

Лабораторная работа 1.4.5. ИЗУЧЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ

Попова Софья Б04-401

November 2024

Цель работы

Исследование зависимости частоты колебаний струны от величины натяжения, а также условий установления стоячей волны, получающейся в результате сложения волн, идущих в противоположных направлениях.

Оборудование

Рейка со струной, звуковой генератор, постоянный магнит, разновесы.

Теоретическая часть

Гибкость струны является следствием ее большой длины в сравнении с малыми поперечными размерами. Даже струны, изготовленные из жестких материалов, практически не сопротивляются изгибу, что позволяет пренебречь изгибными напряжениями. За счет натяжения струна вытягивается практически в прямую линию, сила натяжения значительно превосходит вес струны, что позволяет пренебречь силами тяжести.

По волновому уравнению скорость распространения поперечной волны на струне равна (где F - сила натяжения струны, ρ_l - масса струны на единицу длины):

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

При заданной частоте ν длина волны равна λ :

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

Частоты собственных колебаний струны определяются формулой (где l - длина волны, n - число полуволн):

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

Эту формулу будем использовать для теоретического расчета частоты гармоник.

Экспериментальная часть

Проведем предварительные расчеты:

Сила натяжения нити $T = Mg$, где M = суммарная масса подвеса и изначальных грузиков.

$$M = 1012,7 \text{ г}$$

$$\rho = 568,4 \text{ мг/м} = 0,5684 \text{ г/м}$$

Тогда:

$$u = \sqrt{\frac{M \cdot g}{\rho}} \approx 132,14 \text{ м/с}$$

Длина струны L (рекомендованное значение - 50 см) = $50 \pm 0,05$ см. Рассчитаем частоту основной гармоники по формуле (3):

$$\nu_1 = 1 \cdot \frac{u}{2L} \approx 132 \text{ Гц}$$

Включим в сеть звуковой генератор, установим на нём синусоидальный тип сигнала. Установим регистрирующий датчик в центре под струной (в месте пучности). Убедимся, что сигнал с выхода генератора подаётся на возбуждающий датчик. Устанавливаем на генераторе рассчитанную частоту ν_1

Медленно изменяя частоту генератора в пределах $\nu_1 \pm 5$ Гц, добиваемся возбуждения стоячей волны с максимальной амплитудой регистрируемого сигнала на осциллографе, записываем значение частоты в табл.1

Увеличим частоту генератора в 2 раза и аналогичным образом определим частоту ν_2 , при которой амплитуда колебаний достигает максимума. Проведём такое же измерение для 3-9 нечетных гармоник. Результат - в табл.1

Проведем измерения для еще 4 четных гармоник. Теперь посередине струны находится узел волны, поэтому регистрирующий датчик стоит сместить в сторону пучности. Результаты - в табл.1

Гармоника	ν_1	ν_2	ν_3	ν_4	ν_5	ν_6	ν_7	ν_8	ν_9
Частота	136,49	273,28	409,7	549,2	685,1	826,2	967	1105	1250

Таблица 1: масса грузиков = 1012,7 г

Повторим измерения для других значений T . Натяжение нити будем изменять подвешивая дополнительные грузы к нити. Результаты измерений указаны в таблице 2.

Масса груза 1351,7 г	Гармоника Частота	ν_1 158,2	ν_2 315,4	ν_3 474,3	ν_4 632,5	ν_5 789,2	ν_6 948,2	ν_7 1110	ν_8 1266	ν_9 1427
Масса груза 1844,9 г	Гармоника Частота	ν_1 181	ν_2 364	ν_3 548,3	ν_4 731,9	ν_5 915,5	ν_6 1098	ν_7 1284	ν_8 1469	ν_9 1651
Масса груза 2327,3 г	Гармоника Частота	ν_1 202	ν_2 408,2	ν_3 611,6	ν_4 815,5	ν_5 1020	ν_6 1222	ν_7 1430	ν_8 1637	ν_9 1843
Масса груза 2821,7 г	Гармоника Частота	ν_1 224	ν_2 450,5	ν_3 672,6	ν_4 899,9	ν_5 1126	ν_6 1351	ν_7 1577	ν_8 1805	ν_9 2032

