Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественных и математических наук»

ФИЗИКА

Методические указания к
выполнению лабораторной работы
“СКОРОСТЬ ЗВУКА”
для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическоеобеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

очной и заочной формы обучения

Энгельс 2026

Определение скорости звука в воздухе.

Цель работы: определить скорость звука методом стоячих волн.

Основные понятия

Бегущие волны

Колеблющееся тело (струна, мембрана), находящееся в упругой среде, приводит в колебательное движение соприкасающиеся с ними частицы. Возникающие в среде деформации (например, сжатие или разрежение) ведут к возникновению упругих сил, которые стремятся возвратить частицы в первоначальное состояние равновесия. В среде возникают колебания.
Так как соседние частицы среды взаимодействуют между собой, то колебания передаются от одних участков среды к другим. Процесс распространения колебательного движения в среде называют *волной.*

Поперечной волной называется волна, в которой частицы колеблются в направлении, перпендикулярном к направлению распространению волны.

Продольной волной называется волна, в которой частицы колеблются вдоль линии, совпадающей с направлением распространения волны около своих положений равновесия. В газах возникают только продольные волны в виде чередующихся сжатий и разрежений газа.

Допустим, что волна распространяется вдоль оси X со скоростью **υ**, а точки совершают колебания в направлении оси Y (поперечная волна), как это изображено на рисунке 1.

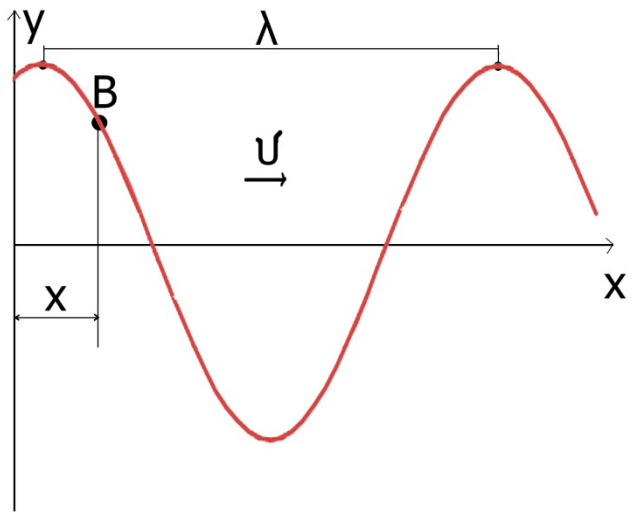

Рис. 1

Пусть точка с координатой X=0 совершает колебания по закону

$$y(t) = A Cos\omega t \qquad (1)$$

Где A – *амплитуда колебаний*; ω – *циклическая частота*;
t- *текущее время*.
Точка B с координатой x придет в колебание с некоторым запаздыванием на время

$$\tau = \frac{x}{\vartheta}$$

Где x – *расстояние*, на которое распространилось колебание от точки O до B;
υ –*скорость распространения колебания* (скорость волны):
Уравнение колебания любой точки B запишется:

$$y(x,t) = A\cos\omega(t-\tau) = A\cos(\omega t - \frac{\omega x}{\upsilon}) \quad (2)$$

Назовем длиной волны λ расстояние, пройденное волной за один период колебания. Из определения периода T можно заключить, что длина волны равна расстоянию между двумя точками волны, колеблющимися с разностью фаз 2π.

Длина волны по определению равна $\lambda = \upsilon T = \upsilon / \nu$, откуда скорость

$$\upsilon = \lambda\nu \quad (3)$$

Подставив (3) в (2) и заменяя ω=2πν, получим:

$$y(x,t) = A\cos(2\pi\nu t - \frac{2\pi\nu x}{\lambda\nu})$$

Или, окончательно

$$y(x,t) = A\cos 2\pi(\nu t - \frac{x}{\lambda}) \quad (4)$$

Последнее уравнение называется уравнением бегущей волны.

Смещение колеблющихся точек Y от положения равновесия является функцией двух переменных: координаты X и времени t.

Амплитуда волны везде постоянна. Все точки в тот или иной момент отклоняются от положения равновесия на расстояние A (рис.2).

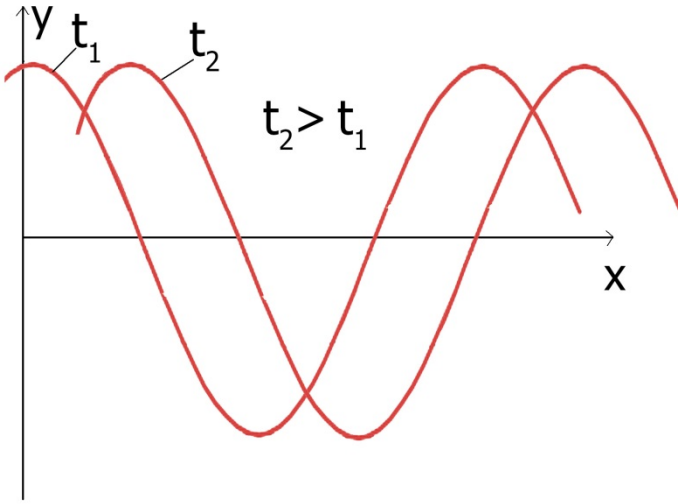

Рис. 2

Стоячие волны

Стоячие волны возникают при наложении двух одинаковых волн с равными амплитудами и периодами бегущих навстречу друг к другу.

