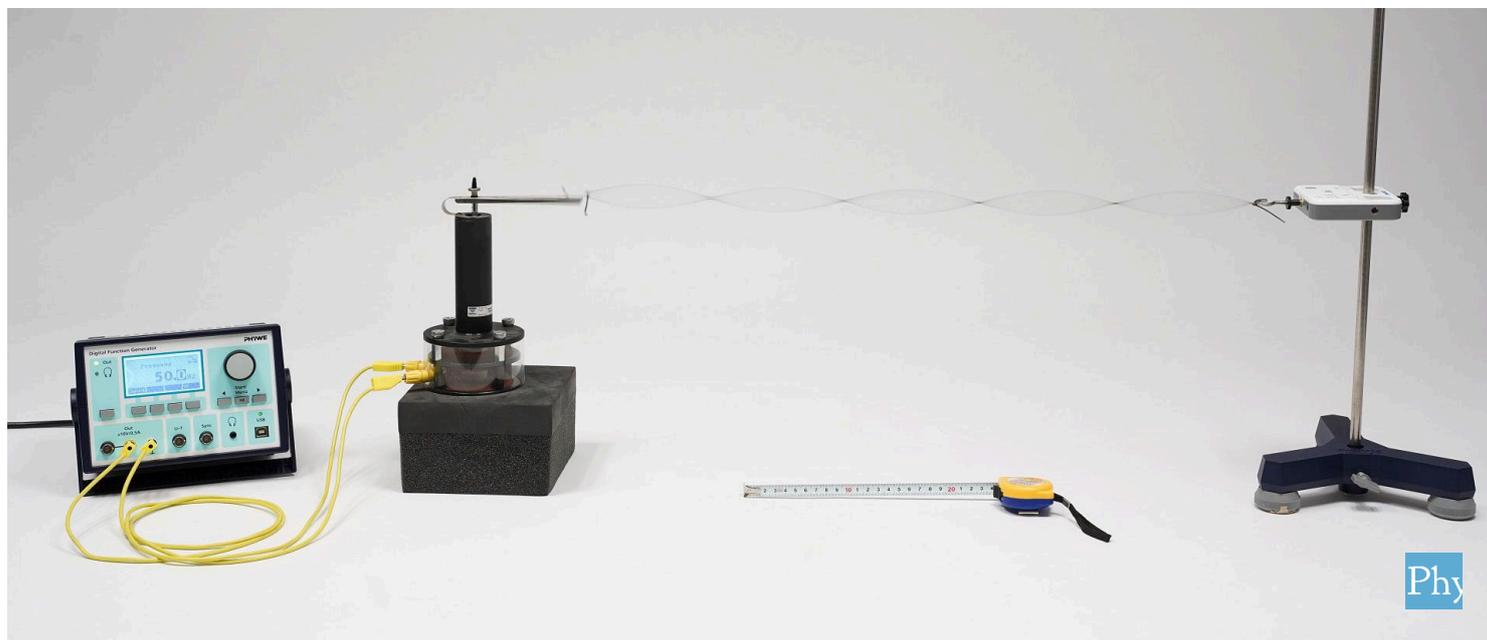


Фазовая скорость стоячих волн с помощью Cobra SMARTsense



Физика

Механика

Колебания и волны

Физика

Акустика

Волновое движение



Уровень сложности

средний



Размер группы

2



Время подготовки

20 Минут



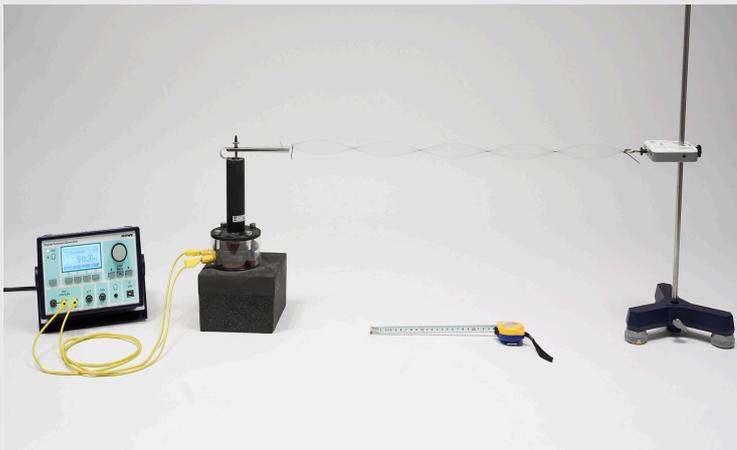
Время выполнения

30 Минут

PHYWE
excellence in science

Общая информация

Описание

PHYWE
excellence in science

Экспериментальная установка

Стоячая волна - это волна, которая колеблется во времени, но амплитуда которой не движется в пространстве. Места, в которых абсолютное значение амплитуды минимально, называются «узлами», тогда как места, где абсолютное значение амплитуды является максимальным, называются «пучностями». Это явление возникает из-за интерференции двух волн, распространяющихся в противоположных направлениях. Расстояние от одного узла до соседнего равно половине длины волны $\lambda/2$.

Интерференция волн является фундаментальным принципом в физике.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE
excellence in science

предварительные знания



Студенты должны иметь базовые знания таких физических величин, как частота, длина волны и сила, также уметь теоретически описывать гармонические колебания и волны в целом. В идеале они должны до начала эксперимента изучить такие понятия, как фазовая скорость и групповая скорость, а также конструктивная и деструктивная интерференция.

Научный принцип



Линейно поляризованная стоячая поперечная волна генерируется на резиновой ленте квадратного сечения с помощью генератора колебаний. Длина волны зависит как от частоты возбуждения, так и от фазовой скорости волны ленты. Последняя изменяется при деформации растяжения

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE
excellence in science

Цель обучения



