



---

---

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

**Брянский государственный технический университет**

---

---

Утверждаю  
Ректор университета

\_\_\_\_\_ А.В.Лагереv

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2007 г.

## **ФИЗИКА**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ И МОДУЛЯ ЮНГА**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ №5, 8  
для студентов очной и очно-заочной форм обучения  
технических специальностей

**Брянск 2007**

УДК 530

Физика. Определение скорости звука в воздухе. Определение скорости распространения звука в твердых телах и модуля Юнга: методические указания к выполнению лабораторных работ №5, 8 для студентов очной и очно-заочной форм обучения технических специальностей. – Брянск: БГТУ, 2007. – 20 с.

Разработали:  
А.А.Демидов,  
канд. физ-мат. наук, доц.,  
Е.Ю.Краюшкина,  
асс.

Рекомендовано кафедрой “Общая физика”  
(протокол № 2 от 20.02.07.)

Научный редактор Д.И.Сирота  
Редактор издательства Л.Н.Мажугина  
Компьютерный набор А.А.Демидов, Е.Ю.Краюшкина

Темплан 2007 г., п.184

---

Подписано в печать 20.03.07. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Офсетная печать. Усл. печ.л. 1,16. Уч.– изд.л. 1,16. Тираж 30 экз. Заказ . Бесплатно.

---

Издательство Брянского государственного технического университета  
241035, Брянск, бульвар 50–летия Октября, 7, БГТУ. 58–82–49  
Лаборатория оперативной полиграфии БГТУ, ул. Институтская, 16

## ВВЕДЕНИЕ

Методика выполнения лабораторных работ, описанных в предлагаемых методических указаниях, строилась с учетом целей и задач, предъявляемых к физическому эксперименту, в соответствии с действующей программой курса физики для инженерно-технических специальностей высших учебных заведений.

В процессе выполнения лабораторных работ студенты убеждаются в объективности существования физических законов. Они получают непосредственное представление о методах, применяемых в научных исследованиях, знакомятся с приборами, методами измерения различных физических величин и способами их количественной оценки, методами обработки результатов измерений, приобретают новые практические умения и навыки, расширяют свои политехнические знания и умения, что, безусловно, важно для подготовки будущего инженера. Самостоятельная работа с приборами способствует развитию логического мышления, приучает глубже проникать в суть явлений природы, отличать главное и существенное от второстепенного и случайного, развивает изобретательность и любознательность, расширяет кругозор, формирует мировоззрение.

При выполнении лабораторной работы главным является знание и понимание того, что предстоит *сделать*, как это можно *осуществить* с помощью данного оборудования, и умение *объяснить* физику процессов и явлений, протекающих в работе.

В *организационном* плане недопустимо сводить лабораторные работы только к снятию показаний с приборов. Весь процесс от **предварительной подготовки, проведения экспериментов** и до **составления отчета и защиты** является лабораторной работой и требует одинаково серьезного внимания ко всем этапам процесса.

При подготовке необходимо предварительно до занятия изучить описание лабораторной работы. Приступив к работе, следует строго соблюдать указанный порядок выполнения экспериментальной и расчетной частей работы. **Особенно важно строго соблюдать все установленные в лаборатории правила техники безопасности.**

В *отчете* о лабораторной работе и при ее защите на основе полученных экспериментальных данных, проведенных расчетов и

учета погрешности необходимо дать толкование физических процессов, которые протекали в эксперименте. Необходимо сравнить известные теоретические положения с полученными результатами, проанализировать и критически оценить их, сформулировать обобщающий вывод, который следует из проделанной работы, с указанием личного отношения к значимости знаний и умений, полученных в процессе выполнения работы.

**Отчет** о проделанной лабораторной работе должен содержать:

1. Стандартно оформленный *титульный лист*.
2. *Теоретическую часть* (цель работы, краткое описание лабораторной установки и методов измерений).
3. *Расчетную часть* (таблицы измерений, графики, расчет искомых величин и их погрешностей).
4. *Вывод*.

При оформлении отчета необходимо обратить внимание на единицы физических величин. Они должны быть указаны в таблицах измерений, на графиках и в выводе.

Во время **защиты** лабораторной работы необходимо ответить на контрольные вопросы, приведенные в конце каждой работы.

В конце каждой лабораторной работы приведен список литературы, рекомендуемой для самостоятельной подготовки к выполнению и защите лабораторных работ.

**Уровень предварительной подготовки к лабораторной работе, осмысленность действий при проведении ее экспериментальной части, оформлении отчета и защите значительно влияет на выставление оценки на экзамене.**

Описанные лабораторные установки были усовершенствованы при активном участии учебных мастеров и лаборантов Д.М.Палечека, В.А.Ульянова, Г.А.Лунина, А.И.Хохлова и др.