Таблица 2: Данные измерений при разных T

По полученным данным построим график зависимости частоты резонанса от n (рис.1)

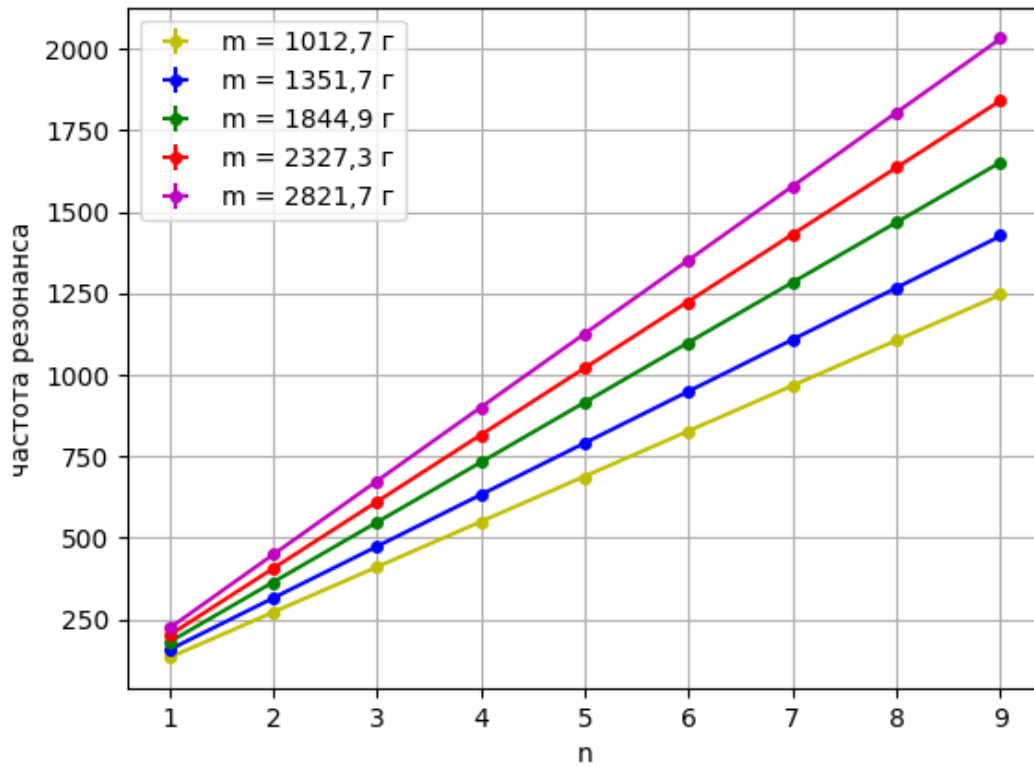


Рис. 1: Графики зависимости $\nu_n(n)$

Определим по наклону графика u скорость волн в струне при каждом T по формуле (3):

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

$u_1 = 137,4$ м/с. Теоретическое значение: 132,21 м/с Разница составляет: $\frac{137,4 - 132,21}{137,4} \approx 0,038(3,8\%)$
 $u_2 = 158,1$ м/с. Теоретическое значение: 152,74 м/с Разница составляет: $\frac{158,1 - 152,74}{158,1} \approx 0,034(3,4\%)$
 $u_3 = 182,8$ м/с. Теоретическое значение: 178,44 м/с Разница составляет: $\frac{182,8 - 178,44}{182,8} \approx 0,024(2,4\%)$
 $u_4 = 203,9$ м/с. Теоретическое значение: 200,42 м/с Разница составляет: $\frac{203,9 - 200,42}{203,9} \approx 0,017(1,7\%)$
 $u_5 = 225$ м/с. Теоретическое значение: 220,68 м/с Разница составляет: $\frac{225 - 220,68}{225} \approx 0,019(1,9\%)$

