

РАБОЧИЙ ПРОТОКОЛ И ОТЧЁТ

по лабораторной работе №1.14

«Изучение колебаний струны»

Выполнил:

Хороших Дмитрий - Р3217

Преподаватель:

Хуснутдинова Наира

Рустемовна

Содержание

1	Введение	3
2	Результаты измерений и их обработка	4
3	Вывод	8
4	Приложение	8

1. Введение

1. Цель работы:

Пронаблюдать поперечные стоячие волны на тонкой натянутой струне и экспериментально определить зависимость собственных частот поперечных колебаний от номера гармоники и силы натяжения струны.

2. Задачи:

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

3. Объект исследования:

Колебаемая вибратором струна в установке.

4. Схема установки:



Рис. 1.1: Элементы лабораторной установки

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

5. Метод экспериментального исследования:

Однократный прямой замер резонансных частот.

6. Рабочие формулы:

Связь резонансной частоты с фазовой скоростью:

$$f_n = \frac{vn}{2l} \quad (1)$$

Связь фазовой скорости, силы натяжения и погонной плотности:

$$u = \sqrt{\frac{T}{\rho_l}} \quad (2)$$

Определение погонной плотности:

$$\rho_l = \frac{m}{l} \quad (3)$$

7. Измерительные приборы:

№ п/п	Наименование	Тип	Используемый диапазон	Погрешность приб.
1	Ген. гармонич. колебаний	Электронный	0 - 200 Гц	0.05 Гц
2	Рулетка	Ручной	0 - 500 см	0.1 см
3	Весы лабораторные	Ручной	0 - 311 г.	0.01 г.

2. Результаты измерений и их обработка

Измерим длину и массу обеих струн и найдём действительную погонную плотность ρ_l с учётом погрешности:

Струна	l , см	m , г	ρ_l , г/см	$\Delta\rho_l$, г/см
Эластичная	198.20	8.47	0.0427	0.0001
Неэластичная	143.40	2.44	0.0170	0.0001

Таблица 1: Результаты прямых измерений параметров струн и вычисления их погонной плотности.

Измерим величину резонансных частот для $n = 4$ гармоники у обеих струн при различных значениях сил натяжения:

Эластичная струна				Неэластичная струна			
m , г	f , Гц	f^2 , Гц ²	T , Н	m , г	f , Гц	f^2 , Гц ²	T , Н
55.00	22.90	524.41	0.54	55.00	37.60	1413.76	0.54
105.00	30.80	948.64	1.03	105.00	51.60	2662.56	1.03
155.00	38.30	1466.89	1.52	155.00	62.40	3893.76	1.52
205.00	44.40	1971.36	2.01	205.00	72.00	5184.00	2.01
255.00	51.30	2631.69	2.50	255.00	80.10	6416.01	2.50
$\rho_l \pm \Delta\rho_l = 0.0398 \pm 0.0001$, г/см				$\rho_l \pm \Delta\rho_l = 0.0156 \pm 0.0001$, г/см			

Таблица 2: Результаты измерений резонансных частот 4-й гармоники струн при различных силах натяжения.

По измеренным значениям построим график зависимости квадрата резонансной частоты f^2 от силы натяжения T :

