

Группа Р3221

К работе допущен _____

Студент Рязанов Д. Трутнева А.

Работа выполнена _____

Преподаватель Хуснутдинова Н.Р.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.14

Изучение колебаний струны

1. Цели работы.

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

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

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

3. Объект исследования.

Стоячие волны на тонкой натянутой струне.

4. Метод экспериментального исследования.

Многократные измерения резонансных частот колебаний струны.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$p_l = \frac{m}{l} \quad T = mg \quad \alpha = \frac{4}{l^2 p_l} \quad f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{k_n u}{2\pi} = \frac{u n}{2l} \quad u = \sqrt{\frac{T}{p_l}} \quad \Delta p_l = p_l \sqrt{\left(\frac{\Delta \alpha}{\alpha}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta l}{l}\right)^2}$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Весы	Электронный	0-10 г	0.05 г
2	Рулетка	Аналоговый	0-200 см	0.02 см
3	Генератор сигналов	Электронный	0-100 Гц	0.05 Гц

7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

Экспериментальная установка



Рис. 4. Элементы лабораторной установки

На рисунке 4 показан комплект оборудования, входящий в состав 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

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

$p_l \pm \Delta p_l = (4.293 \pm 0.026) \frac{\text{г}}{\text{м}}$ - Фактическая линейная плотность эластичной струны

$p_l \pm \Delta p_l = (1.761 \pm 0.011) \frac{\text{г}}{\text{м}}$ - Фактическая линейная плотность неэластичной струны

Струна №1

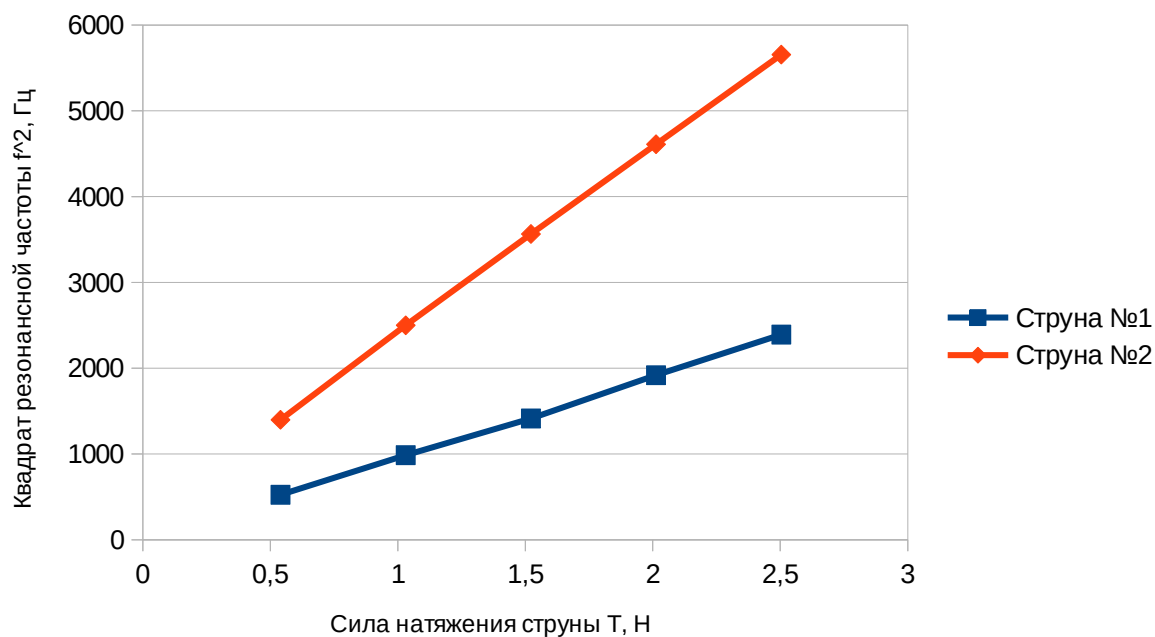
$m, \text{г}$	$f, \text{Гц}$	$f^2, \text{Гц}^2$	$T, \text{Н}$
55	22.9	524.41	0.5401
105	31.4	985.96	1.0311
155	37.6	1413.76	1.5221
205	43.8	1918.44	2.0131
255	48.9	2391.21	2.5041