В постановке работ и подготовке методических указаний к печати в разное время принимали участие доценты М.А.Беняковский, В.В.Мельников, В.И.Попков, Д.И.Сирота, А.К.Стрельцов, Г.Ф.Шитикова, А.А.Демидов, ассистенты Л.В.Василевская, А.М.Цехнович, Е.Ю.Краюшкина.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Процесс распространения колебаний в среде называется **волной**. Частицы среды совершают колебания около положения равновесия. При этом происходит передача энергии без переноса вещества.

Волны бывают *продольными* и *поперечными* в зависимости от направлений колебаний частиц среды.

Если направление колебаний частиц коллинеарно с направлением распространения волны, то эта волна называется **продольной**; если направление колебаний частиц перпендикулярно направлению распространения волны, волна называется **поперечной**.

**Поперечные** волны обусловлены упругими деформациями *сдвига*, **продольные** – деформациями *сжатия* и *растяжения*.

В *твердых* телах наблюдается оба вида деформации, поэтому в них распространяются и продольные, и поперечные волны. В *жидкостях* и *газах* деформации сдвига неупругие, т.е. сдвинутые друг относительно друга слои жидкости или газа не стремятся вернуться в исходное положение. Следовательно, в жидкостях и газах распространяются только продольные волны.

Итак, в воздухе распространяются продольные волны, представляющие собой изменение со временем *концентрации* молекул воздуха или *давления* в каждой точке пространства.

Механические колебания в упругих средах и телах, частоты которых лежат в пределах от 16 до 20 000 Гц, называются **звуковыми**. Механические колебания с частотами ниже 16 Гц называют **инфразвуком**, а выше 20 000 Гц – **ультразвуком** (рис. 1).

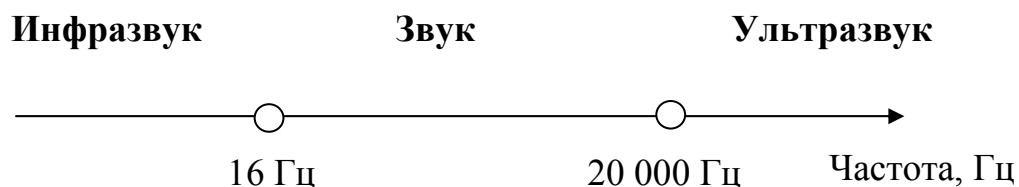


Рис. 1

Звук распространяется с определенной, но различной скоростью в твердых, жидких и газообразных средах.

Волны, которые характеризуются одинаковой частотой и

постоянством разности фаз называются **когерентными**. В результате наложения когерентных волн наблюдаются явления усиления колебаний в одних местах, ослабление или полное гашение в других. Такое явление называется **интерференцией**.

Частным случаем интерференции является наложение двух встречных волн одинаковых частот и амплитуд. В этом случае образуются **стоячие волны**. Если положить начальную фазу колебания источника равной нулю, то уравнение бегущей волны можно записать в виде (направление распространения волны совпадает с осью  $x$ )

$$\xi_1(x, t) = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) = A \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{T} \frac{x}{v} \right) = A \cos(\omega t - kx), \quad (1)$$

где  $\xi_1(x, t)$  – смещение частицы от среднего значения в момент времени  $t$ ,  $A$  – амплитуда колебаний,  $\omega$  – циклическая частота,  $k = 2\pi / \lambda$  – волновое число,  $\lambda$  – длина волны,  $x$  – координата колеблющейся частицы,  $v$  – *фазовая скорость* распространения волны в упругой среде.

**Фазовая скорость** – это скорость перемещения данной фазы волны, она зависит от упругих свойств среды и от ее плотности.

**Длина волны** – это расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе или расстояние на которое распространяется волна за один период.

Если бегущая волна встречает преграду, то появляется обратная волна, уравнение которой имеет вид

$$\xi_2(x, t) = A \cos(\omega t + kx). \quad (2)$$

В результате интерференции этих двух волн возникает следующий колебательный процесс:

$$\xi(x, t) = \xi_1(x, t) + \xi_2(x, t) = 2A \cos kx \cos \omega t = 2A \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} x \right) \cos \omega t. \quad (3)$$

Из анализа уравнения (3) следует, что в каждой точке стоячей волны происходят колебания той же частоты  $\omega$ , что и у интерферирующих волн, а амплитуда стоячей волны не зависит от времени и является функцией координаты  $x$ :

$$A_{\text{ст}} = \left| 2A \cos \left( \frac{2\pi x}{\lambda} \right) \right|. \quad (4)$$

*Максимальное значение* (т.е.  $A_{\text{ст}} = 2A$ ) амплитуда достигает в тех точках пространства, координаты которых удовлетворяют условию

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm m\pi, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (5)$$

Минимальное значение (т.е.  $A_{ст} = 0$ ) амплитуда достигает в тех точках пространства, координаты которых удовлетворяют условию

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pm(2m + 1)\frac{\pi}{2}, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (6)$$

Точки, в которых амплитуда колебаний максимальна, называются **пучностями стоячей волны**, а точки, в которых амплитуда колебаний равна нулю – **узлами стоячей волны** (рис. 1).

