

**Областное государственное бюджетное профессиональное образовательное
учреждение «Костромской машиностроительный техникум»**

Методический конкурс педагогических работников образовательных
организаций Костромской области

Номинация: дидактические материалы для обучающихся

**Сборник дидактических материалов
«Лабораторный практикум по физике»**

Разработал: преподаватель
Незамаев Сергей Романович

Кострома, 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Учебное пособие «Лабораторный практикум по физике» предназначено для обучающихся техникума, которые учатся по специальности «Техническое обслуживание ремонт радиоэлектронной техники (по отраслям)» на базе ОГБПОУ «Костромской машиностроительный техникум».

В сборнике дидактических материалов «Лабораторный практикум по физике» представлены методические указания по подготовке и проведению лабораторных работ по механике, электромагнетизму, колебаниям и волнам.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ.

Цель работы: определить плотность и ознакомиться с погрешностями при измерениях и вычислениях: научиться пользоваться штангенциркулем и микрометром.

Приборы: весы технические с разновесами, штангенциркуль, микрометр, твердое тело правильной геометрической формы (металлический цилиндр).

Краткая теория

Из-за несовершенства измерительных приборов, которыми мы пользуемся, и несовершенства наших органов чувств, все измерения можно делать только с известной степенью точности. Поэтому результаты измерений дают нам не истинное значение измеряемой величины, а лишь приближенное. Если, например, масса тела определена с точностью до 0,01 г, то это значит, что найденная масса отличается от истинной менее, чем на 0,01 г.

Пусть, например, $X_1, X_2, \dots, X_n$ - результаты отдельных измерений величины X ; здесь n - число отдельных измерений. Тогда величина

$$\langle X \rangle = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (1)$$

будет являться наиболее близкой к истинному значению измеряемой величины X , т.е. среднее арифметическое из нескольких измерений по теории вероятности будет ближе к истинному значению измеряемой величины, чем отдельные измерения.

Отклонения ΔX_i каждого отдельного измерения от среднего значения $\langle X \rangle$, т.е.

$$\Delta X_1 = |\langle X \rangle - X_1|$$

$$\Delta X_2 = |\langle X \rangle - X_2| \quad \text{и т. д.}$$

называются абсолютными ошибками отдельных измерений.

$$\text{Величина} \quad \langle \Delta X \rangle = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_n}{n} \quad (2)$$

называется абсолютной средней ошибкой.

При определении средней абсолютной ошибки знаки отдельных ошибок не учитываются, а берутся их численные значения.

Отношение средней абсолютной $\langle \Delta X \rangle$ к среднему значению измеряемой величины $\langle X \rangle$ называется средней относительной ошибкой :

$$E_x = \frac{\langle \Delta X \rangle}{\langle X \rangle} \quad (3)$$

Относительные ошибки выражаются обычно в процентах.

Если для определения какой-либо величины (например, плотности) необходимо произвести измерения нескольких величин, а затем по формуле находить эту величину (косвенное измерение), то для оценки точности результата приходится пользоваться выводами теории вероятности и дифференциальным исчислением.

Плотность есть физическая величина, измеряемая массой в единице объема

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

В свою очередь объем тела, например цилиндрической формы:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h, \quad (5),$$

где d - диаметр цилиндра, h - высота цилиндра.

Таким образом, окончательное выражение для плотности тела цилиндрической формы имеет вид:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 \cdot h} \quad (6)$$

В данной работе для определения массы тела используются весы, для измерения диаметра микрометр, высоты - штангенциркуль.

Для оценки погрешности результата ($\Delta \rho$) применим вывод теории вероятностей о том, что относительная погрешность произведения (частного) равна сумме относительных погрешностей сомножителей (делимого и делителя), т.е.

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{h} \quad (7)$$

где $\frac{\Delta m}{m}, \frac{\Delta d}{d}, \frac{\Delta h}{h}$ – относительные погрешности при измерении массы, диаметра и высоты цилиндра. Величина $\frac{\Delta d}{d}$ взята удвоенной, потому что d^2 можно представить как $d \cdot d$.

