

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 λ_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 λ 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

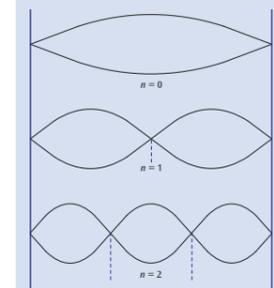


Рис. 2: Стоячие волны

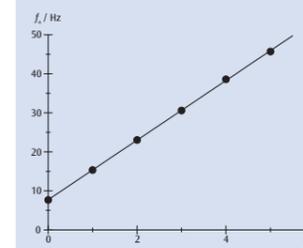


Рис. 3: Зависимость резонансной частоты от количества узлов волн в цилиндрической пружине

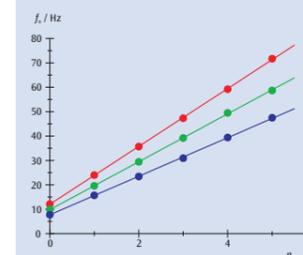


Рис. 4: Зависимость резонансной частоты от количества узлов волн в веревке

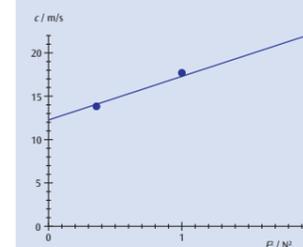


Рис. 5: Зависимость скорости распространения волны c от F^2 для случая волн в веревке