Тогда, координаты пучностей и узлов будут равны:

$$x_n = \pm m \frac{\lambda}{2}, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (7)$$

$$x_{узн} = \pm \left( m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2}, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (8)$$

Из формул (7), (8) видно, что расстояние между соседними пучностями и соседними узлами равно  $\frac{\lambda}{2}$ , между пучностью и узлом

$$\left( m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} - m \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{4}. \quad (9)$$

В интервале  $\lambda/2$  между соседними узлами находятся точки, колеблющиеся с различными амплитудами, но в одинаковых фазах, т.е. одновременно достигающие максимума смещения.

Будет ли на границе отражения узел или пучность, зависит от соотношения плотностей сред (рис. 2). Если среда, от которой происходит отражение, менее плотная то при отражении фаза волны не меняется, и в месте отражения возникает

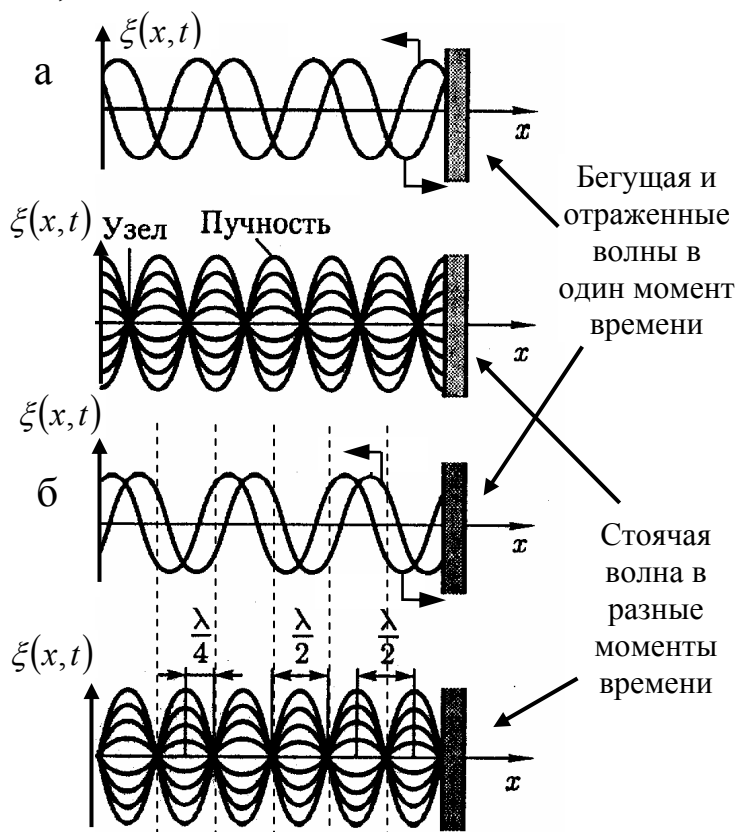


Рис. 2

пучность (рис. 2, а), если *более плотная* тогда при отражении фаза изменяется на противоположную (говорят, что на границе происходит потеря половины длины волны) и колебания в противоположных фазах гасят друг друга – образуется *узел* (рис. 2, б).

На рис. 3 показаны зависимости бегущей и стоячей волн для разных моментов времени и зависимости модулей амплитуд волн от координаты  $x$ .

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$$

Бегущая волна для  
трех моментов времени

$$\xi(x, t) = 2A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \cos \omega t$$

