

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

ИЗУЧЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ

**Методические указания
к лабораторной работе № 11 а
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2006

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ

Методические указания
к лабораторной работе № 11 а
по дисциплине «Физика»

Уфа 2006

Составитель В.С. Симонов

УДК
ББК

Изучение собственных колебаний струны: Методические указания к лабораторной работе № 11 а по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Симонов. – Уфа, 2006. – 10 с.

В методических указаниях изложена теория распространения колебаний на струне, выведено уравнение бегущей волны. Получено уравнение стоячей волны и изучены условия образования пучностей и узлов. Экспериментальная установка позволяет получать стоячие волны и определять собственные частоты стоячих волн на струне.

Предназначены для студентов технических вузов, выполняющих лабораторный практикум по разделу «Механика» дисциплины «Физикф».

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: Рабчук Л.В.,
Рааб Г.И.

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2006

Составитель СИМОНОВ Владимир Сергеевич

ИЗУЧЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ

Методические указания
к лабораторной работе № 11 а
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2006. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
2.1. Стоячие волны.....	4
2.2. Колебания струны.....	5
3. Экспериментальная часть.....	7
4. Требования по технике безопасности.....	8
5. Порядок выполнения работы.....	9
6. Требования к отчету.....	9
7. Контрольные вопросы.....	10
Список литературы.....	10

Лабораторная работа № 11 а

Изучение собственных колебаний струны

1. Цель работы

Изучение собственных колебаний струны.

2. Теоретическая часть

2.1. Стоячие волны

Стоячие волны являются особым случаем интерференции. Интерференцией волн называется явление наложения когерентных волн, при котором происходит устойчивое во времени их взаимное усиление в одних точках пространства и ослабление в других, в зависимости от соотношения между фазами этих волн.

Стоячие волны возникают при наложении двух бегущих плоских волн, распространяющихся навстречу друг другу с одинаковыми частотами и амплитудами.

Если в среде распространяются одновременно несколько волн, то колебания частиц среды оказываются геометрической суммой колебаний, которые совершали бы частицы при распространении каждой из волн в отдельности. Следовательно, волны просто накладываются одна на другую, не возмущая друг друга. Это вытекающее из опыта утверждение называется принципом суперпозиции (наложения) волн. Практически стоячие волны возникают при отражении волн от преград. Падающая на преграду волна и бегущая ей навстречу отраженная волна, налагаясь друг на друга, дают стоячую волну.

Уравнения двух плоских волн, распространяющихся вдоль оси x в противоположных направлениях, имеют вид:

$$\begin{aligned}y_1 &= A \cos(\omega t - k x), \\y_2 &= A \cos(\omega t + k x),\end{aligned}\tag{2.1}$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\omega}{v}$ – волновое число.

Сложив вместе эти уравнения и преобразовав результат по формуле для суммы косинусов, получим уравнение стоячей волны

$$y = y_1 + y_2 = 2 A \cos(k x) \cos \omega t = 2 A \cos\left(\frac{2 \pi x}{\lambda}\right) \cos \omega t$$

или
$$y = \left(2 A \cos \frac{2 \pi x}{\lambda}\right) \cos \omega t, \quad (2.2)$$

где $\left(2 A \cos \frac{2 \pi x}{\lambda}\right)$ – амплитуда стоячей волны.

В точках, координаты которых удовлетворяют условию $\frac{2 \pi x}{\lambda} = \pm n \pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) амплитуда колебаний достигает максимального значения. Эти точки называются пучностями стоячей волны

$$x_{\text{пуч}} = \pm n \frac{\lambda}{2}, \text{ где } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

В точках, координаты которых удовлетворяют условию $\frac{2 \pi x}{\lambda} = \pm \left(n + \frac{1}{2}\right) \pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) амплитуда колебаний обращается в нуль. Эти точки называются узлами стоячей волны. Точки среды, находящейся в узлах, колебаний не совершают. Координаты узлов имеют значения

$$x_{\text{узел}} = \pm \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots). \quad (2.4)$$

Узел как и пучность представляют собой не одну точку, а плоскость, точки которой имеют значение координаты x определяемые по формуле (2.4).

