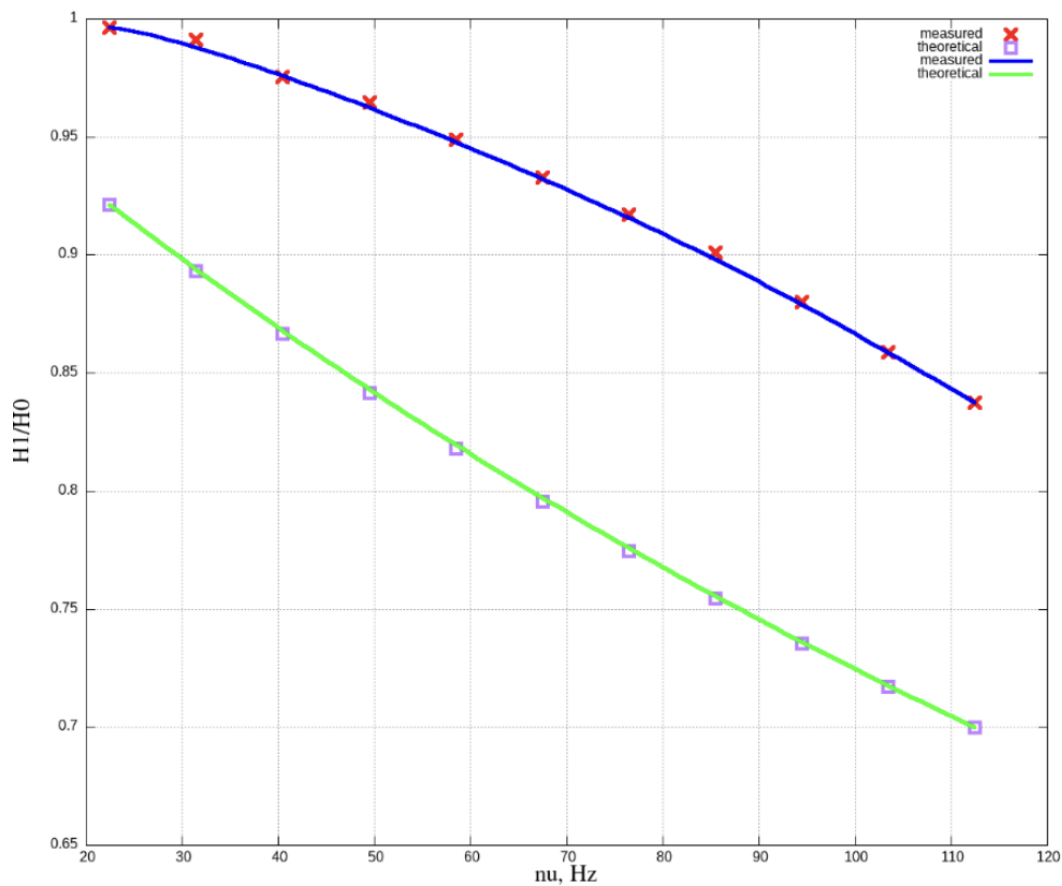
(Так же получим из формулы

$$\frac{H_1}{H_0} = \frac{1}{\cosh(\alpha h) + \frac{1}{2}\alpha a \cdot \sinh(\alpha h)},$$