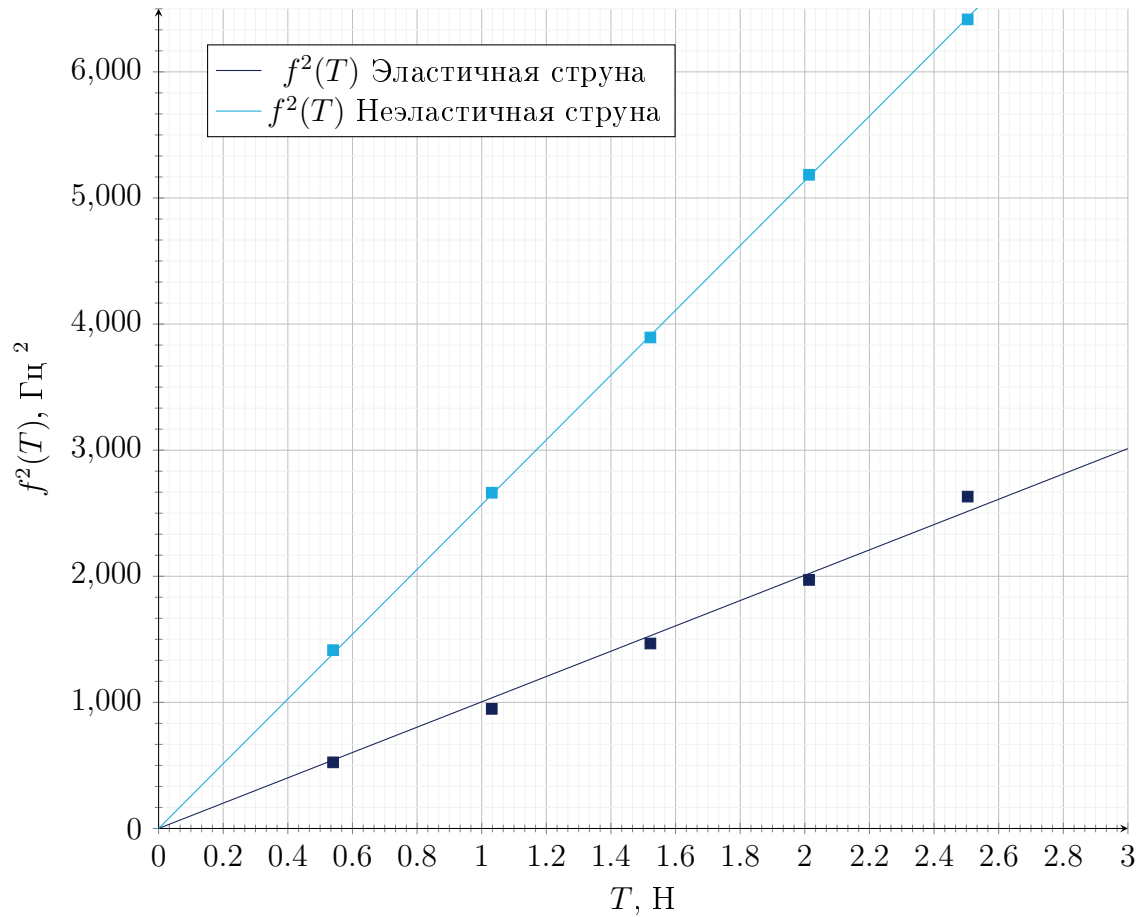


Рис. 2.1: Графики зависимости квадрата резонансной частоты f^2 от силы натяжения для 2-х струн.

Воспользовавшись методом наименьших квадратов найдём угловые коэффициенты $\alpha = \frac{4}{l^2 \rho_l}$:

$$\alpha_{\text{эласт}} \approx 1004 \pm 43$$

$$\alpha_{\text{неэласт}} \approx 2568 \pm 10$$

А также соответствующие погонные плотности:

$$\rho_{l \text{ эласт}} = 0.0398 \pm 0.002 \text{ г/см}$$

$$\rho_{l \text{ неэласт}} = 0.0156 \pm 0.00007 \text{ г/см}$$

Далее, для каждого значения силы натяжения T построим зависимость резонансной частоты f_n от номера гармоники n .

Эластичная струна						
n	f_1 , Гц	f_2 , Гц	f_3 , Гц	f_4 , Гц	f_5 , Гц	f_6 , Гц
1	9.00	9.40	10.50	11.30	12.30	12.90
2	17.20	19.60	21.20	22.90	24.70	25.70
3	25.40	28.80	31.50	34.40	37.30	40.50
4	34.20	38.70	42.50	47.10	49.80	53.60
5	43.20	48.20	52.90	58.50	62.60	66.70
г.	$m_1 = 125.00$	$m_2 = 155.00$	$m_3 = 185.00$	$m_4 = 215.00$	$m_5 = 245.00$	$m_6 = 275.00$
Н	$T_1 = 1.23$	$T_2 = 1.52$	$T_3 = 1.82$	$T_4 = 2.11$	$T_5 = 2.41$	$T_6 = 2.70$
м/с	$u_1 = 17.18$	$u_2 = 19.30$	$u_3 = 21.16$	$u_4 = 23.32$	$u_5 = 24.94$	$u_6 = 26.68$

Таблица 3: Результаты измерений резонансных частот при различных номерах гармоник для эластичной струны.

Неэластичная струна						
n	f_1 , Гц	f_2 , Гц	f_3 , Гц	f_4 , Гц	f_5 , Гц	f_6 , Гц
1	13.80	15.50	17.00	18.30	19.60	20.90
2	28.80	31.60	33.80	36.80	39.00	44.10
3	41.80	49.20	51.00	54.90	58.80	62.20
4	55.80	62.50	68.30	73.40	78.40	85.10
5	70.40	78.50	85.40	92.00	98.20	104.00
Г.	$m_1 = 125.00$	$m_2 = 155.00$	$m_3 = 185.00$	$m_4 = 215.00$	$m_5 = 245.00$	$m_6 = 275.00$
Н	$T_1 = 1.23$	$T_2 = 1.52$	$T_3 = 1.82$	$T_4 = 2.11$	$T_5 = 2.41$	$T_6 = 2.70$
м/с	$u_1 = 28.07$	$u_2 = 31.59$	$u_3 = 34.10$	$u_4 = 36.73$	$u_5 = 39.22$	$u_6 = 42.04$

Таблица 4: Результаты измерений резонансных частот при различных номерах гармоник для неэластичной струны.