Если известна относительная погрешность $\frac{\Delta \rho}{\rho} = E_{\rho}$, можно легко определить абсолютную ошибку: $\Delta \rho = E_{\rho} \cdot \rho$

Окончательный результат записывается в виде: $\rho = \langle \rho \rangle \pm \langle \Delta \rho \rangle$ что означает, что с использованием данных измерительных приборов найденная плотность отличается от истинной менее чем на $\Delta \rho$.

Порядок выполнения работы

1. Заготовить таблицу, в которую заносить затем все данные измерений и вычислений.
2. Установить по отвесу вертикальность колонки весов.
3. Уравновесить весы вращением грузиков на коромысле весов.
4. Определить массу тела на правой (**m₁**) и на левой (**m₂**) чашках весов и определить среднее значение массы.

$$\langle m \rangle = \frac{m_1 + m_2}{2}$$

5. Измерить диаметр цилиндра микрометром три раза и вычислить среднее значение диаметра: $\langle d \rangle = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$

6. Измерить высоту **h** цилиндра штангенциркулем один раз (технический способ).

7. Определить плотность по формуле: $\langle \rho \rangle = \frac{4 \langle m \rangle}{\pi \langle d^2 \rangle h}$

При вычислении плотности **m** выразить в граммах, **d** и **h** в сантиметрах.

8. Определить абсолютные и относительные ошибки всех измеряемых величин, входящих в выражение плотности(принимается, что ошибка в определении постоянных величин равна нулю);

а) средняя относительная ошибка при определении массы:

$$\langle \Delta m \rangle = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{2}$$

где $\Delta m_1 = |\langle m \rangle - m_1|$ - абсолютные ошибки при определении массы тела на

$$\Delta m_2 = |\langle m \rangle - m_2| \quad \text{правой и на левой чашках.}$$

Если окажется $m_1 = m_2$, то за абсолютную ошибку массы принимается точность весов. Обычно в работе используются технические весы, точность которых составляет 0,01 г.

Относительная ошибка при определении массы: $\langle E_m \rangle = \frac{\langle \Delta m \rangle}{\langle m \rangle}$

б) средняя абсолютная ошибка при измерении диаметра:

$$\langle \Delta d \rangle = \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2 + \Delta d_3}{3} \quad \text{где } \Delta d_1 = |\langle d \rangle - d_1|, \Delta d_2 = |\langle d \rangle - d_2|, \Delta d_3 = |\langle d \rangle - d_3| -$$

абсолютные ошибки отдельных измерений.

Относительная погрешность измерения диаметра: $\langle E_d \rangle = \frac{\langle \Delta d \rangle}{\langle d \rangle}$

в) за абсолютную ошибку Δh при измерении высоты принять точность штангенциркуля(цену деления нониуса, это может быть 0,1 мм или 0,05 мм и зависит от используемого штангенциркуля).

Относительная погрешность измерения высоты:

$$E_h = \frac{\Delta h}{h}$$

9. Вычислить относительную ошибку при определении плотности:

$$\langle E_\rho \rangle = \frac{\langle \Delta m \rangle}{\langle m \rangle} + \frac{2 \langle \Delta d \rangle}{\langle d \rangle} + \frac{\Delta h}{h}$$

10. Определить абсолютную ошибку результата по формуле:

$$\langle \Delta \rho \rangle = \langle E_\rho \rangle * \langle \rho \rangle$$

11. Записать окончательный результат в виде:

$$\rho = \langle \rho \rangle \pm \langle \Delta \rho \rangle \quad (\text{г/см}^3)$$

12. Выразить результат в СИ.

Контрольные вопросы

1. Что принимается в практике измерений за истинное значение измеряемой величины?
2. Что такое абсолютная погрешность измерения?
3. Как определяется абсолютная ошибка при косвенных измерениях (объяснить на примере определения плотности)?
4. Сравнивая E_m , E_h , E_d , сделать вывод, каким образом можно увеличить точность определения плотности.
5. Плотность(определения), единицы измерения плотности.
6. УИРС. Уметь вычислять абсолютную и относительную ошибки при любых косвенных измерениях. (Формулы, связывающие искомые и измеряемые величины, дает преподаватель).