Пусть, например, источник колебаний посылает волну к препятствию (прямая волна). Отраженная от препятствия волна (обратная) наложится на прямую и в результате образуется стоячая волна.

Уравнение стоячей волны получается сложением уравнений прямой и обратной волн:

$$y(x,t) = A\cos 2\pi(\nu t - \frac{x}{\lambda});$$

$$y(x,t) = A\cos 2\pi(\nu t + \frac{x}{\lambda}).$$

Используя формулу из тригонометрии, получим уравнение стоячей волны:

$$y(x,t) = 2A\cos(\frac{2\pi x}{\lambda})Cos\omega t \quad (5)$$

Из (5) вытекает, что в каждой точке стоячей волны происходят колебания той же частоты ω с амплитудой

$$A_{cm} = \left|2A\cos(\frac{2\pi x}{\lambda})\right|,$$

зависящей от координаты x, рассматриваемой точки.

Узлами стоячей волны называются точки, в которых амплитуда стоячей волны равна нулю.

Пучностями стоячей волны называются точки, в которых амплитуда стоячей волны максимальна. Координаты пучностей можно найти из условия:

$$Cos(2\pi\frac{x}{\lambda}) = \pm 1$$

Это условие выполнятся, когда $2\pi x/\lambda = k\pi$, откуда $x = k\frac{\lambda}{2}$, где k=0,1,2,…

Расстояние между соседними пучностями:

$$\Delta x = (k+1)\frac{\lambda}{2} - k\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

Характер колебаний точек стоячей волны изображен на рисунке 3.

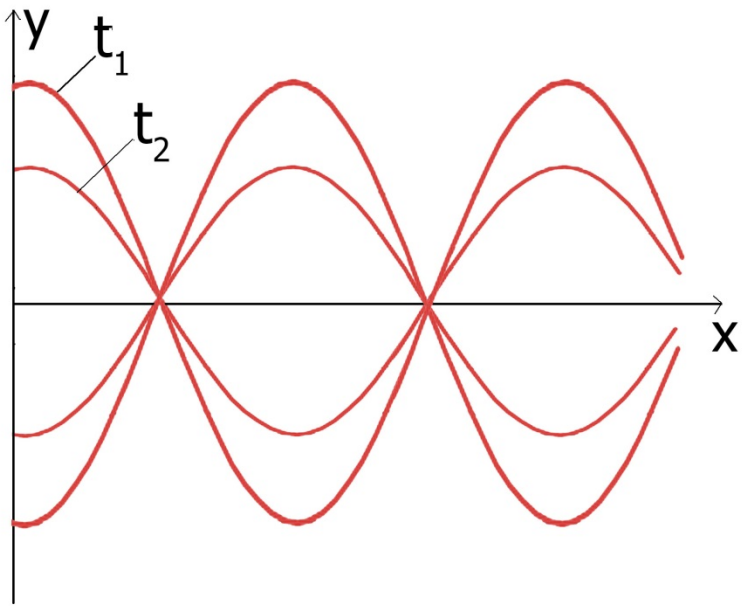

Рис. 3

Узлы и пучности вдоль оси x не перемещаются, поэтому волна называется стоячей.

Акустический резонанс.

Основной частью используемой установки является труба 1, в которой перемещается поршень (рисунок 4). Телефон 2, являющийся источником звука, питается от звукового генератора 3.

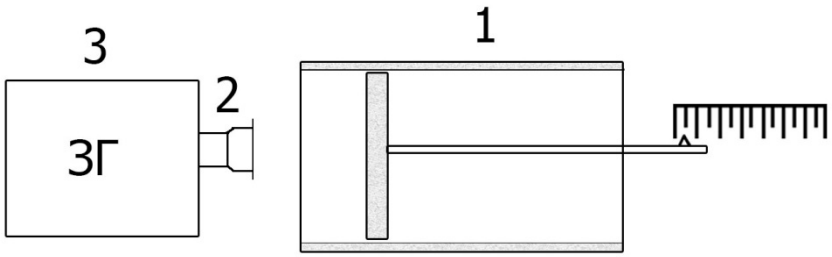

Рис. 4

Колебания мембраны телефона возбуждают в трубе продольную звуковую волну.

При отражении от поршня прямой волны образуется обратная бегущая волна. Прямая и обратная волны, складываясь между собой, образуют стоячую звуковую волну. В продольной волне y(x, t) означает смещение частиц воздуха от положения равновесия в направлении оси трубы.

Таблица 1.