После успешного завершения этого эксперимента студенты смогут экспериментально определить фазовую скорость колеблющейся резиновой ленты по длине волны стоячей волны на заданной частоте возбуждения. Они смогут выяснить, каким образом напряжение при растяжении ленты влияет на фазовую скорость.

Задачи



1. При постоянном растяжении длина волны λ волны, распространяющейся по ленте, определяется относительно частоты возбуждения f . Фазовая скорость c определяется соотношением между частотой и длиной волны.
2. Необходимо измерить зависимость фазовой скорости c от деформации растяжения ленты. Фазовая скорость отображается как функция напряжения при растяжении.

Инструкции по технике безопасности

PHYWE



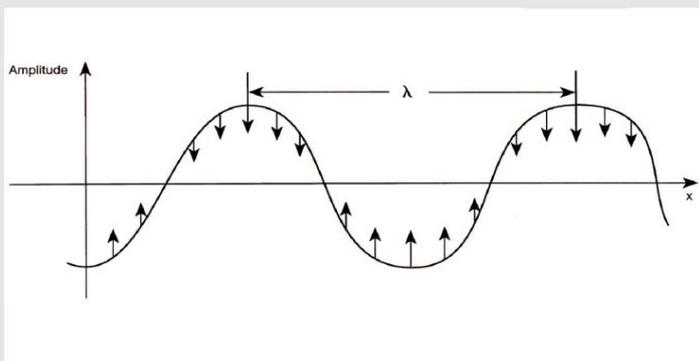
Инструкции по технике безопасности

К этому эксперименту применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

Теория (1/4)

PHYWE
 excellence in science

Волна - это колебание, которое распространяется в пространстве и времени и обычно периодически через вещество и пространство. Различают поперечные и продольные волны. В случае поперечных волн колебания перпендикулярны направлению распространения волны. Простым примером волны является гармоническая волна, представленная ниже.



Волна характеризуется своей амплитудой, фазой и частотой f . В случае гармонической волны длина волны обозначается λ и представляет собой расстояние между двумя соседними максимумами. Для прохождения этого расстояния требуется то же время, что и для одного полного колебания T . Скорость (фазовая скорость $c(\lambda)$) определяется как:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Теория (2/4)

В этом эксперименте создается периодическая волна, которая распространяется по резиновой ленте и отражается обратно на штативный стержень. Волны, распространяющиеся в обоих направлениях, накладываются друг на друга, образуя стоячую волну с узлами (области с малыми амплитудами колебаний) и пучностями (области с большими амплитудами колебаний). Расстояние между узлами волны равно половине длины волны ($\lambda/2$).

