

---

Группа: М32021

К работе допущен: \_\_\_\_\_

Студент: Корнилов Н. В.

Работа выполнена: \_\_\_\_\_

Преподаватель: Тимофеева Э. О.

Отчёт принят: \_\_\_\_\_

---

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.14

---

### 1. Цель работы:

1. Наблюдение поперечных стоячих волн на тонкой натянутой струне.
2. Экспериментальное определение зависимости собственных частот поперечных колебаний от номера гармоники и силы натяжения струны.

### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы:

1. Измерить значения резонансных частот колебаний струны в режиме формирования стоячих волн. Рассчитать значения скорости волны и погонной плотности струны при известной силе ее натяжения.
2. Провести прямое измерение массы и длины струны, непосредственно определить ее погонную плотность. Сравнить полученные значений погонных плотностей  $\rho_l$ .

### 3. Рабочие формулы и исходные данные:

$$u = \sqrt{\frac{T}{p_l}} - \text{волновое уравнение}$$

$$p_l = \frac{T}{u^2}$$

$$p_l = \frac{m}{l} - \text{линейная плотность}$$

$$u = \frac{2f_n l}{n}$$

#### 4. Схема установки:

Экспериментальная установка



Рис. 4. Элементы лабораторной установки

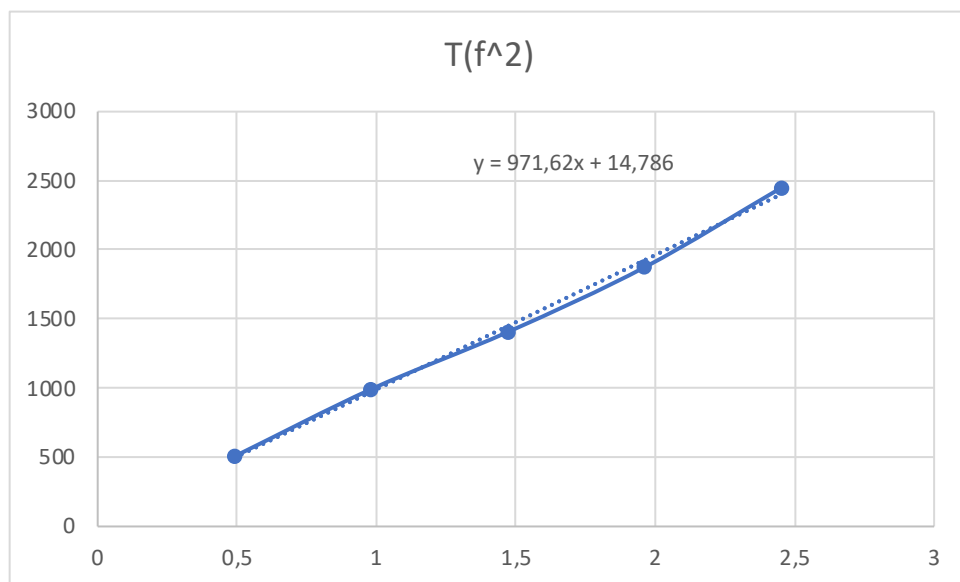
1. Механический вибратор
2. Генератор гармонических сигналов
3. Рулетка
4. Эластичная (белая) и неэластичная (зеленая) струны
5. Набор грузов и держателей для них
6. Струбцины для крепления вибратора и опорного блока
7. Опорный блок
8. Стержень для крепления вибратора

#### 5. Ход работы

Часть 1 Определение линейной плотности струны

$$p_{\text{зел}} = (1,69 \pm 0,0138) * 10^{-3} \left( \frac{\text{КГ}}{\text{М}} \right)$$

$$p_{\text{бел}} = (4,25 \pm 0,0218) * 10^{-3} \left( \frac{\text{КГ}}{\text{М}} \right)$$

