

# **Работа 1.4.5**

## **Изучение колебаний струны**

Валеев Рауф Раушанович  
группа 825

17 декабря 2018 г.

**Схема установки** Схема установки приведена на Рис. 3. Стальная гитарная струна 1 закрепляется в горизонтальном положении между двумя стойками с зажимами 2 и 3, расположенными на массивной станине 4. Один конец струны закреплен в зажиме 2 неподвижно. К противоположному концу струны, перекинутому через блок, прикреплена платформа с грузами 5, создающими натяжение струны. Зажим 3 можно передвигать по станине, устанавливая требуемую длину струны. Возбуждение и регистрация колебаний струны осуществляются с помощью электромагнитных датчиков (вибраторов), расположенных на станине под струной. Электромагнитный датчик 6 подключен к звуковому генератору 7 и служит для возбуждения колебаний струны, частота которых измеряется с помощью частотомера 10 (в некоторых установках частотомер встроен в генератор). Колебания струны регистрируются с помощью электромагнитного датчика 8, сигнал с которого передается на вход осциллографа 9. Разъёмы, через которые датчики с помощью кабелей соединяются с генератором и осциллографом, расположены на корпусе станины.

145\_2.png

### Визуальное наблюдение стоячих волн

1. Освобождаем зажим струны на стойке 3, устанавливаем длину струны  $L = 50$  см. Натягиваем

струну, поставив на платформу грузы ( $F \approx 1$  кг) (учитывая вес платформы и крепежа). Осторожно зажимаем струну в стойке, не деформируя струну. Возбуждающий датчик 6 должен располагаться рядом с неподвижной стойкой 2, т.е. вблизи узла стоячей волны.

2. Проводим предварительные расчёты. Оцениваем скорость распространения волн по формуле

$$u = \sqrt{\frac{T}{\rho_1}}$$

$M_{susp}, g$	$M_{carg0}, g$	$\rho_1, g/m$	$u, m/c$
111,6	969,6	0,5684	137,9196

где используя табличное значение плотности стали и приняв диаметр струны равным  $d \approx 0,3$  мм. Для заданных значений длины струны и силы натяжения рассчитываем частоту основной гармоники  $\nu_1$  согласно формуле

$$\nu_n = \frac{u}{\lambda_n} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho_1}}, n \in N$$

3. Включаем в сеть звуковой генератор и частотомер. Устанавливаем на генераторе тип сигнала — синусоидальный, частоту основной гармоники  $\nu_1$  и максимальную амплитуду напряжения. При этом сигнал с выхода генератора должен быть подан на возбуждающий датчик 6 (проверяем правильность соединения проводов!)
4. Медленно меняя частоту звукового генератора в диапазоне  $\nu = \nu_1 \pm 5$  Гц, добиваемся возбуждения стоячей волны на основной гармонике (одна пучность). Если при колебаниях струна касается регистрирующего датчика 8, осторожно сдвигаем датчик по скамье в сторону подвижного зажима струны 3. Определяем частоту первой гармоники по частотомеру.

145\_1.png

5. Увеличив частоту в 2 раза, получаем картину стоячих волн на второй гармонике, а затем и на более высоких гармониках. Обычно визуально удастся наблюдать до 5-7 гармоник. Запишем значения частот  $\nu_n$  стоячих волн, которые удастся пронаблюдать.

$f_{harmony}, Hz$		Номер
теория	практика	
137,92	137,8	1
275,84	278,6	2
413,76	418,9	3
551,68	560,2	4
689,6	690	5
827,52	830,8	6
965,44	974,5	7

## Регистрация стоячих волн с помощью осциллографа

1. Визуально настраиваем струну на основной гармонике, не меняя нагрузку струны и её длину. Устанавливаем регистрирующий датчик 8 в центре под струной (в пучности стоячей волны). Уменьшаем уровень выходного сигнала генератора так, чтобы при колебаниях струна не касалась датчика. Проверяем правильность соединения проводов. Сигнал колебаний струны с регистрирующего датчика 8 (основной сигнал) подается на вход канала CH2(Y) осциллографа. На вход канала CH1(X) подается опорный сигнал с генератора на частоте возбуждения струны.
2. Включите осциллограф в сеть. Для наблюдения колебаний струны в одноканальном режиме переключатель режима работы MODE блока вертикального отклонения должен стоять в положении CH2; тумблер режима работы канала Y — в положение AC; на блоке синхронизации устанавливаем SOURCE — CH2. Устанавливаем такие значения коэффициента усиления канала Y (VOLTS/DIV); постоянную времени развертки (TIME/DIV) и уровень синхронизации (LEVEL), чтобы на экране было удобно наблюдать форму сигнала. Подстраиваем частоту  $\nu$  генератора так, чтобы амплитуда сигнала была максимальна. Добиваемся отсутствия нелинейных искажений, уменьшая уровень возбуждения (амплитуду напряжения генератора) и подстраивая при этом частоту так, чтобы она соответствовала максимуму сигнала. Запишем окончательное значение частоты основной гармонике  $\nu$ .
3. Проводим измерение частот не менее 5 нечетных ( $n = 1, 3, 5, 7, 9$ ) гармоник стоячих волн при длине струны 50 см и массе грузов  $\approx 1$  кг. Для наблюдения нечетных гармоник регистрирующий датчик следует размещать в центре под струной (как для основной гармонике).
4. Измеряем частоты четных ( $n = 2, 4, \dots$ ) гармоник. Для этого осторожно смещайте регистрирующий датчик 8 по станине в предварительно рассчитанные положения пучностей. Во избежание взаимного влияния («резонирования») датчиков регистрирующий датчик следует сдвигать в струну подвижного зажима струны 3.
5. Проведите опыты пп. 8 и 9 не менее, чем для пяти различных натяжений струны. При изменении нагрузки следует ослабить зажим струны в стойке 3, положить груз на чашку и вновь осторожно зажать струну. Максимальная нагрузка — не выше 3,5 кг!