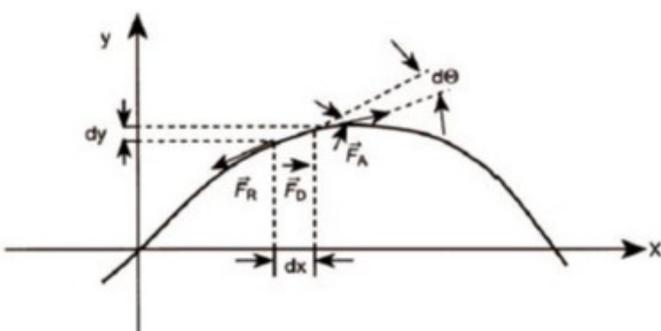
Фазовая скорость зависит от напряжения σ , приложенного при растяжении резиновой ленты, и поэтому линейно зависит от прилагаемой силы F и обратно пропорционально площади поперечного сечения A :

$$\sigma = F/A.$$

Номинальная площадь поперечного сечения резиновой ленты составляет $1.5 \text{ мм} \times 1.5 \text{ мм}$, в то время как плотность резины лежит в пределах между $0.9 - 1.0 \text{ г/см}^3$. Уменьшение площади поперечного сечения A резиновой ленты из-за ее удлинения можно пренебречь.

Теория (3/4)

Приложенные на участке силы могут действовать на ленту по касательной. При отклонении от положения равновесия из суммы приложенных сил натяжения \vec{F}_A и \vec{F}_R создается эффективная перпендикулярная составляющая \vec{F}_D . Обе силы противостоят друг другу с небольшой угловой разницей $d\Theta$.



Результирующая ускоряющая сила равна:

$$|\vec{F}_D| = |\vec{F}_A - \vec{F}_R| = 2|\vec{F}_A| \cdot \sin(d\Theta/2)$$

$$\approx |\vec{F}_A| \cdot d\Theta \approx |\vec{F}_A| \cdot y dx$$

это приводит к ускорению в направлении y участка ленты массой m .

Теория (4/4)

PHYWE
excellence in science

Таким образом, $|\vec{F}_A| \equiv F$ - это средняя сила, приложенная к резиновой ленте вдоль нее, а результирующая сила, приводящая к ускоряющей силе F_y в направлении y может быть выражена как:

$$|\vec{F}_D| \approx F_y = m \cdot \ddot{y} = F \cdot y dx$$

С другой стороны, масса соответствующего участка зависит от его площади поперечного сечения A , его бесконечно малой длины dx и его плотности ρ :

$$m = A \cdot dx \cdot \rho$$

С учетом натяжения ленты $\sigma = F/A$ получаем дифференциальное уравнение:

$$\ddot{y} = \frac{\sigma}{\rho} \cdot y,$$

которое может иметь общее решение:

$$y = f(x \pm ct) \quad c = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

где c - это фазовая скорость распространения волны

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	PHYWE функциональный генератор, USB	13654-99	1
2	Cobra SMARTsense - Сила и ускорение, $\pm 50\text{N}$ / $\pm 16\text{g}$ (Bluetooth + USB)	12943-00	1
3	Генератор внешних колебаний для волновой машины	11260-10	1
4	Соединительный проводник, 1000 мм, желтый	07363-02	2
5	Треножник	02002-55	1
6	Штативный стержень, нерж. ст., l=750 мм	02033-00	1
7	Резиновая лента с квадрат. сечением, l=10 м	03989-00	1
8	Рулетка, l=2 м	09936-00	1
9	measureAPP - бесплатное измерительное программное обеспечение всех пр	14581-61	1

Дополнительное оборудование

PHYWE
excellence in science

Позиция	Материал	Количество
1	Цифровой стробоскоп (например, 21809-93)	1

PHYWE
excellence in science

Подготовка и выполнение работы

Подготовка (1/3)

PHYWE
excellence in science

Для измерения деформаций растяжения необходимы датчик Cobra SMARTsense - "Сила и ускорение" и приложение measureAPP. Приложение можно бесплатно скачать в App Store - QR-коды см. ниже. Убедитесь, что на Вашем устройстве (планшете, смартфоне) активирован Bluetooth.



measureAPP для операционных систем Android



measureAPP для операционных систем iOS



measureAPP для планшетов / ПК с Windows 10

Подготовка (2/3)