Стоячая волна для  
четырех моментов времени

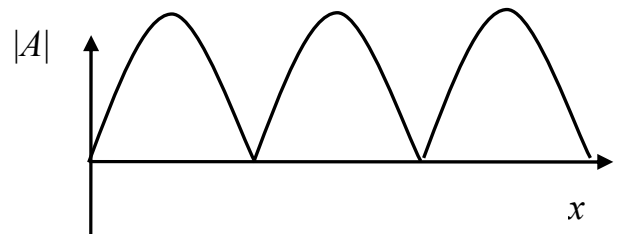
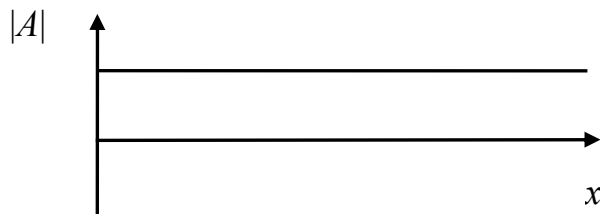
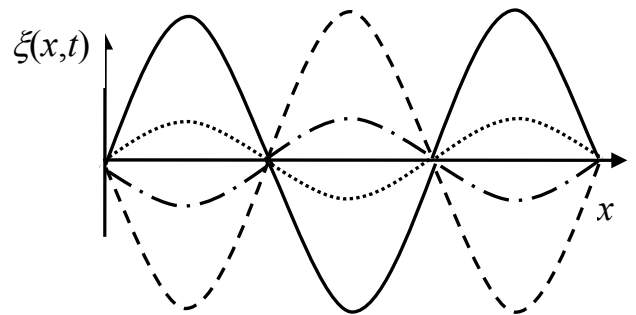
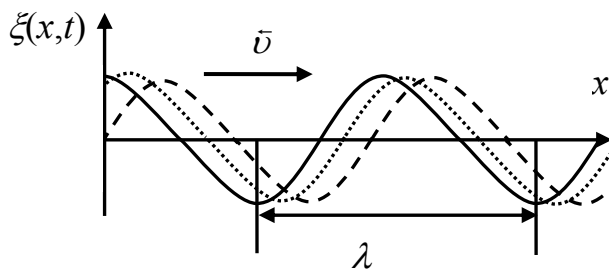


Рис. 3



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

**Цель лабораторной работы** – ознакомление с одним из методов определения скорости звука в воздухе – методом стоячей волны.

**Оборудование:** установка (звуковой генератор, динамик, стеклянная трубка с опилками) и грабли для разравнивая опилок.

### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

В основе предложенного метода измерения скорости звука лежит визуальное наблюдение стоячих звуковых волн в стеклянной трубке.

В данной установке стоячие волны получают следующим образом. Имеется стеклянная трубка, закрытая с одного конца диском Д. У открытого конца трубки находится динамик, на мембрану, которого передаются колебания от звукового генератора (рис. 1).

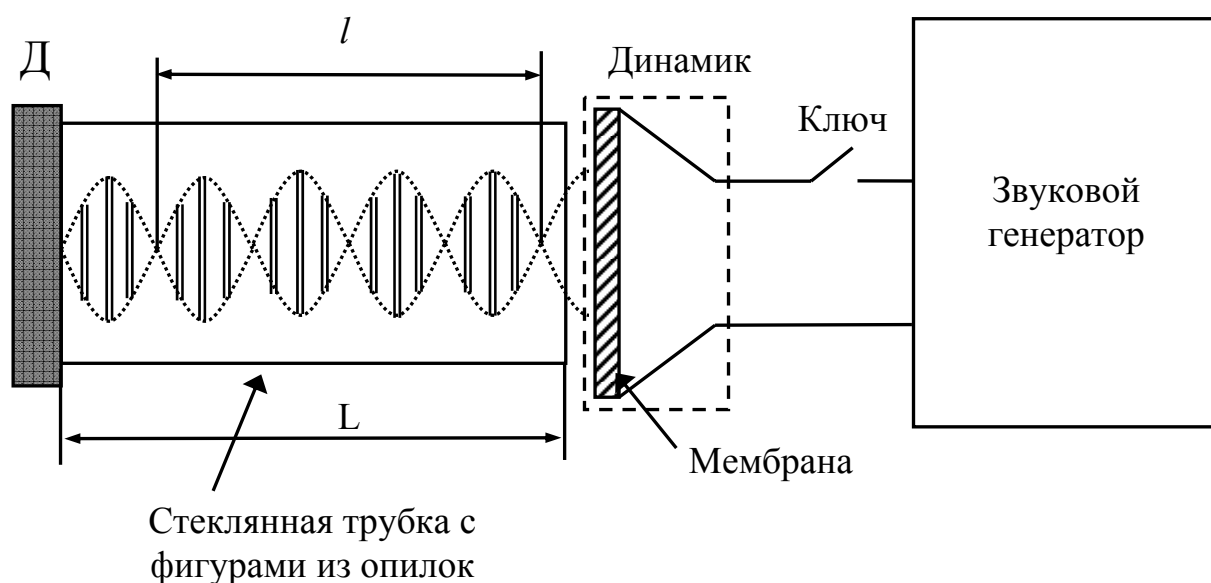


Рис. 1

Колеблущаяся мембрана возбуждает колебания частиц в стеклянной трубке. Колебания распространяются вдоль трубки, волна доходит до преграды (диск Д) и отражается. Бегущая волна в данном случае отражается от среды более плотной, чем воздух и в месте отражения меняет свою фазу на противоположную. В результате сложения колебаний противоположных направлений на такой границе получается узел, т.е. смещение частиц у границы равно 0. Так как фаза меняется на противоположную на расстоянии половины длины волны, то это явление принято называть **потерей пол-волны**.