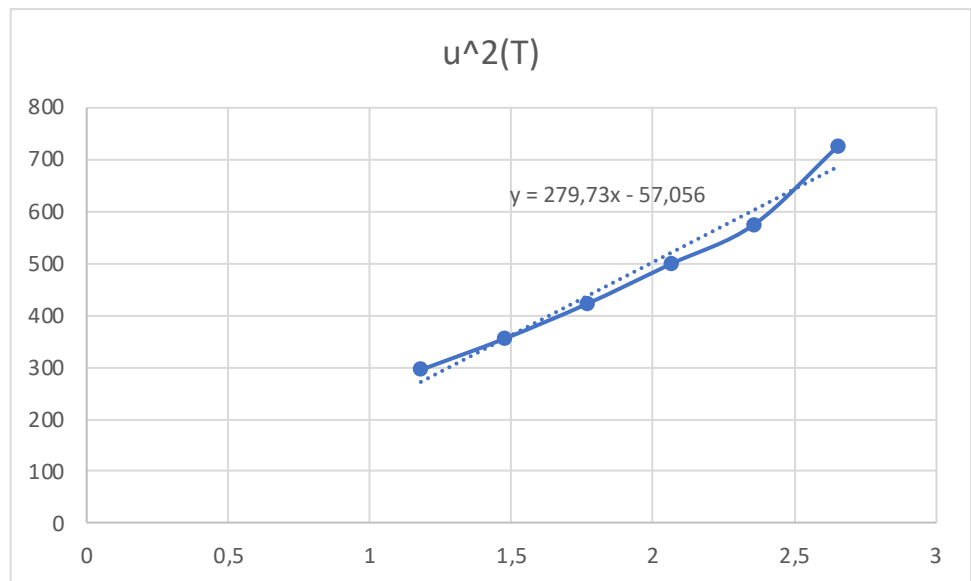
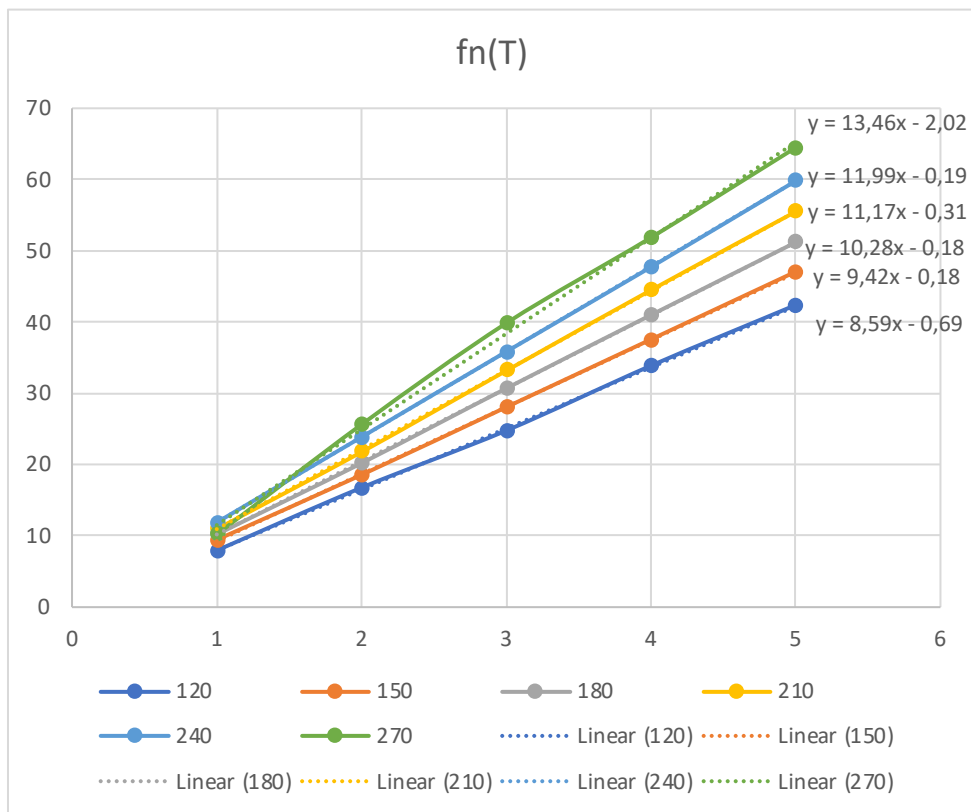


$$\alpha = 971,61 \pm 20,41$$

$$p_{\text{бел}} = (3,88 \pm 0,0815) * 10^{-3} \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}} \right)$$