$M_{susp} = 111,6g, \rho_1 = 0,5684g/m$					
теория	практика	Номер	теория	практика	Номер
$M_{carg0} = 969,6g$			$M_{carg0} = 1944,2g$		
137,9196	137,8	1	190,1794	188,5	1
275,8392	268	2	380,3587	384	2
413,7588	414,8	3	570,5381	567,6	3
551,6784	557,1	4	760,7175	776,5	4
689,598	693,7	5	950,8968	947,9	5
827,5176	835	6	1141,076	1165,3	6
965,4372	974,5	7	1331,256	1329	7
1103,357	1110,3	8	1521,435	1557,1	8
1241,276	1259	9	1711,614	1712,8	9
1379,196	1387,3	10	1901,794	1906	10
$M_{carg0} = 1460,8g$			$M_{carg0} = 2281,1g$		
166,3238	164,1	1	205,1715	203,4	1
332,6477	335	2	410,3431	413,8	2
498,9715	495	3	615,5146	612,5	3
665,2953	670	4	820,6861	828,8	4
831,6192	826,4	5	1025,858	1022,2	5
997,943	1000	6	1231,029	1244,8	6
1164,267	1156,8	7	1436,201	1434,6	7
1330,591	1335	8	1641,372	1662,3	8
1496,914	1491,8	9	1846,544	1849,2	9
1663,238	1660	10	2051,715	2086	10

$M_{carg0} = 2773,7g$		
225,3038	224	1
450,6075	450,5	2
675,9113	673	3
901,2151	902,2	4
1126,519	1122	5
1351,823	1355,1	6
1577,126	1573	7
1802,43	1810,2	8
2027,734	2026	9
2253,038	2278	10

$u, m/c$	$T, H$	$\sigma_u, m/c$
139,7	10,6	0,9
166	15,4	1
191,4	20,1	3
207,8	23,4	2,2
226,9	28,3	1,7

145\_6.jpg


где  $T1 = 10,6H, T2 = 15,4H, T3 = 20,1H, T4 = 23,4H, T5 = 28,3H$



145\_5.jpg

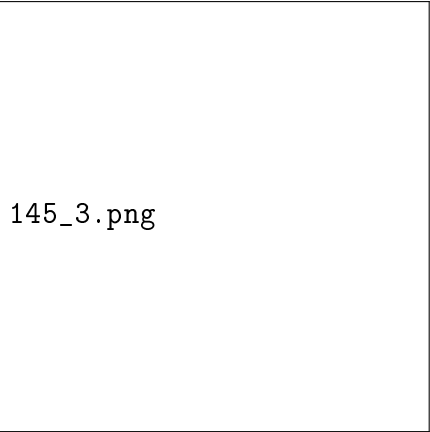
Отсюда мы получаем, что  $\rho_l = (5,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} kg/m \approx 5,7 \cdot 10^{-4} kg/m$

6. Благодаря высокой добротности струны, возможно возбуждение её колебаний при кратных частотах генератора, меньших, чем  $\nu_1$ . Для наблюдения явления переключите осциллограф в режим (X-Y) и настройте установку на наблюдение основной гармоники. Затем уменьшите частоту возбуждения в два раза, установив на генераторе  $\nu = 0.5\nu_1$ . На экране осциллографа должна наблюдаться фигура Лиссажу с одним самопересечением.



145\_7.png

7. Определите добротность  $Q$  струны как колебательной системы, измерив её амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) вблизи одной из резонансных частот (в качестве таковых рекомендуется выбрать  $\nu_1$  или  $\nu_3$ ) для нескольких натяжений струны (по указанию преподавателя). Для расчётов воспользуйтесь известным из теории колебаний результатом: добротность колебательной системы связана с резонансной частотой  $\nu_{res}$  и шириной резонансной кривой  $\Delta\nu$  соотношением  $Q = \frac{\nu_{res}}{\Delta\nu} \approx 918,7$  где ширина резонансной кривой  $\Delta\nu$  измеряется на уровне амплитуды, составляющей 0,7 от амплитуды в резонансе.



145\_3.png



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f, Hz$	137,8	137,78	137,77	137,75	137,74	137,72	137,71	137,7	137,68	137,66
$U, V$	0,036	0,034	0,032	0,03	0,026	0,024	0,022	0,02	0,016	0,014
$U/U_0$	1	0,94	0,89	0,83	0,72	0,67	0,61	0,56	0,44	0,39
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$f, Hz$	137,64	137,63	137,61	137,6	137,58	137,57	137,55	137,54	137,52	137,5
$U, V$	0,014	0,012	0,01	0,009	0,009	0,008	0,008	0,007	0,006	0,006
$U/U_0$	0,39	0,33	0,28	0,25	0,25	0,22	0,22	0,2	0,17	0,17
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$f, Hz$	137,49	137,47	137,46	137,82	137,83	137,85	137,86	137,88	137,89	137,91
$U, V$	0,006	0,006	0,006	0,036	0,034	0,03	0,026	0,024	0,022	0,018
$U/U_0$	0,17	0,17	0,17	1	0,94	0,83	0,72	0,67	0,61	0,5
	31	32	33	34						
$f, Hz$	137,92	137,94	137,96	137,97						
$U, V$	0,018	0,012	0,01	0,01						
$U/U_0$	0,5	0,33	0,28	0,28						

145\_4.jpg