Строго говоря, в трубке конечного размера даже на открытом конце возникает частичное отражение падающей волны и в открытой трубке образуются стоячие волны.

Посылаемый сигнал от звукового генератора на мембрану, приводит к тому, что колебания мембраны возбуждают стоячую волну в воздушном столбе находящемся в стеклянной трубке, при этом на закрытом конце, как уже отмечалось, будет *узел*, а на открытом – *пучность*.

Стоячая волна будет образовываться, если длина воздушного столба  $L$  примерно равна нечетному числу четвертей волн, т.е.

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda_n}{4}, \text{ где } n = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (1)$$

Для визуализации картины стоячих волн в трубку тонким слоем насыпаются пробковые опилки. В момент наступления резонанса увеличивается амплитуда смещения частиц воздуха и опилки *встряхиваются* в пучностях, а в узлах остаются *неподвижными* (см. рис. 1).

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Соблюдайте общие правила техники безопасности при использовании электрических приборов.
2. Не включайте установку без предварительной проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
3. Не оставляйте установку без присмотра во включенном состоянии.
4. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.

5. При выявлении неисправностей быстро отключите установку сообщите о неисправности преподавателю.
6. Будьте аккуратны и внимательны во время использования граблей, что бы не разбить или сильно не поцарапать стеклянную трубку.
7. По завершении работы не забудьте отключить установку от сети.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Включить звуковой генератор (переключатель “Сеть” повернуть вверх).
2. Распределить опилки вдоль трубки равномерным слоем с помощью граблей, предварительно удалив диск Д.
3. Закрывать стеклянную трубку диском Д.
4. На прогретом звуковом генераторе (с помощью ручки с диском, на котором нанесена шкала частот) постепенно уменьшая частоту звукового генератора от 2 000 Гц и периодически замыкая ключ, добиться возникновения стоячей волны.
4. Получив отчетливые фигуры, необходимо определить длину волны. Для уменьшения влияния граничных явлений на результат определения длины стоячей волны поступают следующим образом. Подсчитывают число пучностей на некотором (максимально возможном) участке длины трубки. Если длина этого участка  $l$ , а число пучностей  $k$ , то  $(k - 1)$  половин длин волн укладывается на этом участке, т.е.  $\frac{\lambda}{2} \cdot cp = \frac{l}{k - 1}$ , тогда  $\lambda = \frac{2l}{k - 1}$ ,  $l = x_2 - x_1$ .
5. По шкале звукового генератора определяют частоту  $\nu_n$ , при которой наблюдается стоячая волна, и подсчитывают скорость звука по формуле  $\nu_n = \lambda_n \cdot \nu_n$ .
6. Аналогично, постепенно уменьшая частоту колебаний мембраны, найти еще резонансные частоты (всего 5 частот).
7. Расчет погрешности провести для последней частоты. Для этого, не меняя частоту повторить опыт 3 раза и найти среднее значение скорости звука.

Таблица 1

№ опыта	$x_1, \text{ м}$	$x_2, \text{ м}$	$k$	$l, \text{ м}$	$\lambda, \text{ м}$	$\nu, \text{ Гц}$	$\nu, \text{ м/с}$
1							
2							
3							
4							
5					$l_{cp} =$	$\lambda_{cp} =$	$\nu_{cp} =$
							$\nu_{cp} =$
							$\nu_{cp} =$

## РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчетное уравнение для  $\nu_{cp}$ :

$$\nu_{cp} = \lambda_n \nu_{ncp} = \nu_{ncp} \frac{2l_{cp}}{k-1}. \quad (2)$$

Относительную ошибку вычислить по формуле

$$W = \frac{\sigma_\nu}{\nu_{cp}} = \sqrt{\left(\frac{1}{\nu_{cp}} \sigma_\nu\right)^2 + \left(\frac{1}{l_{cp}} \sigma_l\right)^2}, \quad (3)$$

где  $\sigma_\nu$  – систематическая ошибка при определении  $\nu$ ;  $\sigma_l$  – случайная ошибка, которая рассчитывается по формуле

$$\sigma_l = t_{\alpha, n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - l_{cp})^2}{n(n-1)}}.$$

Абсолютную погрешность вычислить по формуле

$$\sigma_\nu = \nu_{cp} W. \quad (4)$$

Ответ представить в виде  $\nu = \nu_{cp} \pm \sigma_\nu$ . (5)

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение волне, продольной и поперечной волне, длине волны, скорости волны.
2. Запишите уравнение плоской бегущей волны дайте определение физическим величинам, входящим в это уравнение.
3. Дайте определение когерентной волне, интерференции волн, стоячей волне.
4. Вывести уравнение стоячей волны. Что такое узел, пучность. Выведете их координаты.
5. Чем отличается бегущая волна от стоячей волны?
6. Объясните механизм образования стоячей волны в стеклянной трубке описанной установки. Объяснить метод определения скорости звука в воздухе в данной работе.
7. Звуковые волны, основные характеристики звука (интенсивность, порог слышимости, болевой порог, громкость звука, уровень интенсивности, единицы измерения, высота звука, тембр, реверберация звука).