$p_l \pm \Delta p_l = (3.183 \pm 1.291) \frac{\text{г}}{\text{м}}$

Струна №2

$m, \text{г}$	$f, \text{Гц}$	$f^2, \text{Гц}^2$	$T, \text{Н}$
55	37.4	1398.76	0.5401
105	50.0	2500	1.0311
155	59.7	3564.09	1.5221
205	67.9	4610.41	2.0131
255	75.2	5655.04	2.5041

$p_l \pm \Delta p_l = (1.379 \pm 0.238) \frac{\text{г}}{\text{м}}$



По МНК найдем $a = \frac{4}{l^2 p_l} = \frac{\sum (T_i - \bar{T})(f_i^2 - \bar{f}^2)}{\sum (T_i - \bar{T})^2}$ $\Delta a = 2S_a = 2 \frac{\sum (f_i^2 - (b + aT_i))^2}{\sum (T_i - \bar{T})^2 (n-2)}$

$$\bar{T} = 1.5221 \text{ Н}$$

$$\bar{f}_1^2 = 1446.756 \text{ Гц}^2$$

$$\bar{f}_2^2 = 3545.66 \text{ Гц}^2$$

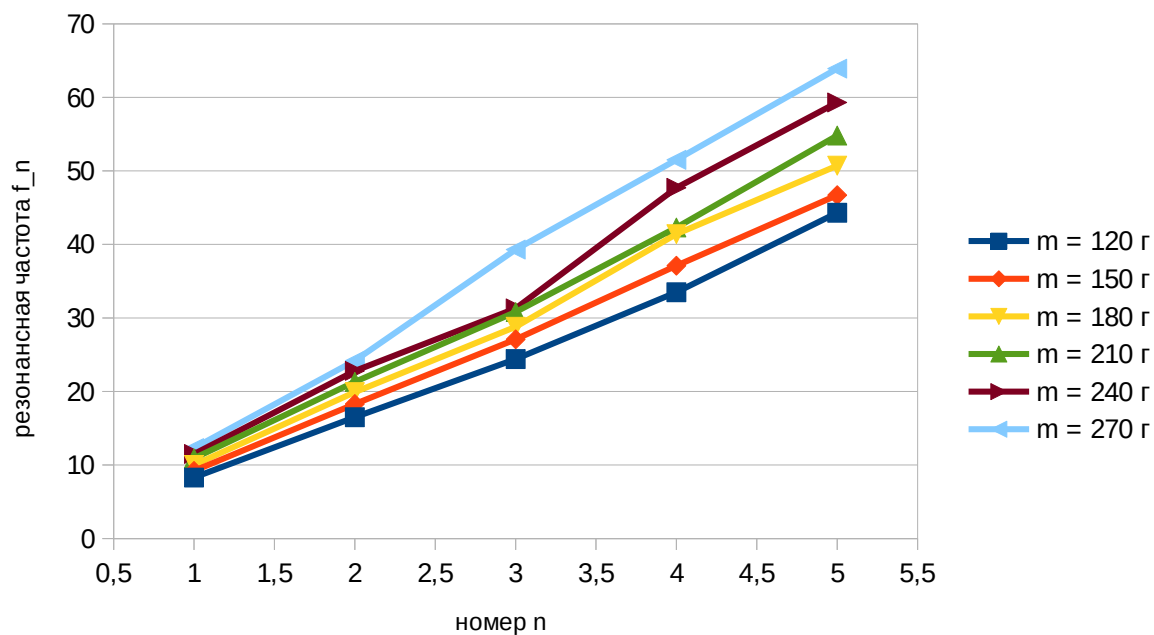
$$a_1 = 950.322 \frac{1}{\text{кг} \cdot \text{м}} \quad \Delta a_1 = 385.135 \quad a_2 = 2163.538 \frac{1}{\text{кг} \cdot \text{м}} \quad \Delta a_2 = 373.732$$

$$p_{l1} = \frac{4}{l^2 a_1} = 0.003183 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}} = 3.183 \frac{\text{г}}{\text{м}}$$

$$p_{l2} = 0.001379 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}} = 1.379 \frac{\text{г}}{\text{м}}$$