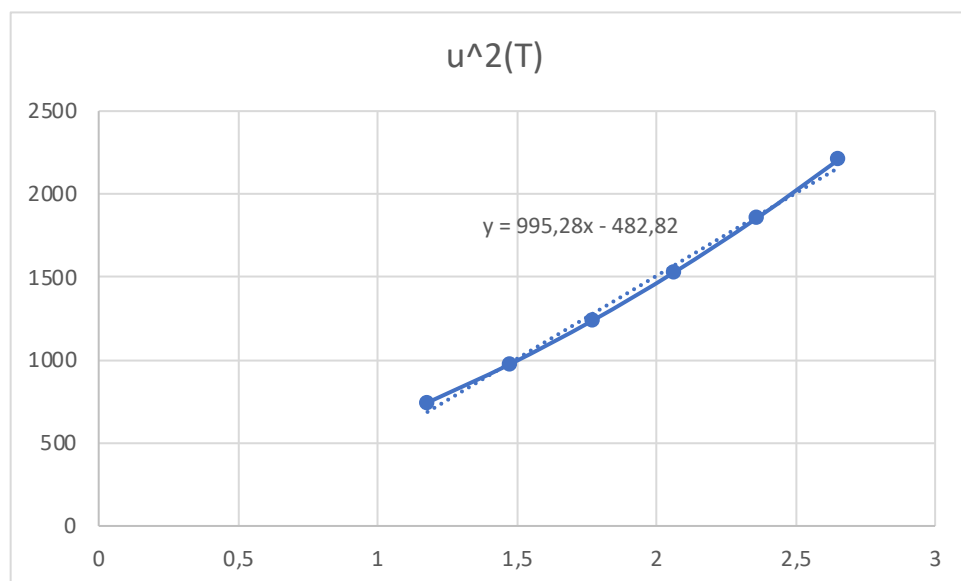
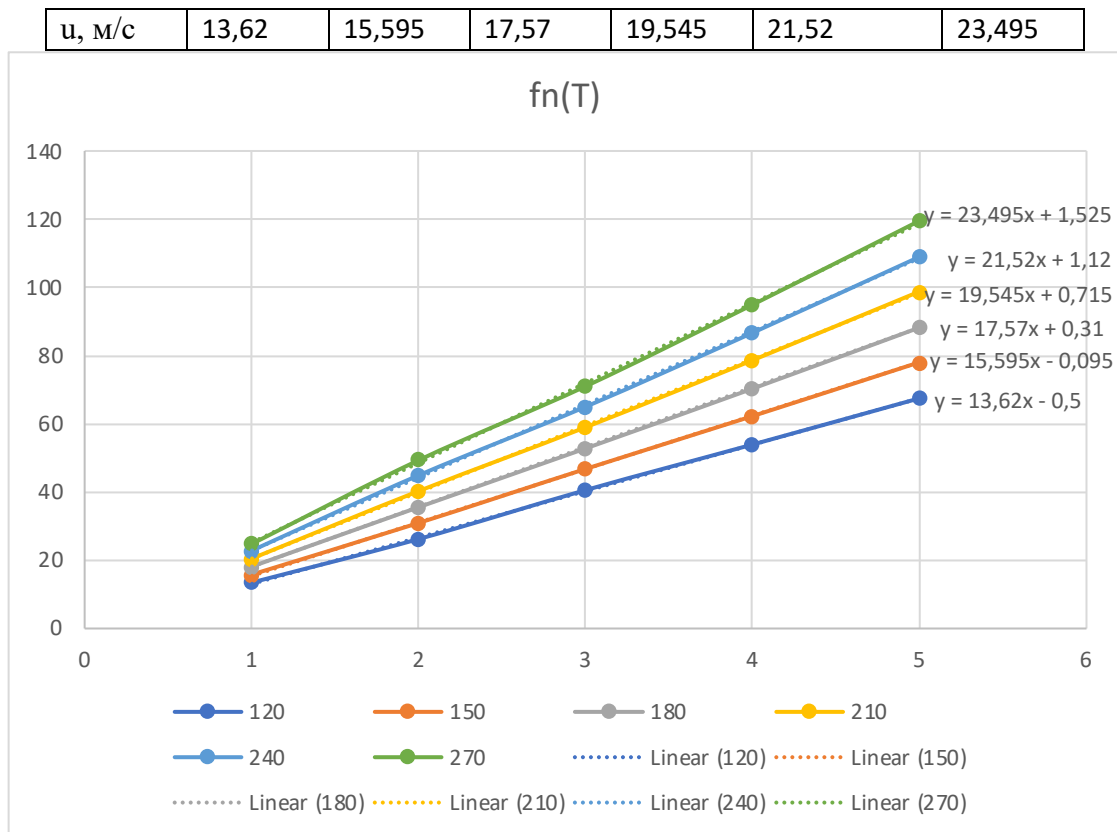
## Часть 2 Определение скорости волны

<b>M, г</b>	120	150	180	210	240	270
<b>T</b>	1,1784	1,473	1,7676	2,0622	2,3568	2,6514
<b>n</b>	<b>f1, Гц</b>	<b>f2, Гц</b>	<b>f3, Гц</b>	<b>f4, Гц</b>	<b>f5, Гц</b>	<b>f6, Гц</b>
1	7,9	9,4	10,2	11	11,8	10,2
2	16,7	18,5	20,2	21,8	23,8	25,6
3	24,7	28	30,7	33,2	35,8	39,8
4	33,8	37,5	41	44,5	47,7	51,8
5	42,3	47	51,2	55,5	59,8	64,4
<b>u, м/с</b>	17,18	18,84	20,56	22,34	23,98	26,92



$$p_{\text{бел}} = (3,575 \pm 0,307) * 10^{-3} \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}} \right)$$