2.2. Колебания струны

В закрепленной с обоих концов натянутой струне при возбуждении поперечных колебаний устанавливаются стоячие волны, причем в местах закрепления струны должны располагаться узлы. Поэтому в струне возбуждаются с заметной интенсивностью только такие колебания, половина данной длины волны которых, укладывается на длине струны целое число раз (рисунок 2.1).

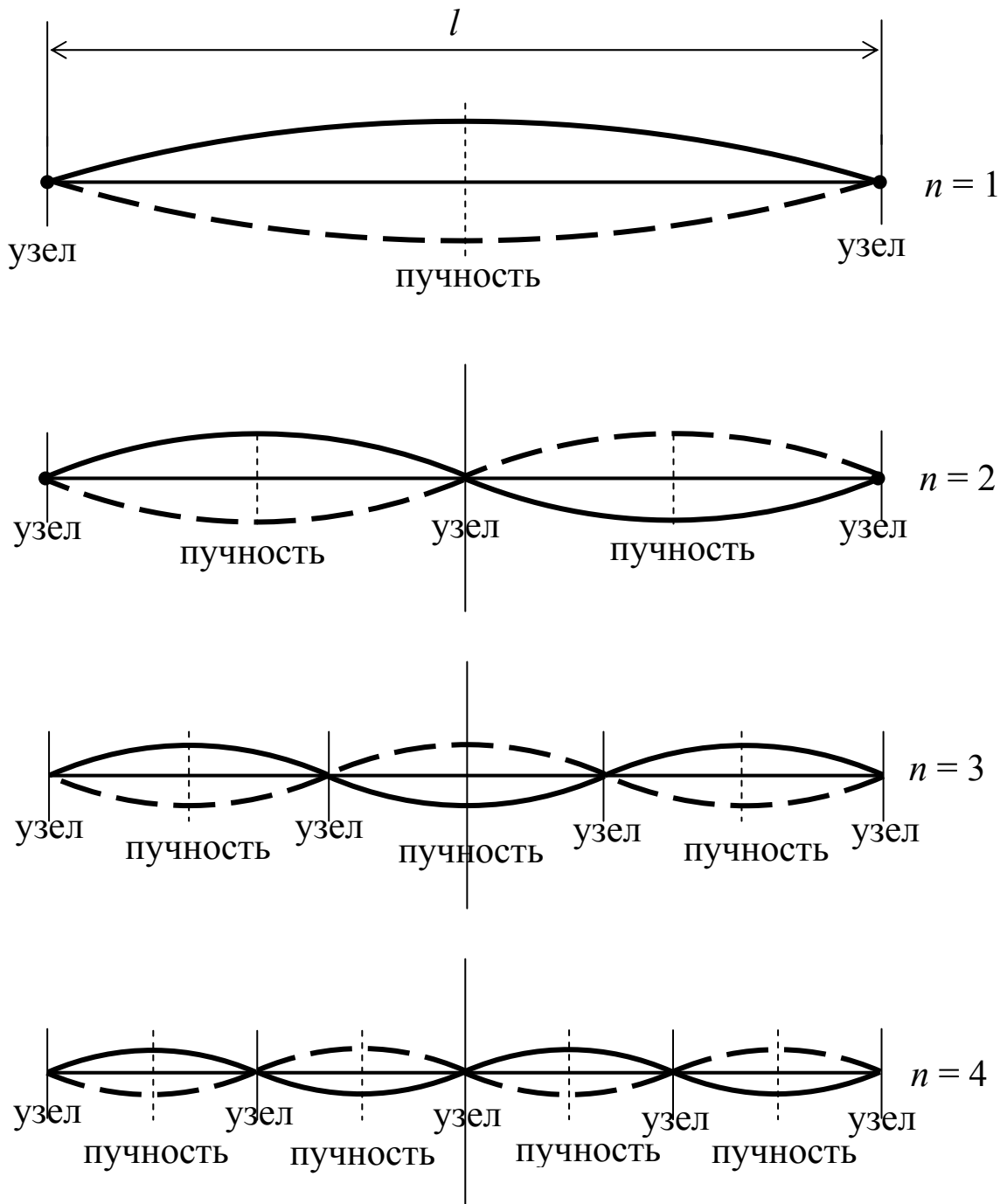


Рис. 2.1

Отсюда вытекает условие $l = n \frac{\lambda}{2}$ или

$$\lambda_n = \frac{2l}{n}, \quad (n=1, 2, 3, 4 \dots) \quad (2.5)$$

l – длина струны.

