

Лабораторная работа 1.4.5

"Изучение колебания струны"

Белов Михаил Б01-302

1 декабря 2023 г.

Аннотация:

Цель лабораторной работы: Изучить стоячие поперечные волны на тонкой натянутой струне; измерить собственные частоты колебаний струны и проверить условия образования стоячей волны; изменить скорость распространения поперечной волны и исследовать их зависимости от натяжения струны.

Теоретические сведения:

Струной называют длинную однородную тонкую упругую нить. в данной работе исследуются поперечные колебания металлической гитарной струны.

Основное свойство струны – гибкость – обусловлено тем, что её поперечные размеры малы по сравнению с длиной. Это означает, что напряжение направлено только вдоль струны, и позволяет не учитывать изгибные напряжения.

В силу волнового уравнения скорость распространения поперечной волны на струне равна:

$$u = \sqrt{\frac{F}{\rho_l}}, \quad (1)$$

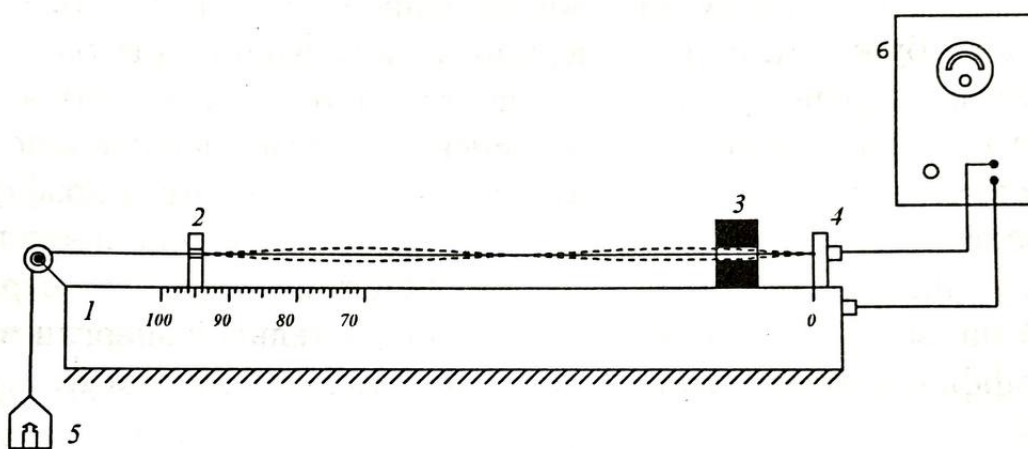
где F – сила натяжения струны, ρ_l – масса струны на единицу длины. При заданной частоте ν длина волны:

$$\lambda = \frac{u}{\nu} \quad (2)$$

Частоты собственных колебаний струны определяется формулой:

$$\nu_n = n \frac{u}{2l}, \quad (3)$$

где l – длина струны, n – число полуволн.



Методика измерений:

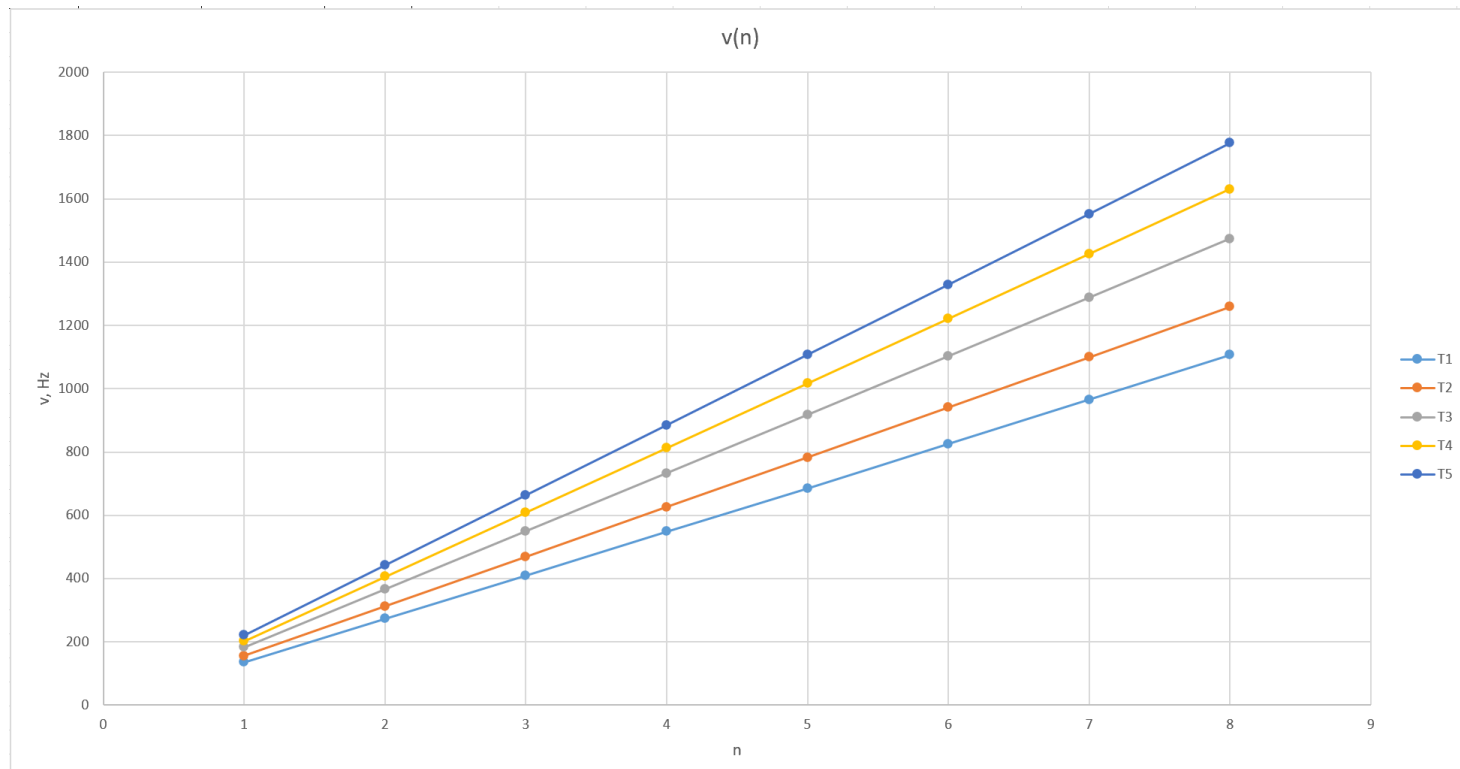
В работе используются: Закреплённая на станине стальная струна, набор грузов, элеткротом=гнитные датчики, звуковой генератор, двухканальный осциллограф, частотомер.