Таблица 2 для эластичной нити

	$m_1=120 \text{ г}$	$m_2=150 \text{ г}$	$m_3=180 \text{ г}$	$m_4=210 \text{ г}$	$m_5=240 \text{ г}$	$m_6=270 \text{ г}$
	$T_1=1.1784 \text{ Н}$	$T_2=1.473 \text{ Н}$	$T_3=1.7676 \text{ Н}$	$T_4=2.0622 \text{ Н}$	$T_5=2.3568 \text{ Н}$	$T_6=2.6514 \text{ Н}$
n	$f_1, \text{ Гц}$	$f_2, \text{ Гц}$	$f_3, \text{ Гц}$	$f_4, \text{ Гц}$	$f_5, \text{ Гц}$	$f_6, \text{ Гц}$
1	8.3	9.2	10.0	10.9	11.5	12.3
2	16.5	18.3	19.9	21.3	22.8	24.2
3	24.4	27.1	28.8	30.8	31.3	39.3
4	33.5	37.1	41.4	42.3	47.7	51.5
5	44.3	46.7	50.7	54.8	59.3	63.9
	$u_1=20.47$	$u_2=21.574$	$u_3=23.667$	$u_4=25.024$	$u_5=27.715$	$u_6=30.015$



По МНК найдем угловой коэффициент $k = \frac{f_n}{n}$ для каждого графика.

Тогда по формуле $f_n = \frac{un}{2l} \Rightarrow u = \frac{f_n}{n} * 2l = 2kl$

$$k_1 = 8.90 \quad u_1 = 20.470$$

$$k_2 = 9.38 \quad u_2 = 21.574$$

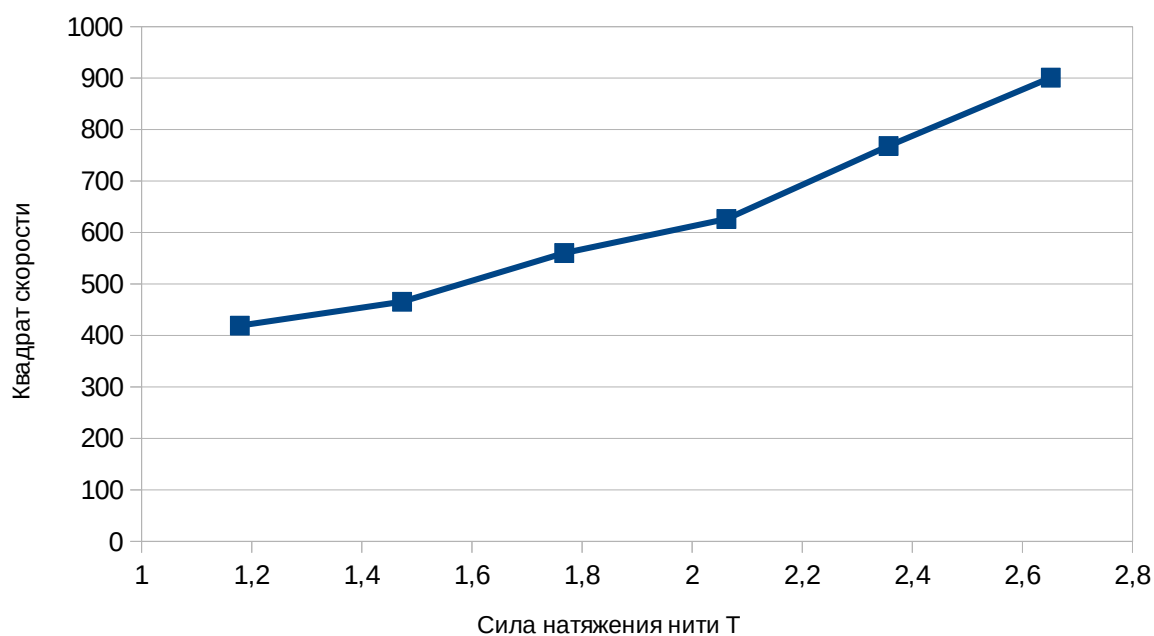
$$k_3 = 10.29 \Rightarrow u_3 = 23.667$$