Длинам волн λ_n соответствуют частоты $\nu_n = \frac{v_\phi}{\lambda_n} = \frac{v_\phi}{2l} n$, ($n=1, 2, 3, 4 \dots$), где v_ϕ – фазовая скорость, определяемая силой

натяжения (F) струны и массой единицы длины (линейной плотностью $\rho_{\text{лин}}$)

$$v_{\text{ф}} = \sqrt{\frac{F}{\rho_{\text{лин}}}}, \quad (2.6)$$

$\rho_{\text{лин}} = \frac{m}{l} = 0,000256 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$ – линейная плотность струны. Тогда

$$v_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho_{\text{лин}}}}. \quad (2.7)$$

Частоты v_n – называются собственными частотами струны. Собственные частоты являются кратными частоте при $n = 1$,

$v_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho_{\text{лин}}}}$, которая называется основной частотой данной струны.

3. Экспериментальная часть

Принцип действия установки основан на возникновении сил, действующих на струну (проводник) с током в постоянном магнитном поле.

При некоторых частотах генератора и силе натяжения струны картина стабилизируется – в струне образуется стоячая волна. Установка выполнена в настольном исполнении и состоит из объекта исследования и измерительного блока.

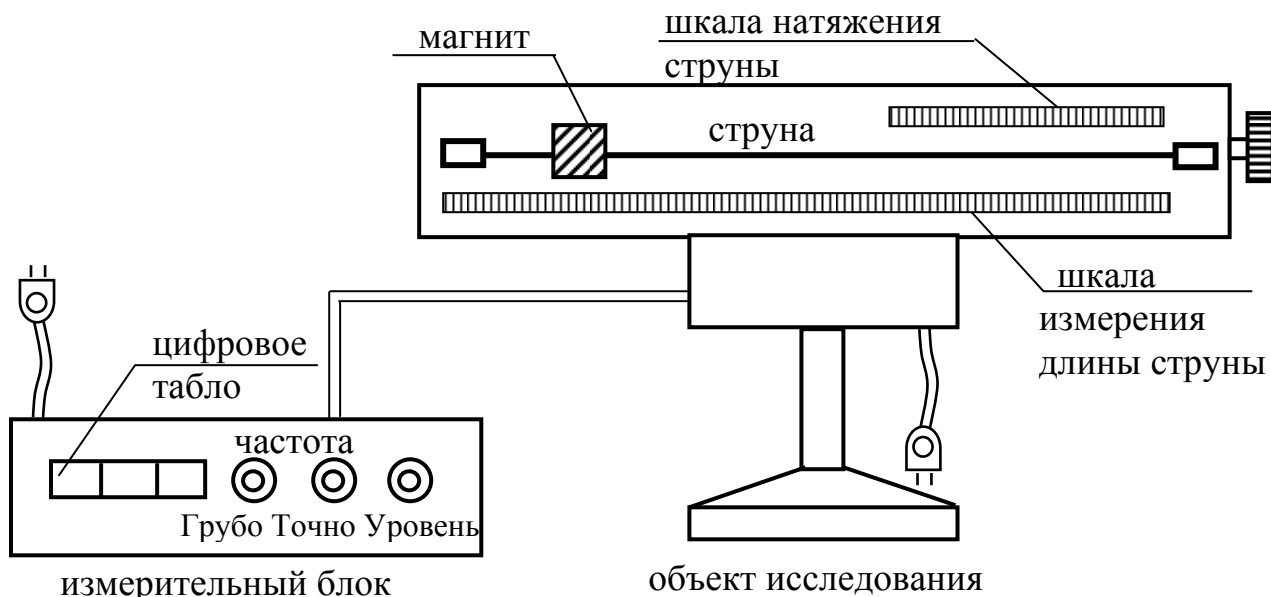


Рис. 3.1

Объект исследования состоит из жесткого основания, на котором закреплены постоянные магниты, между полюсами которых натянута струна, и механизма натяжения струны. Один конец струны жестко крепится к основанию, а второй прикреплен к тарировочной пружине. Второй конец пружины механически связан с винтовым механизмом, при помощи которого осуществляется изменение натяжения струны.