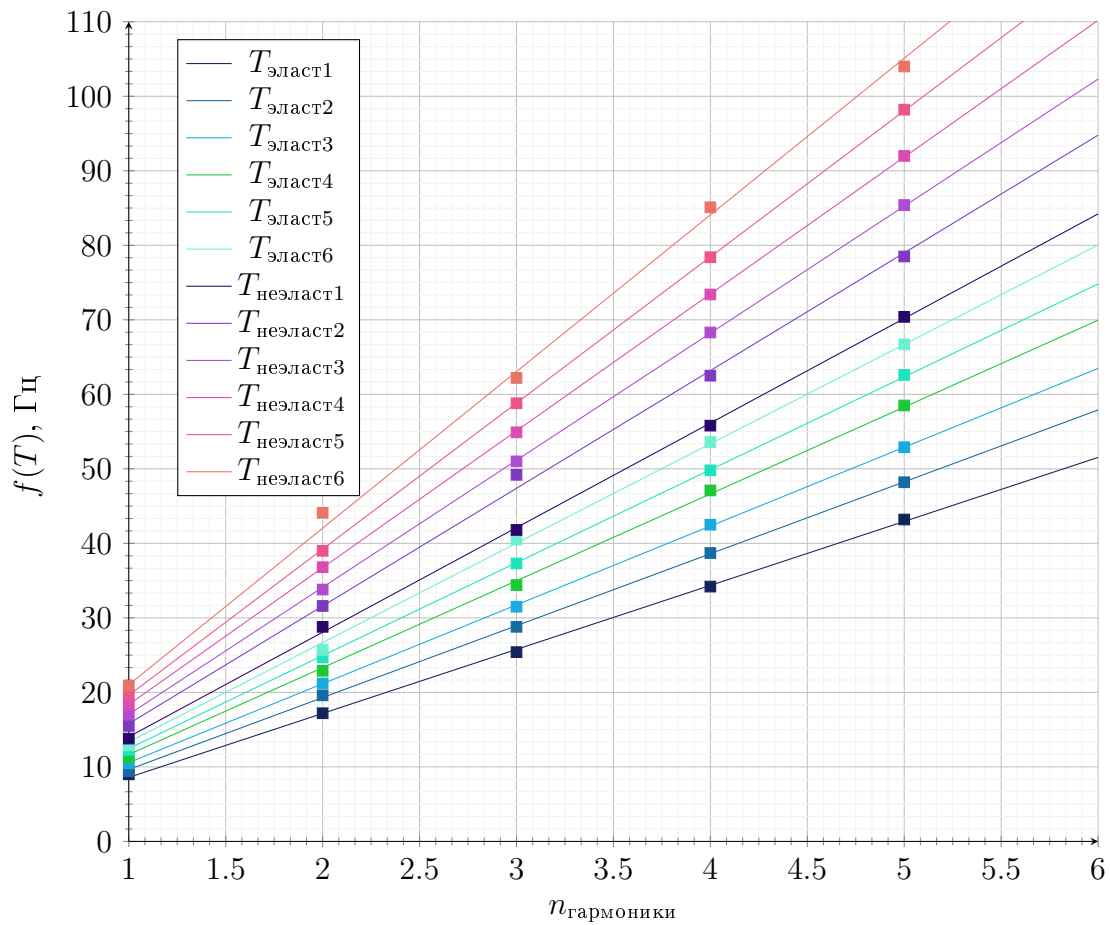


Рис. 2.2: Графики зависимости резонансной частоты f от гармоники при различных силах натяжения для обеих струн.

Аппроксимируем изображённые зависимости методом наименьших квадратов и получим угловые коэффициенты $\alpha = \frac{u \cdot n}{2 \cdot l}$. С помощью этих коэффициентов построим зависимость квадрата фазовой скорости u^2 от силы натяжения струны T :