$$k_4 = 10.88 \quad u_4 = 25.024$$

$$k_5 = 12.05 \quad u_5 = 27.715$$

$$k_6 = 13.05 \quad u_6 = 30.015$$

u_i измеряется в $\frac{м}{с}$

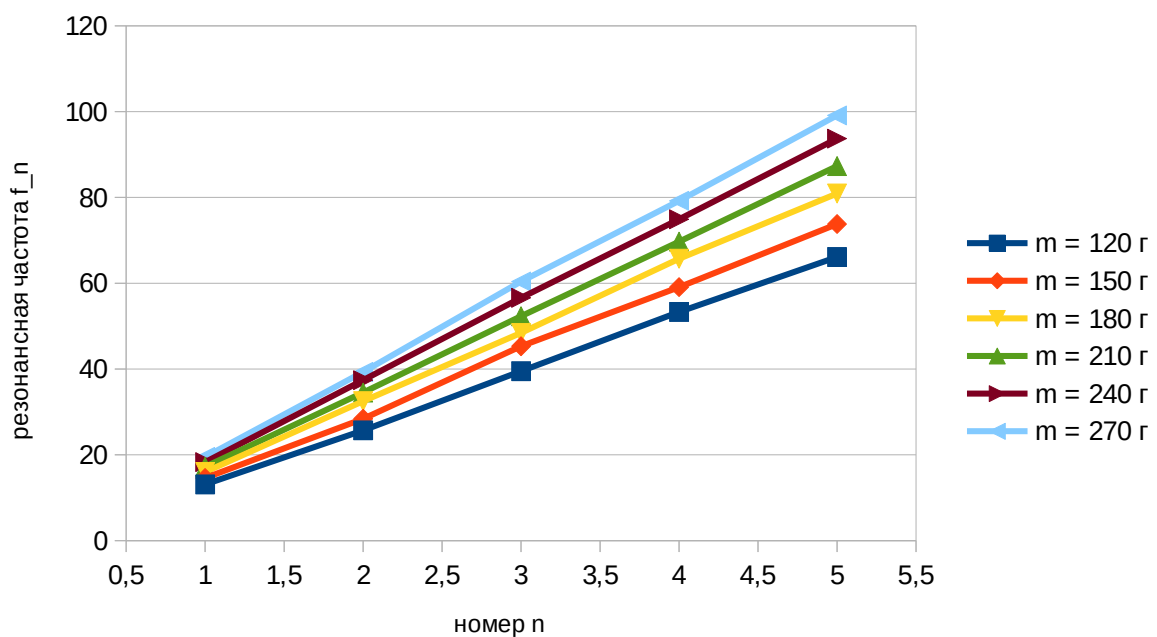


По МНК $a = 328.147 \frac{\text{М}}{\text{кг}}$ и по формуле $u = \sqrt{\frac{T}{p_l}} \Rightarrow p_l = \frac{1}{a} \quad \Delta a = 114.851$

$$p_l = 0.003047 \frac{\text{кг}}{\text{м}} = 3.047 \frac{\text{г}}{\text{м}}$$

Таблица 2 для неэластичной нити

	$m_1=120 \text{ г}$	$m_2=150 \text{ г}$	$m_3=180 \text{ г}$	$m_4=210 \text{ г}$	$m_5=240 \text{ г}$	$m_6=270 \text{ г}$
	$T_1=1.1784 \text{ Н}$	$T_2=1.473 \text{ Н}$	$T_3=1.7676 \text{ Н}$	$T_4=2.0622 \text{ Н}$	$T_5=2.3568 \text{ Н}$	$T_6=2.6514 \text{ Н}$
n	$f_1, \text{Гц}$	$f_2, \text{Гц}$	$f_3, \text{Гц}$	$f_4, \text{Гц}$	$f_5, \text{Гц}$	$f_6, \text{Гц}$
1	13.1	14.6	16.0	17.2	18.3	19.5
2	25.7	28.4	32.5	34.5	37.4	39.3
3	39.5	45.3	48.4	52.3	56.6	60.4
4	53.3	59.1	65.7	69.7	74.9	79.2
5	66.1	73.8	80.9	87.3	93.7	99.1
	$u_1=30.728$	$u_2=34.293$	$u_3=37.490$	$u_4=40.342$	$u_5=43.309$	$u_6=45.793$