<b>M, r</b>	120	150	180	210	240	270
<b>T</b>	1,1784	1,473	1,7676	2,0622	2,3568	2,6514
<b>n</b>	<b>f1, Гц</b>	<b>f2, Гц</b>	<b>f3, Гц</b>	<b>f4, Гц</b>	<b>f5, Гц</b>	<b>f6, Гц</b>
1	13,4	15,7	18	20,3	22,6	24,9
2	26,2	30,85	35,5	40,15	44,8	49,45
3	40,6	46,7	52,8	58,9	65	71,1
4	54	62,2	70,4	78,6	86,8	95
5	67,6	78	88,4	98,8	109,2	119,6



$$p_{\text{зел}} = (1,004746 \pm 0,039) * 10^{-3} \left( \frac{\text{КГ}}{\text{М}} \right)$$

## 6. Выводы:

В рамках выполненной работы были исследованы два метода определения погонной плотности струны: через измерение резонансных частот и прямое измерение массы и длины. Оказалось, что метод, основанный на резонансных частотах и скорости волны, не обеспечил ожидаемую точность из-за влияния внешних факторов, таких как качество оборудования, внешние помехи, неоднородность струны и упрощенные модели расчетов.

## 7. Ответы на контрольные вопросы:

1. Как связаны между собой частота, длина волны и скорость распространения бегущей волны?

Частота  $f$ , длина волны  $\lambda$ , и скорость распространения волны  $v$  связаны между собой уравнением  $v = f\lambda$

2. Используя метод размерности, покажите, что скорость распространения поперечных волн по струне имеет вид  $u \sim T^{\frac{1}{2}} * \rho_l^{-\frac{1}{2}}$ .

- Размерность силы (натяжения)  $T - MLT^{-2}$ .
- Размерность линейной плотности  $\rho_l - ML^{-1}$
- Чтобы получить размерность скорости  $LT^{-1}$ , необходимо поделить  $T$  на  $\rho_l$  и

извлечь квадратный корень:  $\sqrt{\frac{T}{\rho_l}} \sim \sqrt{\frac{MLT^{-2}}{ML^{-1}}} \sim \sqrt{\frac{L^2}{T^2}} \sim LT^{-1}$

3. Как образуется стоячая волна?

Стоячая волна образуется в результате интерференции двух волн одинаковой амплитуды и частоты, распространяющихся в противоположных направлениях в одной среде. Когда эти волны встречаются, они накладываются друг на друга, образуя узлы (точки, где волна не колеблется) и пучности (точки с максимальной амплитудой колебаний).

4. Как происходит отражение бегущей волны от жестко закрепленного конца струны и от конца, который может свободно двигаться в направлении, перпендикулярном к направлению натяжения струны? Как изменяется фаза волны при отражении от закрепленного и свободного конца?

От жестко закрепленного конца волна отражается с изменением фазы на 180 градусов.

От свободно движущегося конца волна отражается без изменения фазы.

Фаза волны меняется при отражении от закрепленного конца, потому что закрепленный конец не позволяет частицам среды двигаться, что приводит к инверсии волны. От свободного конца волна отражается без изменения фазы, так как конец может свободно двигаться вверх и вниз.

5. Дайте определение пучности и узла стоячей волны. Как определить частоты, на которых возможны собственные колебания струны, закреплённой на концах?

**Пучность** – это точка в стоячей волне, где амплитуда колебаний максимальна.

**Узел** – это точка в стоячей волне, где колебания отсутствуют (амплитуда равна нулю).

Частоты собственных колебаний струны, закрепленной на концах, определяются условием, что на её длине укладывается целое число полуволн. Это условие выражается формулой  $f_n = \frac{nv}{2L}$ , где  $n$  – число полуволн,  $v$  – скорость волны в струне,  $L$  – длина струны.

6. Во сколько раз необходимо увеличить натяжение струны, чтобы частота её собственных колебаний удвоилась?

Чтобы удвоить частоту собственных колебаний струны, натяжение струны необходимо увеличить в четыре раза. Это следует из формулы скорости волны по струне  $v = \sqrt{\frac{T}{\rho_l}}$  и того факта, что частота пропорциональна скорости волны.

7. Как изменяется фаза колебаний в стоячей волне? Изобразите распределение фазы колебаний в стоячей волне на закреплённой с двух сторон струне, если на ее длине укладывается  $n = 1, 2, 3$  полуволны.

В стоячей волне фаза колебаний меняется на  $180$  градусов при переходе от пучности к узлу. Для струны, закреплённой с двух сторон:

- При  $n=1$ , струна колеблется с одной пучностью посередине и узлами на концах.
- При  $n=2$ , на струне образуются две пучности и три узла (включая два на концах).
- При  $n=3$ , струна имеет три пучности и четыре узла.

На каждой полуволне фаза колебаний меняется на  $180$  градусов относительно соседней полуволны, что обеспечивает условие стоячей волны с попеременным расположением узлов и пучностей.