Результаты измерений:

Проведём эксперименты по расчёту частоты для образования стоячей волны с различными номерами гармоники при разных силах натяжения струны и рассчитаем эти же значения теоретически:

n	1	2	3	4	5	6	7	8
Т натяж., Н	10,68286368							
$\nu_{теор}, \text{Hz}$	137,0	274,0	411,0	550,0	690,0	820,0	960,0	1100,0
ν, Hz	135,5	273,1	409,7	548,5	685,1	826,1	966,3	1106,9
$\delta\nu, \text{Hz}$	3,0	5,0	8,0	11,0	14,0	16,0	19,0	20,0
Т натяж., Н	14,01217952							
$\nu_{теор}, \text{Hz}$	157,0	314,0	471,0	628,0	785,0	942,0	1100,0	1260,0
ν, Hz	155,8	312,1	468,4	626,4	783,2	941,1	1099,4	1259,1
$\delta\nu, \text{Hz}$	3,0	6,0	9,0	13,0	16,0	19,0	20,0	30,0
Т натяж., Н	18,8599068							
$\nu_{теор}, \text{Hz}$	182,0	364,0	546,0	730,0	910,0	1100,0	1280,0	1460,0
ν, Hz	182,8	366,4	550,1	733,5	917,8	1103	1288,1	1474,5
$\delta\nu, \text{Hz}$	4,0	7,0	11,0	15,0	18,0	20,0	30,0	30,0
Т натяж., Н	23,70076344							
$\nu_{теор}, \text{Hz}$	204,0	408,0	610,0	817,0	1020,0	1230,0	1430,0	1630,0
ν, Hz	202,6	405,8	609,1	812,4	1016,6	1220,8	1425,5	1630,5
$\delta\nu, \text{Hz}$	4,0	8,0	12,0	16,0	20,0	20,0	30,0	30,0
Т натяж., Н	28,53573096							
$\nu_{теор}, \text{Hz}$	224,0	448,0	670,0	900,0	1120,0	1340,0	1570,0	1790,0
ν, Hz	220,8	442,4	663,8	885,3	1107,9	1329,2	1552,7	1776,5
$\delta\nu, \text{Hz}$	4,0	9,0	13,0	18,0	20,0	30,0	30,0	40,0

Построим графики зависимостей частот образования стоячих волн от чисел гармоники для различных величин натяжения нити:



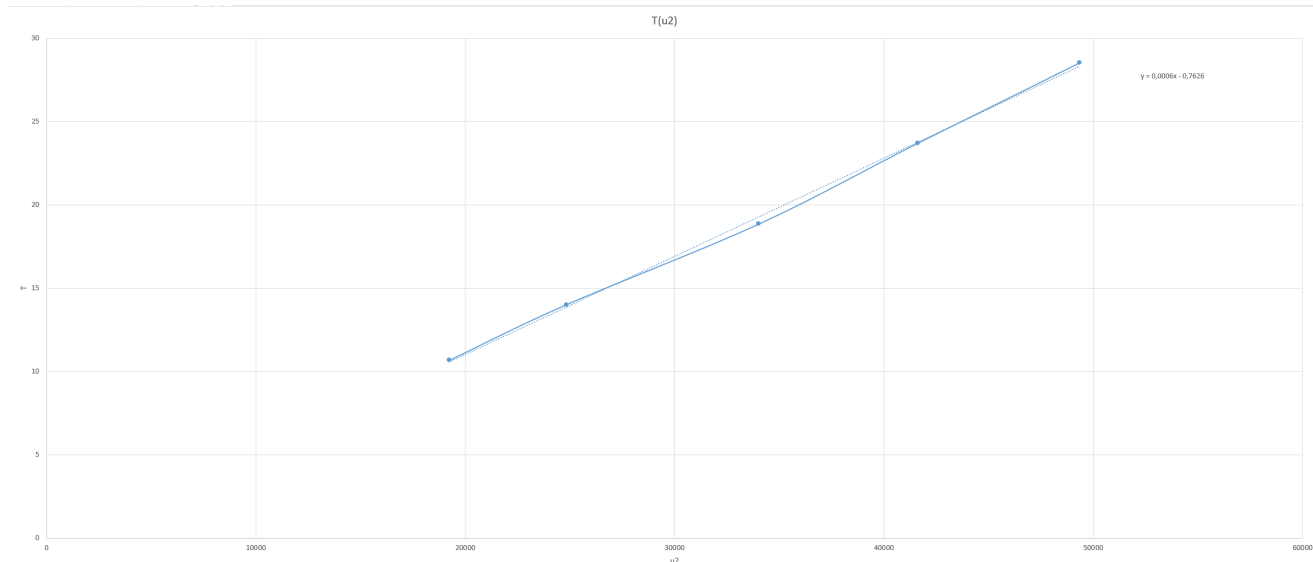
По углам наклона, пользуясь формулой (3), можно найти скорость распространения волны u :

$$u = 2l \cdot \frac{\nu_n}{n}$$

u	138,71	157,6	184,5	203,97	222,15
δu	0,32	0,2	0,2	0,19	0,17

Построим график зависимости силы натяжения нити T от u^2 и по углу наклона графика B по уравнению (1), определим величину ρ_l :

u2	19240,4641	24822,0025	34021,8025	41603,7609	49350,6225
T	10,68286368	14,01217952	18,8599068	23,70076344	28,53573096

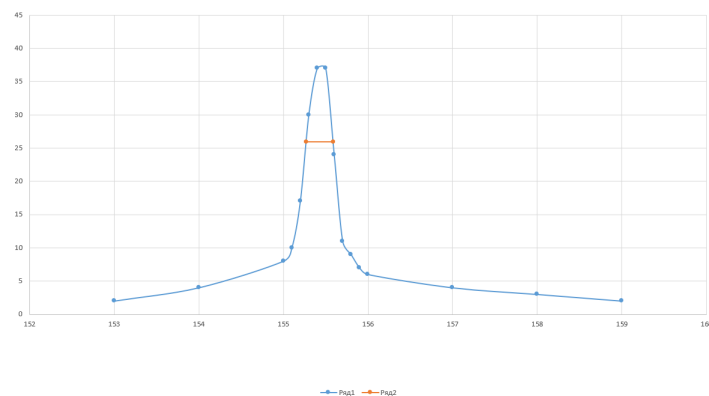
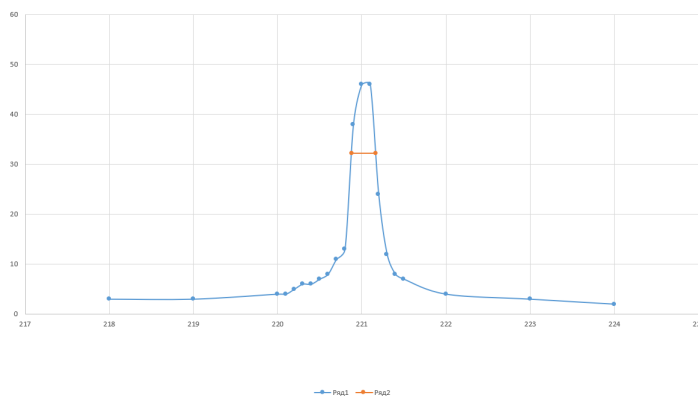


Таким образом получим:

ρ_l	$\delta \rho_l$
0,000589	0,000012

Определение добротности Q струны как колебательной системы по АЧХ:

$$Q = \frac{\nu_{rez}}{\Delta \nu}$$



ν_{rez}	$\delta \nu$	Q
221,1	0,29	759,793
155,4	0,32	730,937

Погрешность можно рассчитать по формуле:

$$\delta Q = Q \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\delta \nu}{\nu} = 19,3$$

Обсуждение результатов и вывод:

Таким образом мы исследовали стоячие поперечные волны на тонкой натянутой струне и зависимость частот их возбуждения от чисел гармоник при различных силах натяжения нити. По полученным графикам мы нашли скорость распространения поперечной волны при различных силах натяжения (с погрешностью менее 0,2%).

Исходя из зависимости квадрата скорости распространения волны от силы натяжения, мы проверили правильность величины плотности нити (она сошлась с точностью 3,6%).

По АЧХ мы измерили добротность струны как колебательной системы $Q \approx 745,5$ (с погрешностью 2,6%)