ν	$\nu_1 =$	$\nu_2 =$	…	$\nu_n =$
$T_n = \dfrac{1}{\nu_n}$	$T_1=$	$T_2=$	…	$T_n=$
X_1				
X_2				
…				
X_l				
$\overline{\Delta x}$				

Так как частицы воздуха вблизи поршня не могут совершать продольных колебаний, у поршня всегда наблюдается узел стоячей волны. Если у открытого конца трубы образуется пучность, наблюдается явление акустического резонанса.

Акустический резонанс проявляется в том, что возбужденные в трубе звуковые колебания достигают максимальной амплитуды (громкость звука максимальна), когда частота колебаний мембраны телефона (внешняя вынуждающая сила) приближается к одной из собственных частот колебаний воздушного столба в трубе. Эта частота называется *резонансной частотой.*

Для соблюдения условия акустического резонанса (у поршня – узел, у открытого конца – пучность) на расстоянии X от поршня до края трубы должно уложиться нечетное число четвертей длины бегущей волны.

Если постепенно передвигать поршень, то у открытого конца трубы будут последовательно устанавливаться пучности и узлы стоячей волны. Будет слышно то усиление, то ослабление звука. Звук достигает максимальной громкости в момент акустического резонанса.

Из формулы (6) следует, что усиление звука будет происходить каждый раз, когда поршень подвинется на расстояние $\Delta x = \lambda / 2$ от положения очередного максимума громкости. Определив длину волны $\lambda = 2\Delta x$ и

зная частоту колебаний мембраны ν из формулы (3) получим выражение для скорости звука $\upsilon = 2\Delta x \nu$ *(Рабочая формула)* (7)

Методика Эксперимента

В основе определения скорости звука в воздухе лежит получение зависимости расстояния между соседними пучностями Δx от периода колебаний Т. Из (7) следует, что эта зависимость носит линейный характер, т.е.

$$\Delta x = \alpha T \quad (8)$$

где коэффициент пропорциональности α связан со скоростью следующим образом:

$$\alpha = \frac{\upsilon}{2} \quad (9)$$

Известно, что коэффициент α может быть определен по формуле

$$\alpha = tg\varphi,$$

где ϕ- угол наклона прямой. Для определения скорости звука нужно построить график экспериментальной зависимости $\Delta x = f(T)$.Измерения производят на установке схематичное изображения которой приведено на рисунке 4.

Порядок выполнения работы

После включения звукового генератора для частот, задаваемых преподавателем, проводятся измерения в следующей последовательности (количество N выбранных значений частот определяет преподаватель):

1. Установить по шкале генератора частоту звуковой волны с точностью до $\Delta\nu = 5$ Гц.
2. Переместить поршень в верхнее положение (в установке роль поршня выполняет открытая поверхность воды).
3. Плавно перемещая поршень вниз, найти положение, в котором звук достигает максимальной громкости. По шкале отметить координату X_1 с точностью до $5 \bullet 10^{-3}$ м.
4. Переместить поршень дальше вниз. Найти новое положение усиление звука X_2. Расстояние между пучностями равно: $\Delta X_1 = X_2 - X_1$
5. Найти следующие положение резонанса X_3, X_4, ….X_l(l – число положений резонанса). Вычислить величину ΔX из других измерений $\Delta X_2 = X_3 - X_2$; $\Delta X_3 = X_4 - X_3$; и т.д.

6. Найти среднее значение $\dfrac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + ... + \Delta X_e}{e}$

7. Установить следующее значение частоты ν (заданное преподавателем) и в соответствии с пунктами 3-6 найти Δx и т.д.

8. Вычислить все значения $T = 1/\nu$

9. Результаты измерений занести в таблицу 1. (N - число устанавливаемых значений частоты).

Обработка результатов Измерений

1. По результатам измерений построить график $\overline{\Delta X} = f(T)$.
2. Провести прямую через начало координат так, чтобы измеренные точки лежали приблизительно в равных количествах ниже и выше прямой.
3. По графику определить угол наклона прямой φ и вычислить α формуле $\alpha = tg\varphi$
4. Вычислить скорость $\upsilon = 2\alpha$
5. Посчитать погрешность измерений, учитывая, что эталонное значение скорости звука в воздухе составляет 331 м/с.

Содержание и оформление отчета о работе

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткий конспект основных понятий и закономерностей, методики эксперимента;
4. Протокол измерений и таблица результатов;

Вопросы для самопроверки

1. Запишите уравнение гармонического колебания и объясните смысл всех величин, входящих в уравнение.
2. Что называется периодом колебания, частотой, фазой?
3. Что называется волной? Чем отличается поперечная волна от продольной?
4. Получите уравнение бегущей волны. Что называется длиной волны?
5. Получите уравнение стоячей волны? Что такое узлы и пучности стоячей волны? Как найти их координаты?
6. Найдите расстояние между двумя соседними пучностями.

7. Условие акустического режима в трубке, открытой с одного конца? Почему в ней возникает стоячая волна? Запишите рабочую формулу и объясните значения величины ΔX