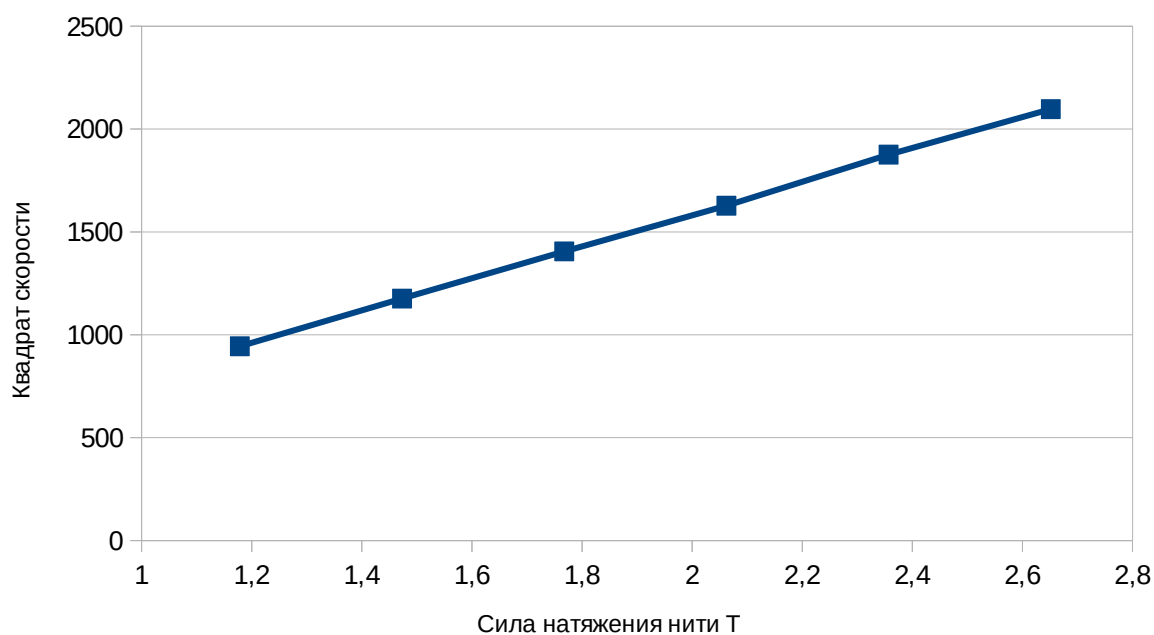


По МНК найдем угловой коэффициент $k = \frac{f_n}{n}$ для каждого графика.

Тогда по формуле $f_n = \frac{un}{2l} \Rightarrow u = \frac{f_n}{n} * 2l = 2kl$

$$\begin{aligned}
 k_1 &= 13.36 & u_1 &= 30.728 \\
 k_2 &= 14.91 & u_2 &= 34.293 \\
 k_3 &= 16.30 & \Rightarrow u_3 &= 37.490 \\
 k_4 &= 17.54 & u_4 &= 40.342 \\
 k_5 &= 18.83 & u_5 &= 43.309 \\
 k_6 &= 19.91 & u_6 &= 45.793
 \end{aligned}$$

u_i измеряется в $\frac{\text{м}}{\text{с}}$



По МНК $a = 784.104 \frac{\text{м}}{\text{кг}}$ и по формуле $u = \sqrt{\frac{T}{p_l}} \Rightarrow p_l = \frac{1}{a} \Delta a = 50.431$

$$p_l = 0.00127534 \frac{\text{кг}}{\text{м}} = 1.275 \frac{\text{г}}{\text{м}}$$

9. Окончательные результаты.

Значение $p_l, \frac{\text{г}}{\text{м}}$	Эластичная струна	Неэластичная струна
Прямое измерение	4.293 ± 0.026	1.761 ± 0.011
Через резонансные частоты	3.183 ± 1.291	1.379 ± 0.238
Через скорость	3.047 ± 1.066	1.275 ± 0.082

10. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе выполнения данной лабораторной работы были измерены значения резонансных частот упругой и неупругой струн в режиме формирования стоячих волн. Были вычислены значения скорости волны и линейной плотности струн при известной силе натяжения.