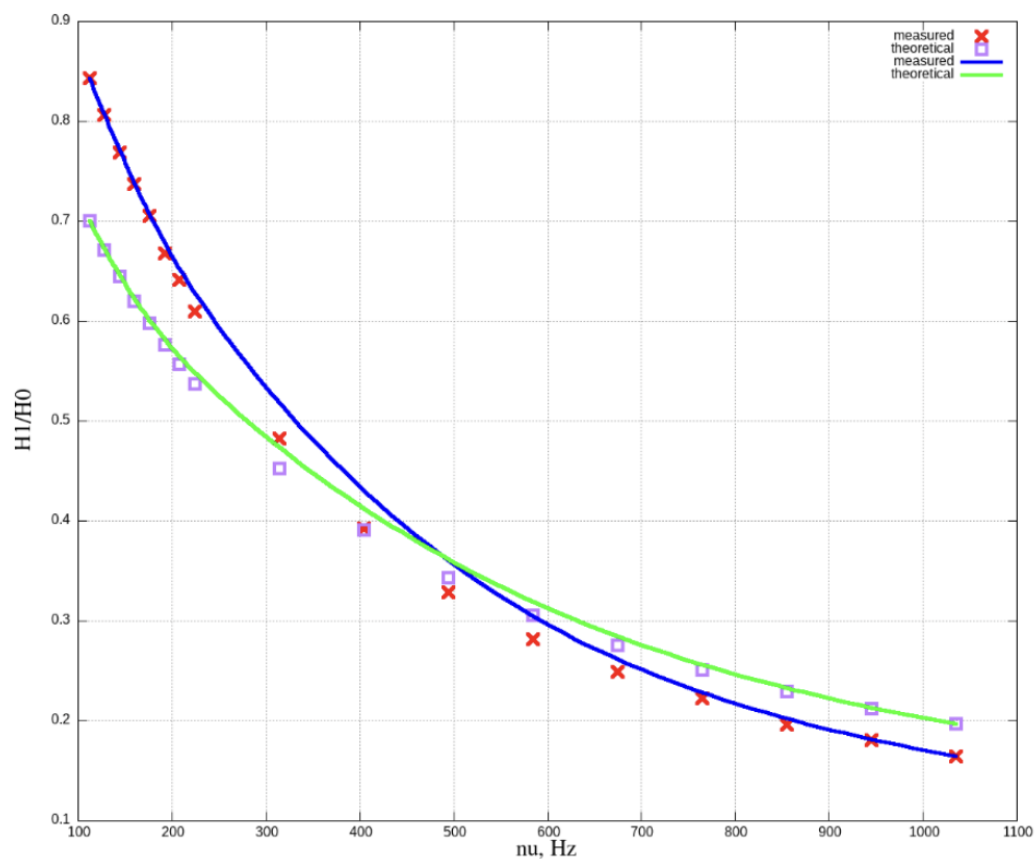
где

$$\alpha = \sqrt{\pi\nu\sigma\mu} \cos(\pi/4)$$

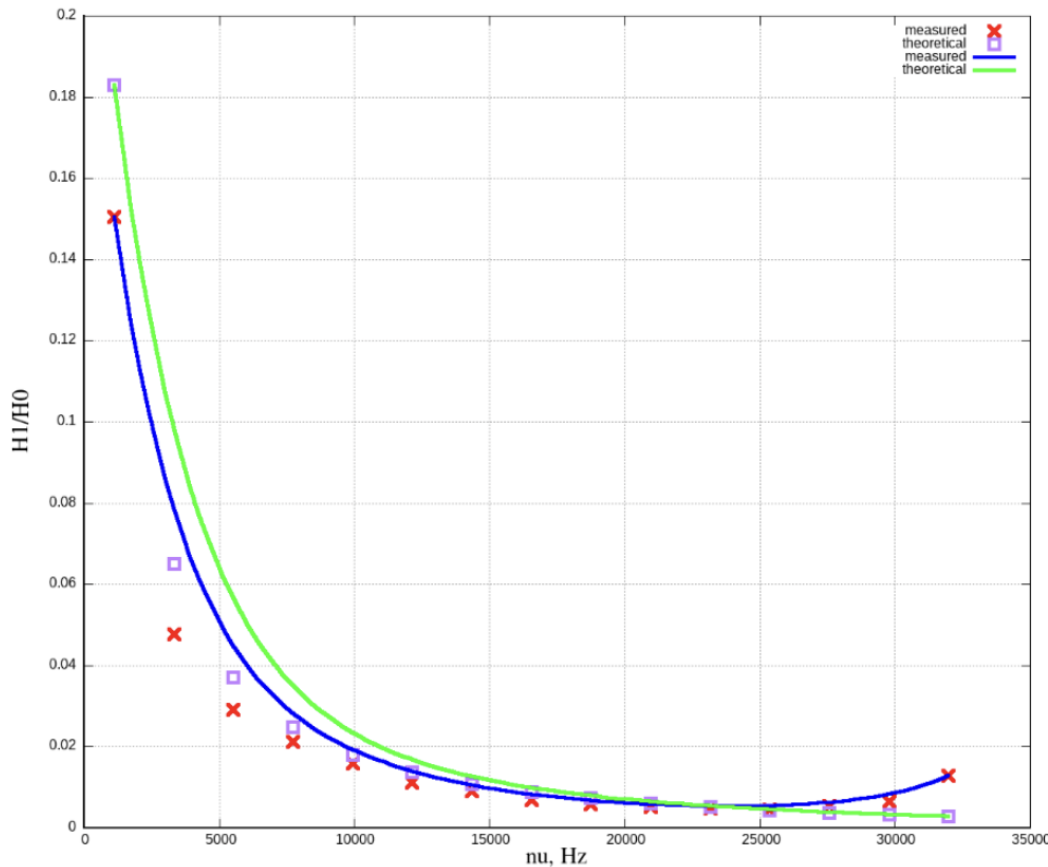
$a$  и  $h$  - известные нам параметры установки, получим теоретические значения  $\frac{H_1}{H_0}$ . Изобразим всё на графиках:



Теоретический и экспериментальный графики зависимостей  $H_1/H_0$  от  $\nu$  для низких частот



Теоретический и экспериментальный графики зависимостей  $H_1/H_0$  от  $\nu$  для средних частот



Теоретический и экспериментальный графики зависимостей  $H_1/H_0$  от  $\nu$  для высоких частот

Мы видим, что теоретические и экспериментальные значения  $H_1/H_0$  достаточно точно совпадают для всех диапазонов. Наибольшее отличие заметно в области низких частот, что можно связать с недостаточной точностью вычислений или измерений в этом диапазоне.

## 6 Выводы

Была проведена попытка измерения проводимости материала цилиндра 4 разными способами (теоретическое значение  $5 \cdot 10^7 \frac{\text{С}_\text{М}}{\text{М}}$ ). Результаты:

1. Из углового коэффициента зависимости  $1/\xi$  от  $\nu^2$ . Получено значение  $1.36 \cdot 10^7 \frac{\text{С}_\text{М}}{\text{М}}$ . Это значение по порядку совпадает с табличным.
2. Из зависимости  $\text{tg}(\psi)$  от  $\nu$ . Получено значение  $6.75 \cdot 10^7 \frac{\text{С}_\text{М}}{\text{М}}$ . Это значение очень близко к табличному.
3. Из угла наклона касательной к графику  $\psi$  от  $\sqrt{\nu}$  в области низких частот. Получено значение  $821 \cdot 10^7 \frac{\text{С}_\text{М}}{\text{М}}$ , что отличается от табличного на несколько порядков.
4. Из зависимости  $(L_{\text{max}} - L_{\text{min}})/(L - L_{\text{min}})$  от  $\nu^2$ . Попытка вычисления  $\sigma$  оказалась неудачной, т.к. измеренные значения нельзя хоть сколько-нибудь точно аппроксимировать прямой.

Можно сделать вывод, что только первые 2 способа измерения  $\sigma$  оказались удачными и дали правильные значения.

Были сравнены теоретически-вычисленное и измеренные значения отношения амплитуд магнитных полей для низких, средних и высоких частот. Все сравнения показывают, что, хоть и в области низких частот значения незначительно отличались, тренд оказался одинаковым.