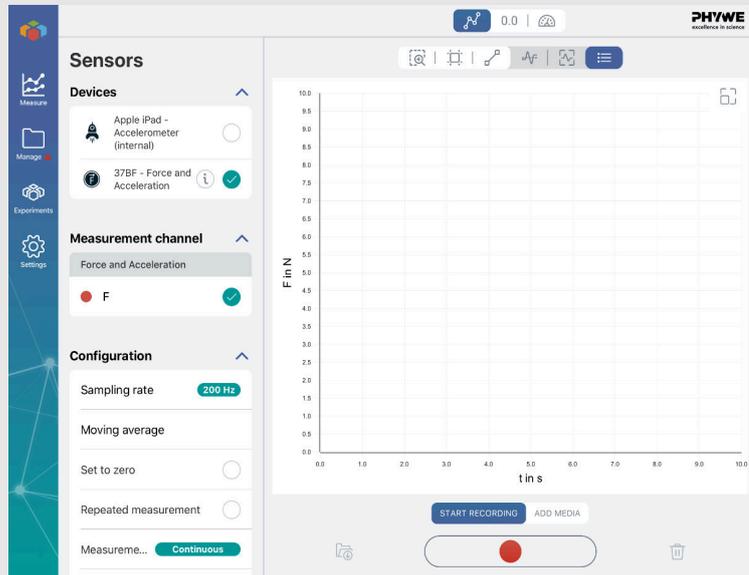
PHYWE
excellence in science



- Подключите цифровой функциональный генератор к генератору колебаний. Убедившись, что выходная амплитуда установлена на ноль, включите функциональный генератор.
- Закрепите штативный стержень на штативе и установите на нем датчик Cobra SMARTsense - "Сила и ускорение" на той же высоте, что и рычаг генератора колебаний.
- Возьмите кусок ленты длиной чуть больше 0,5 м. Привяжите один конец ленты к крючку датчика, а другой - к генератору колебаний.



Подготовка (3/3)


 PHYWE
 excellence in science


- Убедитесь, что к датчику приложена сила. Включите датчик, нажав кнопку ввода / вывода не менее трех секунд (мигание красного светодиода подтвердит, что датчик включен).
- Запустите measureAPP. Выберите датчик Cobra SMARTsense - "Сила и ускорение", который появится в списке датчиков.
- Выберите режим датчика "Сила". 
- После выбора режима приложение measureAPP должно выглядеть так, как показано слева.
- Используйте опцию "Установка на ноль" 

Выполнение работы (1/4)


 PHYWE
 excellence in science


- Включите цифровой функциональный генератор. Используйте кнопки посередине для выбора различных характеристик. Увеличивайте и уменьшайте значения, вращая ручку в верхнем правом углу. Кнопки под ручкой (стрелки влево и вправо) могут использоваться для выбора различных цифр соответствующего значения и, таким образом, для увеличения или уменьшения шага.
- Установите сигнал на синусоидальную кривую и настройте частоту на 50 Гц.
- Увеличьте расстояние между двумя концами резиновой ленты до тех пор, пока не достигнете 0.5 Н.
- Затем увеличьте выходное напряжение примерно до 6 В

Выполнение работы (2/4)

PHYWE
excellence in science

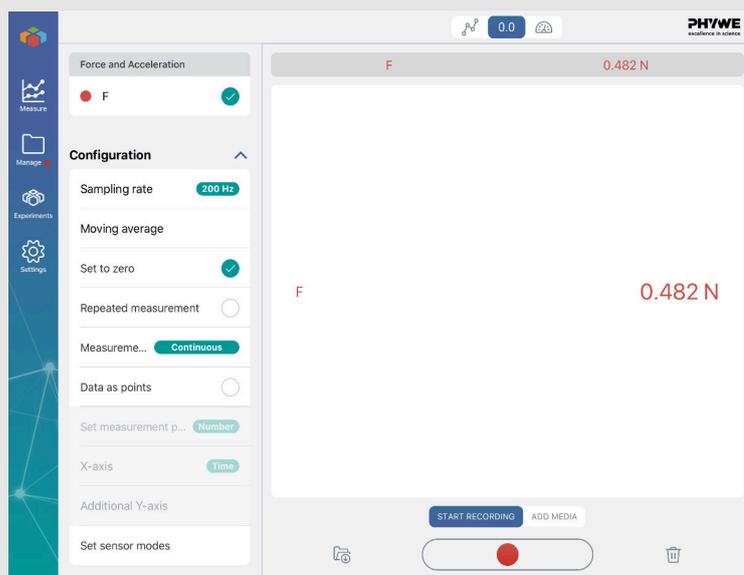
Перед тем, как начать эксперимент, необходимо провести полукачественный эксперимент, как описано ниже, чтобы понять каким образом частота волны зависит от обратной длины волны ($1/\lambda$).