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И.Трофимова.–М.: Высш. шк., 2003. – § 140, 153, 154, 156, 157, 158.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика: учеб. пособие для студентов втузов. – 2–е изд., перераб. – М.: Наука, 1999. – § 61, 62, 77, 83, 84, 87, 88.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: в 5 т./Д.В. Сивухин.–М.: Физматлит, МФТИ, 2002.
4. Детлаф, А.А. Курс физики/А.А.Детлаф. Б.М.Яворсткий.– М.: Высш. шк., 2000.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ И МОДУЛЯ ЮНГА

**Цель лабораторной работы** – ознакомление с одним из методов определения скорости распространения звука в твердых телах и рассчитать модуль Юнга.

**Оборудование:** установка (звуковой генератор, датчик, приемник, осциллограф, зажим). *Получить:* два стержня (стальной и латунный).

### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Зависимость фазовой скорости от упругих свойств среды и от ее плотности для продольных волн имеет вид

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль Юнга среды,  $\rho$  – плотностью среды.

В бесконечном металлическом стержне стоячие волны создаются при любой частоте бегущих волн. В ограниченном стержне могут установиться стоячие волны только при некоторых частотах, величина которых зависит от длины стержня, условий на его концах и от способа закрепления стержня. От этих условий зависят собственные частоты колебания стержня, а стоячие волны в ограниченном стержне возникают тогда, когда частота вынуждающих колебаний совпадает с одной из собственных частот.

В нашей установке на одном конце стержня действует вынуждающая сила, которая заставляет частицы совершать колебания на этом конце. Следовательно, здесь всегда будет *пучность* волны. На противоположном конце стержня в зависимости от плотности внешней среды появится пучность или узел. Если конец стержня находится в контакте с более плотной средой, то при отражении фаза

изменяется на противоположную (происходит потеря половины длины волны). Таким образом, на этой границе складываются колебания с одинаковой амплитудой и противоположными фазами, что приводит к появлению узла (колебания в противоположных фазах гасят друг друга). Если конец стержня находится в контакте с менее плотной средой (что и реализовано в данной установке – происходит контакт с воздухом), то при отражении фаза волны не меняется, потери полуволны нет, и стоячая волна будет иметь здесь *пучность*. Следовательно, в нашей установке на обоих концах стержня имеются пучности стоячей волны. Кроме того, стержень в установке жестко закреплен посередине, понятно, что жесткое крепление не позволяет частицам стержня совершать колебания, и в этом месте всегда будет *узел*. Частоты, соответствующие этим условиям, будут *собственными частотами* колебаний данного стержня.

На (рис. 1) представлены формы собственных колебаний стержня низкой частоты. В случае а) (рис. 1) на длине стержня укладывается *половина длины волны*, в случае б) – *три половины длины волны*, и т.д.

Если  $l$  – длина стержня, то в стержне реализуются только такие колебания, половина длины волны которых укладывается на длине стержня нечетное число раз

$$l = n \frac{\lambda}{2}. \quad (2)$$

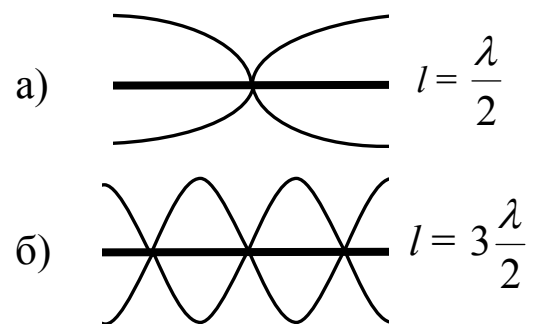


Рис. 1

Колебания, соответствующие  $n = 1$ , называются **основным тоном**. Колебания, соответствующие  $n = 3, 5, \dots$  называются **обертонами**. Зная  $n$  и длину стержня можно определить длину волны

$$\lambda = \frac{2l}{n}. \quad (3)$$

Колебания в изучаемом стержне возбуждаются с помощью электромагнита – датчика, на который подается переменное напряжение звуковой частоты от звукового генератора. Переменное магнитное поле, действуя на один конец ферромагнитного стержня, возбуждает в нем продольные волны. Если стержень не ферромагнитный, то к его концам прикрепляются пластинки из ферромагнетика. У другого конца стержня устанавливается приемник,

устроенный также, как и датчик. В его обмотках наводится ЭДС индукции в результате изменения магнитного поля, созданного колеблющимся стержнем. Сигнал с приемника подается на вертикальный вход осциллографа.