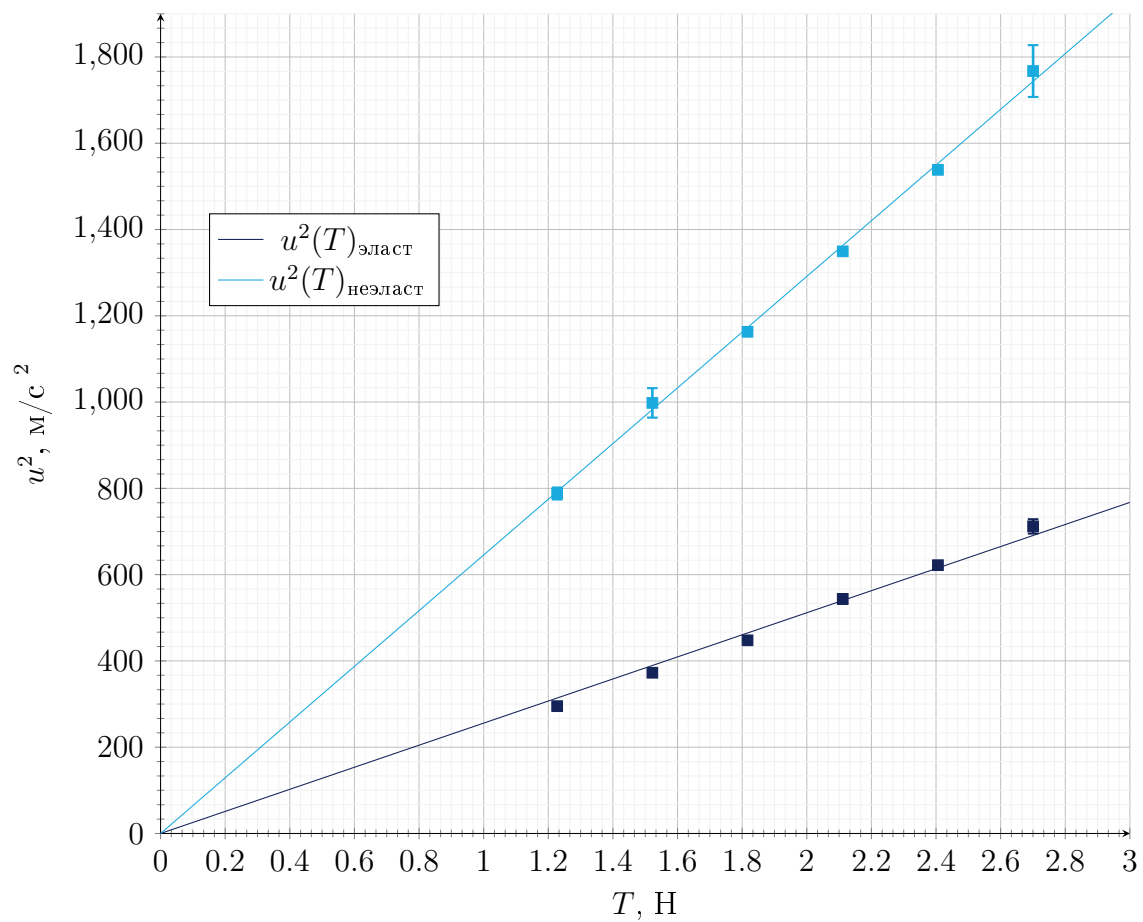


Рис. 2.3: Графики зависимости квадрата фазовой скорости u^2 от силы натяжения для обеих струн.

При помощи метода наименьших квадратов найдём угловые коэффициенты $\frac{1}{\rho_l}$ графиков, а вместе с ними и погонные плотности:

$$\begin{aligned}\rho_{l \text{ эласт}} &= 0.0391 \pm 0.001 \text{ г/см} \\ \rho_{l \text{ неэласт}} &= 0.0155 \pm 0.00001 \text{ г/см}\end{aligned}$$

3. Вывод

Таким образом, в ходе выполнения лабораторной работы удалось, измерив резонансные частоты для эластичной и неэластичной струны при различных силах натяжения:

1. Вычислить экспериментальные значения погонной плотности струн и сравнить их с действительными:

Для **эластичной** струны:

$$\rho l_{\text{действительная}} = 0.0427 \pm 0.001 \text{ г/см}$$

$$\rho l_{\text{экспер. 1-метод}} = 0.0398 \pm 0.0001 \text{ г/см}$$

$$\rho l_{\text{экспер. 2-метод}} = 0.0391 \pm 0.001 \text{ г/см}$$

Заметим, что плотности полученные экспериментальным путём довольно близки и слегка ниже полученной прямым замером (экспериментальные результаты отличаются от измеренных менее чем на 7%).

Для **неэластичной** струны:

$$\rho l_{\text{действительная}} = 0.0170 \pm 0.0001 \text{ г/см}$$

$$\rho l_{\text{экспер. 1-метод}} = 0.0156 \pm 0.0001 \text{ г/см}$$

$$\rho l_{\text{экспер. 2-метод}} = 0.0155 \pm 0.001 \text{ г/см}$$

Для неэластичной струны результат аналогичен - экспериментальные результаты сходны, чуть меньше действительных (отличие менее 9%).

2. Проверить, что неэластичные струны имеют более высокие показатели резонансных частот и фазовых скоростей при одинаковых силах натяжения в сравнении с эластичными струнами.

4. Приложение

Проект этой лабораторной работы, содержащий файлы с Python-кодом, использованным для вычислений и исходные TeX-файлы доступен по - ссылке.