По полученным данным построен график зависимости квадрата скорости волны от силы натяжения нити (рис.2). По наклону прямой, по формуле (1) определим ρ_l :

$$u^2 = \frac{F}{\rho_l} \quad \rho_l = \frac{F}{u^2}$$

$\rho_l = 0,5383$ г/м = 538,3 мг/м погрешность = $\sqrt{\left(\frac{0,05}{1012,7}\right)^2 + 2\left(\frac{0,038 \cdot 136,5}{136,5}\right)^2} \approx 0,054(5,4\%)$
 Значение, указанное на установке: 568,4 мг/м Разница $\approx 5,3\%$

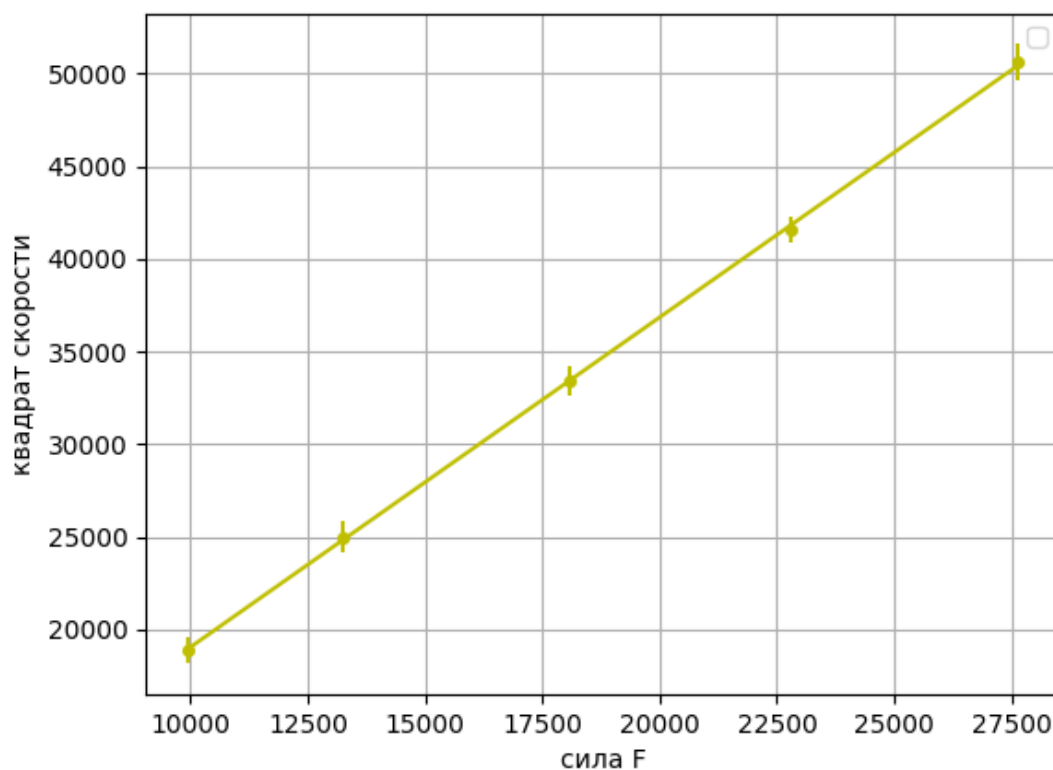


Рис. 2: График зависимости $u^2(F)$

Вывод

Во время выполнения работы было подтверждено несколько теоретических зависимостей между физическими величинами. Подтверждена формула для определения частот гармоник струны и формула для определения скорости распространения волны в твердом теле под действием внешней силы.

Полученные графики имеют вид, предсказанный теоретически.

С точностью $\varepsilon_{\rho_l} = 5,4\%$ определена линейная плотность струны, значение которой, в пределах погрешности, совпало со значением, указанным на установке.