Необходимо следить, чтобы датчик и приемник не касались стержня – имелся небольшой зазор между ними. Схема установки приведена на рис. 2.

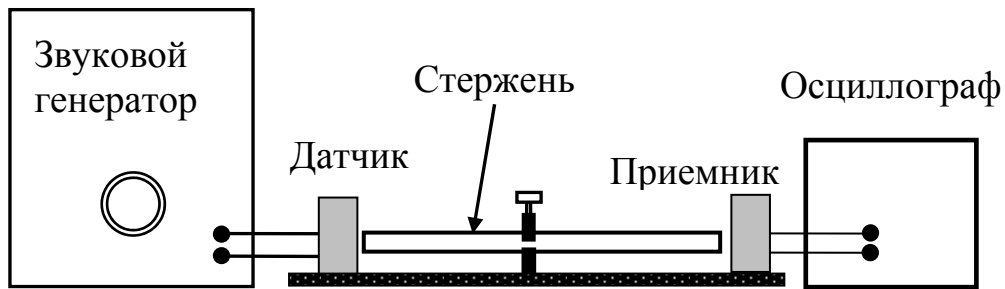


Рис. 2

Датчик возбуждает в стержне стоячую волну. Меняя частоту вынужденных колебаний, можно добиться **резонанса** – совпадения частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний. При этом осциллограф зафиксирует резкое возрастание амплитуды колебаний частиц стержня.

При первой резонансной частоте на длине стержня укладывается половина длины волны ( $n = 1$ ). Зная длину стержня и частоту колебаний, можно определить скорость распространения звуковой волны в стержне:

$$v = \lambda \nu, \quad (4)$$

$$\lambda = 2l, \quad (5)$$

$$v = 2l\nu, \quad (6)$$

Зная скорость распространения продольных звуковых волн и плотность материала, можно определить модуль Юнга:

$$E = v^2 \rho. \quad (7)$$



## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Соблюдайте общие правила техники безопасности при использовании электрических приборов.
2. Не включайте установку без предварительной проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
3. Не оставляйте установку без присмотра во включенном состоянии.
4. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.
5. При выявлении неисправностей быстро отключите установку сообщите о неисправности преподавателю.
6. Строго соблюдайте порядок настройки осциллографа к работе.
7. По завершении работы не забудьте отключить установку от сети.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Измерить длину стержня линейкой.
2. Установить стержень в зажим и закрепить его винтами. Установить зазор между датчиком, приемником и концами стержня не более 0,5 мм.  
Изменение зазора производится вращением маховиков датчика и приемника. От величины зазора зависит чувствительность прибора. Чем он меньше, тем чувствительность выше. Необходимо избегать касания концов стержня с приемником и датчиком.
3. Включить в сеть звуковой генератор и осциллограф (рис. 3).

*«ВНИМАНИЕ». Перед включением осциллографа в сеть ручку управления (\*) установить в крайнее против часовой стрелки положение, соответствующее минимальной яркости луча. Осциллограф готов к работе через 5 минут после включения.*

