

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Возбуждение продольных стоячих волн в цилиндрической пружине и поперечных стоячих волн в натянутой веревке.
- Измерение собственной частоты  $f_n$  по числу узлов  $n$ .
- Определение соответствующей длины волны  $\lambda_n$  и скорости распространения волн  $c$ .

## ЦЕЛЬ ОПЫТА

Исследование стоячих волн в растягиваемой цилиндрической пружине и натянутой веревке

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

К примерам систем, в которых возникают механические волны, относятся растягиваемая цилиндрическая пружина, где возникают продольные волны, и натянутая веревка, где возникают поперечные волны. В любом случае стоячие волны установятся, если один конец системы, где они распространяются, закрепить неподвижно. Это происходит потому, что падающая волна и отраженная от точки крепления волна имеют одинаковые амплитуды и налагаются друг на друга. Если закрепить и другой конец, волны смогут распространяться только при выполнении условий резонанса. В этом опыте цилиндрическая пружина и веревка закрепляются на одном из своих концов. Другой конец, на расстоянии  $L$  от точки неподвижного крепления, крепится к генератору вибрации, в котором генератор сигналов различной формы используется для возбуждения колебаний малой амплитуды с изменяемой частотой  $f$ . В той или иной степени этот конец также можно рассматривать как закрепленную точку. Собственная частота вибрации измеряется по количеству узлов стоячей волны. Затем по этим данным можно рассчитать скорость распространения волны.

## НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Принадлежности для демонстрации колебаний пружины	U56003
1	Принадлежности для опытов с волнами в веревке	U85560081
1	Генератор вибрации	U56001
1	Генератор сигналов различной формы FG 100 (230 В, 50/60 Гц)	U8533600-230 или
	Генератор сигналов различной формы FG 100 (115 В, 50/60 Гц)	U8533600-115
1	Прецизионный динамометр на 2 Н	U20033
1	Карманная рулетка длиной 2 м	U10073
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см, красный/синий	U13816

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

К примерам систем, в которых возникают механические волны, относятся растягиваемая цилиндрическая пружина и натянутая веревка. Волны, возникающие в пружине, являются продольными, поскольку направление растяжения/сжатия пружины совпадает с направлением распространения волны. Волны в веревке, напротив, являются поперечными. Это происходит потому,

что падающая волна и отраженная от точки крепления волна имеют одинаковые амплитуды и налагаются друг на друга. Если закрепить и другой конец, волны смогут распространяться только при выполнении условий резонанса.

Пусть  $\xi(x,t)$  - отклонение в продольном или поперечном направлении в точке  $x$  на оси, направленной вдоль среды распространения волны, в момент времени  $t$ . Тогда справедливо следующее:

$$(1) \quad \xi_1(x,t) = \xi_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Это уравнение справедливо для синусоидальной волны, бегущей слева направо вдоль среды распространения. Частота  $f$  и длина волны  $\lambda$  связаны следующим образом:

$$(2) \quad c = f \cdot \lambda$$

$c$ : Скорость распространения волны

Если такая волна, распространяющаяся слева направо, отражается от неподвижной точки  $x = 0$ , возникает волна, распространяющаяся справа налево.

$$(3) \quad \xi_2(x,t) = -\xi_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Эти две волны налагаются друг на друга, в результате чего получается стоячая волна.

$$(4) \quad \xi(x,t) = 2\xi_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Эти выводы справедливы вне зависимости от характера волны или среды, в которой она распространяется.

Если другой конец также закрепить в положении  $x = L$ , необходимо, чтобы во все моменты времени  $t$  выполнялось следующее условие резонанса.

$$(5) \quad \xi(L,t) = 0 = \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot L)$$

Оно выполняется только тогда, когда длина волны удовлетворяет следующим условиям:

$$(6a) \quad \frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot L = (n+1) \cdot \pi, \text{ т.е. } \lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n+1}$$

или  $L = (n+1) \cdot \frac{\lambda_n}{2}$

Тогда, согласно уравнению (2), частота равна

$$(6b) \quad f_n = (n+1) \cdot \frac{c}{2 \cdot L}$$

Это подразумевает, что условие резонанса (5) выполняется, только если длина  $L$  кратна половине длины волны. Резонансная частота должна соответствовать этой длине волны. В этом случае  $n$  - количество узлов колебания. Оно равно нулю, если в основном колебании имеется только одна пучность (см. Рис. 2).

В этом опыте средой, где распространяется волна, является либо пружина, либо веревка, которые закреплены одним концом к некоторой неподвижной точке. Другой конец соединяется с генератором вибрации на расстоянии  $L$  от этой неподвижной точки. В нем генератор сигналов различной формы используется для возбуждения колебаний малой амплитуды с изменяемой частотой  $f$ . В той или иной степени этот конец также можно рассматривать как закрепленную точку.

## ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Если построить график зависимости частоты от количества узлов стоячей волны, точки этого графика окажутся на прямой с наклоном

$$\alpha = \frac{c}{2 \cdot L}$$

Поэтому, если известно расстояние  $L$ , можно рассчитать скорость распространения волны  $c$ . При равенстве всех остальных параметров она будет зависеть от силы  $F$ , как показано на Рис. 5 для волн в веревке.



Рис. 1: Иллюстрация определения отклонения  $\xi(x,t)$  в заданной точке

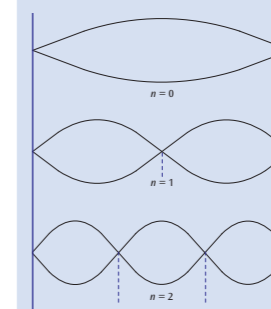


Рис. 2: Стоячие волны

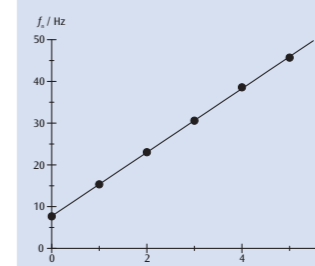


Рис. 3: Зависимость резонансной частоты от количества узлов волн в цилиндрической пружине

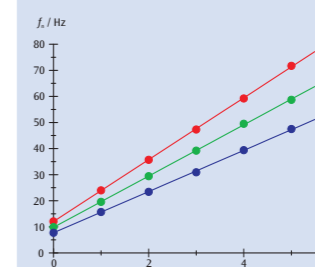


Рис. 4: Зависимость резонансной частоты от количества узлов волн в веревке

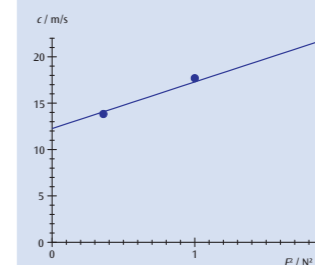


Рис. 5: Зависимость скорости распространения волны  $c$  от  $F^2$  для случая волн в веревке