- Измените расстояние датчика относительно вибрирующего рычага, перемещая основание штатива, пока не будет видно пять пучностей, и соответственно, четыре узла.
- Изменяя частоту возбуждения с шагом 10 Гц в диапазоне от 10 Гц до 80 Гц, наблюдайте за движением резиновой ленты.



Выполнение работы (3/4)

PHYWE
excellence in science

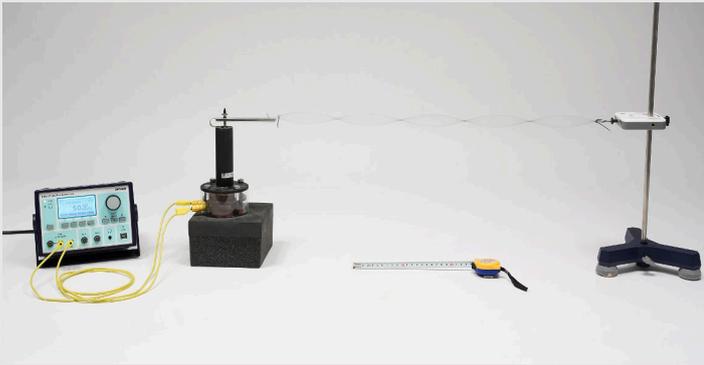


- Установите выход функционального генератора на ноль.
- Поместите датчик в такое положение, в котором результирующая сила из-за деформации растяжения была равна 0,5 Н. С помощью цифрового дисплея определите действующую силу. Для того, чтобы точно измерить силу, начните измерение и остановите его через несколько секунд. Используйте инструмент «Усреднение», чтобы определить среднее значение силы. При необходимости слегка отрегулируйте положение тройников.



Выполнение работы (4/4)

После установки силы растяжения увеличьте выходную амплитуду функционального генератора до 6 В. Изменяйте частоту f от 10 Гц до 80 Гц, пока не найдете определенное количество пучностей с острыми узлами между ними. Измерьте расстояние $\lambda/2$ между двумя соседними узлами и запишите его вместе со значением частоты в разделе оценки.



- Найдите, по крайней мере, еще две пары частот и половину длины волны и запишите их.
- Установите выход функционального генератора обратно на ноль.
- Повторите полный эксперимент как минимум для четырех различных приложенных сил (т.е. 0.75 Н, 1.00 Н, 1.25 Н, 1.50 Н).

Оценка (1/3) Таблица 1

Для каждой приложенной силы F запишите измеренные частоты f и соответствующие им значения половины длины волны $\lambda/2$. Рассчитайте соответствующие фазовые скорости c и их среднее значение $\langle c \rangle$.

$$F_1 = \boxed{} \text{ Н}$$



$$F_2 = \boxed{} \text{ Н}$$

f [Гц] $\lambda/2$ [м] c [м/с]

f [Гц] $\lambda/2$ [м] c [м/с]

$$\langle c \rangle = \boxed{} \text{ м/с}$$

$$\langle c \rangle = \boxed{} \text{ м/с}$$

Оценка (2/3) Таблица 2

Для каждой приложенной силы F запишите измеренные частоты f и соответствующие им значения половины длины волны λ/s . Рассчитайте соответствующие фазовые скорости c и их среднее значение $\langle c \rangle$.

$$F_3 = \boxed{} \text{ Н}$$



$$F_4 = \boxed{} \text{ Н}$$

f [Гц] $\lambda/2$ [м] c [м/с] :

$$\langle c \rangle = \boxed{} \text{ м/с}$$

f [Гц] $\lambda/2$ [м] c [м/с]

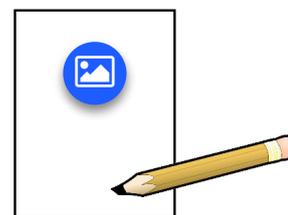
$$\langle c \rangle = \boxed{} \text{ м/с}$$

Оценка (3/3)

Вычислите квадрат полученных средних фазовых скоростей и постройте график в зависимости от приложенной силы. Наклон линейной регрессии $c^2 = m \cdot F$ равен обратному произведению плотности ρ на площадь поперечного сечения A резиновой ленты: $m = 1/(\rho A)$.

F [Н] c [м/с] c^2 [м²/с²]

1.			
2.			
3.			
4.			



 Показать решения

 Вспомнить

 Экспортный текст