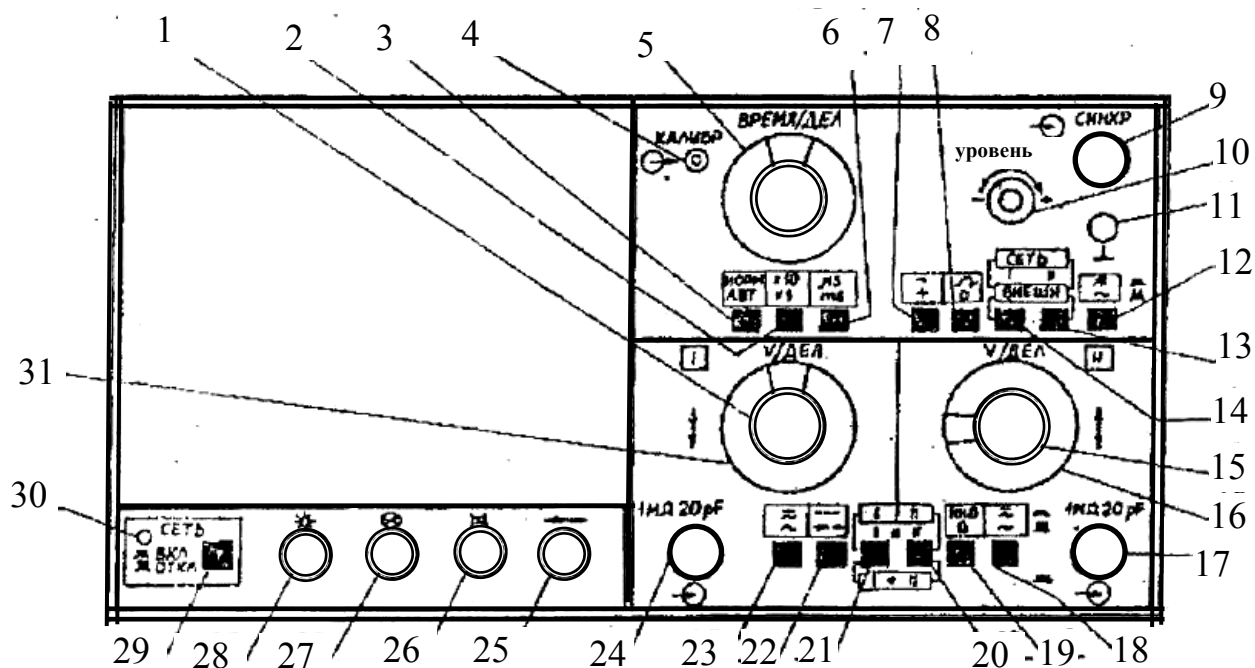


Рис. 3

4. Установить органы управления осциллографом в следующие положения: клавиши 6, 14, 21 – *нажать*. Исходное положение клавиш 1, 10, 15, 25, 26, 27, 28 – *среднее*. Ручку 5 установить в положение 01, ручку 31 установить в положение 20. После выключения осциллографа ручку управления (\*) установить в крайнее против часовой стрелки положение.

5. Плавно вращая ручку изменения частоты выходного напряжения звукового генератора от 0 в сторону увеличения частоты, добиться резонанса колебаний стержня.

*Примечание:* при смене стержней приемник и датчик отводить от концов стержня вращением маховиков. После этого ослабляются винты держателя, и производится замена стержня.

6. Все результаты измерений и расчетов нужно представить в виде таблицы.

7. Найти относительную погрешность скорости звука в стержне и модуля Юнга.

8. Сравнить полученные результаты  $V$  и  $E$  с табличными.

Таблица №1

№	$l$ , м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\nu$ , Гц	$\nu$ , м/с	$E_{\text{расч}}$ , Н/м <sup>2</sup>	$E_{\text{табл}}$ Н/м <sup>2</sup>
1.						
2.						

## РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчетное уравнение для  $\nu_{cp}$

$$\nu_{cp} = 2lv. \quad (8)$$

Относительную ошибку вычислить по формуле

$$W = \frac{\sigma_\nu}{\nu_{cp}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\nu}{\nu}\right)^2}, \quad (9)$$

где  $\sigma_l, \sigma_\nu$  – систематические ошибки при определении  $l$  и  $\nu$ .

Абсолютную погрешность вычислить по формуле

$$\sigma_\nu = W\nu_{cp}. \quad (10)$$

Ответ представить в виде

$$\nu = \nu_{cp} \pm \sigma_\nu. \quad (11)$$

Расчетное уравнение для  $E_{cp}$

$$E_{cp} = \nu^2 \rho. \quad (12)$$

Относительную ошибку вычислить по формуле

$$W = \frac{\sigma_E}{E_{cp}} = \sqrt{\left(2\frac{\sigma_\nu}{\nu}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\rho}{\rho}\right)^2}, \quad (13)$$

где  $\sigma_\nu, \sigma_\rho$  – систематические ошибки при определении  $l$  и  $\nu$ .

$$\sigma_E = WE_{cp}. \quad (14)$$

Ответ представить в виде

$$E = E_{cp} \pm \sigma_E. \quad (15)$$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От каких свойств среды зависит скорость распространения волн в твердых, жидких и газообразных телах?
2. Каковы физические условия возникновения продольных и поперечных волн в упругих средах?
3. При каких условиях наступает и в чем состоит явление резонанса?
4. От чего зависит частота, амплитуда и начальная фаза колеблющейся системы?
5. Чем отличается бегущая волна от стоячей?
6. Что можно сказать о фазах колебания точек в стоячей волне:
  - а) лежащей по разные стороны узла,
  - б) лежащие между двумя соседними узлами?
7. Дайте понятие фазовой скорости, волнового фронта, волновой поверхности.
8. Как изменить формы собственных колебаний в стержне?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И.Трофимова.–М.: Высш. шк., 2003. – § 153, 154, 156, 157, 158.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика: учеб. пособие для студентов вузов. – 2–е изд., перераб. – М.: Наука, 1999. – § 61, 65, 77, 79, 83, 84, 87, 88.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: в 5 т./Д.В. Сивухин.–М.: Физматлит, МФТИ, 2002.
4. Детлаф, А.А. Курс физики/А.А.Детлаф. Б.М.Яворсткий.– М.: Высш. шк., 2000.