Измерение длины стоячих волн, образующихся на струне, производятся по миллиметровой шкале, нанесенной на прозрачный кожух, закрывающий переднюю стенку объекта исследования. Для улучшения видимости струны за ней размещена лампа подсветки.

В состав измерительного блока входят генератор синусоидальных колебаний с усилителем мощности для возбуждения колебаний струны и частотомер для измерения частоты генератора. На передней панели размещены следующие органы управления:

- ручка ЧАСТОТА «ГРУБО» и ЧАСТОТА «ТОЧНО» для установки частоты генератора;
- ручка УРОВЕНЬ – для установки необходимой амплитуды выходного напряжения генератора (амплитуда колебаний струны);
- цифровое табло частотомера.

4. Требования по технике безопасности

1. К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с ее устройством, принципом действия и знающие правила техники безопасности при работе с напряжением до 1000 В.

2. Убедиться, что установка заземлена.

3. В установке имеется опасное для жизни напряжение, поэтому при эксплуатации необходимо строго соблюдать меры предосторожности:

– перед включением в сеть убедиться в исправности сетевого шнура:

– замену любого элемента производите только при отключенном от сети соединительном шнуре.

4. Перед включением установки в сеть сетевой выключатель измерительного устройства должен находиться в положении «Выкл.», ручки регулировки должны быть выведены в крайнее левое положение.

ПРИМЕЧАНИЕ: Запрещается задавать натяжение струны более 0,6 Н.

5. Порядок выполнения работы

1. Подключите установку к сети 220 В, нажмите кнопку «Сеть» устройства питания лампы. Загорится подсветка струны. Нажмите кнопку «Сеть» измерительного блока. Загорится цифровое табло.
2. Дайте установке прогреться в течении 3-5 минут.
3. Установите натяжение струны $F = 0,2$ Н. Ручку «УРОВЕНЬ» установите в среднее положение.
4. Изменяя при помощи ручек «ГРУБО» и «ТОЧНО» частоту в диапазоне 20-45 Гц, получите одну хорошо различимую полуволну на всей длине струны ($n = 1$).
5. По шкале на передней панели определить длину струны l .
6. По формуле (2.6) найти фазовую скорость v_{ϕ} .
7. Определить соответствующую частоту струны при $n = 1$ (2.7).
8. Увеличивая частоту, кратно полученной, получите различные полуволны на других частотах ($n = 2, 3, 4 \dots$). Максимальное число различимых полуволн должно быть не меньше четырех.
9. Результаты измерений внести в таблицу.
10. Вычислите абсолютную и относительную погрешности собственных частот струны.

Таблица

№ п/п	$l_{\text{стр}}$ (м)	$\rho_{\text{лин}}$ (кг/м)	F (Н)	v_{ϕ} (м/с)	$v_{n=1}$ (Гц)	$v_{n=2}$ (Гц)	$v_{n=3}$ (Гц)	$v_{n=4}$ (Гц)	Δv (Гц)	δ_v (%)
1	0,62	0,000256	0,2							
2			0,3							
3			0,4							

6. Требования к отчету

Отчет к лабораторной работе должен содержать:

- 1) название лабораторной работы, цель работы;
- 2) перечень приборов и принадлежностей;
- 3) краткую теорию и основные формулы для выполнения расчетов;
- 4) таблицы с результатами измерений и вычислений;
- 5) графики, выполненные на миллиметровой бумаге;
- 6) выводы к работе.

7. Контрольные вопросы

1. Как записывается уравнение бегущей волны?
2. Какие источники колебаний называются когерентными?
3. В чем заключается принцип суперпозиции волн?
4. Какие условия необходимы для возникновения интерференции волн?
5. Что такое стоячая волна? Как записывается уравнение стоячей волны?
6. Условия возникновения пучностей стоячей волны.
7. Условия возникновения узлов стоячей волны.
8. Как выводятся координаты узлов и пучностей стоячей волны?
9. Как связана длина волны с длиной струны?
10. Что такое собственная частота стоячей волны? Как связана частота стоячей волны с длиной волны, длиной струны и с фазовой скоростью?
11. От каких физических величин зависит фазовая скорость стоячей волны?

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс физики. Т. 2. – М.: Наука, 1998.
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2003.
3. *Детлаф А.А., Яворский В.М.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2002.