Литература

1. Кортнев А.В. Практикум по физике. М. : Высшая школа, 1965.

Таблица 1

	1	$m_i, \text{г}$
	2	$\langle m \rangle = \frac{m_1 + m_2}{2}$
	3	$\Delta m_i = \langle m \rangle - m_i $
	4	$\langle \Delta m \rangle = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{2}$
	5	$\langle E_m \rangle = \frac{\langle \Delta m \rangle}{\langle m \rangle}$
	6	$d_i, (\text{мм})$
	7	$\langle d \rangle = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}$
	8	$\Delta d_i = \langle d \rangle - d_i $
	9	$\langle \Delta d \rangle = \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2 + \Delta d_3}{3}$
	10	$\langle E_d \rangle = \frac{\langle \Delta d \rangle}{\langle d \rangle}$
	11	$h, \text{м}$
	12	$\Delta h,$

	13	$E_h = \frac{\Delta h}{h}$
	14	$\langle \rho \rangle = \frac{4\langle m \rangle}{\pi \langle d^2 \rangle h}, \text{ г/см}^3$
	15	$\langle E_p \rangle = \langle E_m \rangle + 2\langle E_d \rangle + E_h$
	16	$\langle \Delta \rho \rangle = \langle \rho \rangle \cdot \langle E_p \rangle$
	17	$\rho = \langle \rho \rangle \pm \langle \Delta \rho \rangle, \text{ г/см}^3$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Э1.

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Приборы и принадлежности: 2 амперметра (образцовый и исследуемый), источник постоянного тока, 2 реостата, вольтметр, ключ, измерительная линейка

Краткая теория

Все электрические приборы можно условно разделить на три группы:

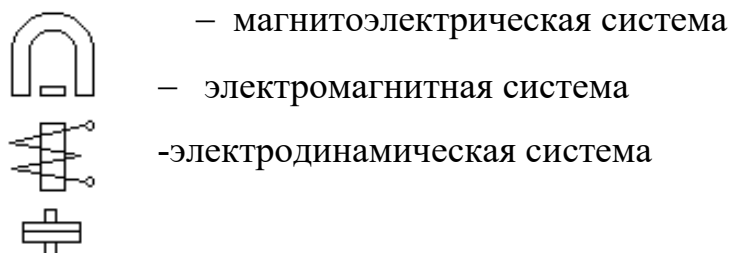
- 1) Источники тока (для наших лабораторий - это городская сеть, аккумуляторы, нормальные элементы);
- 2) Приборы для изменения режима работы цепи (ключи, переключатели, реостаты, потенциометры, конденсаторы и др.);
- 3) Электроизмерительные приборы (гальванометры, амперметры, вольтметры, счетчики и др.).

Электроизмерительные приборы классифицируются по роду измеряемой величины, роду тока, принципу действия и степени точности. Все эти данные в виде условных обозначений нанесены на шкалу прибора. Символы на шкале обозначают:

- 1) род тока: постоянный – переменный;
- 2) установка прибора: вертикально – горизонтально;
- 3) пробивное напряжение внутренней изоляции прибора: 2 кВ или 2 кВ

По принципу действия приборы делятся на ряд систем: магнитоэлектрическую, электромагнитную, электродинамическую, индукционную, термоэлектрическую, вибрационную, тепловую и т.д. В наших

лабораториях применяются приборы первых трех систем. Их условные обозначения:



Электроизмерительный прибор, электрическую схему которого можно переключать для изменения интервалов измеряемой величины, называется многопредельным.

В случае амперметров изменение пределов достигается включением различных шунтов, а в случае вольтметров - включением добавочных сопротивлений.

Наличие многопредельных приборов связано с тем обстоятельством, что часто требуется измерять электрические величины в очень широких пределах с достаточной степенью точности в каждом интервале. В этом случае многопредельный прибор заменяет несколько однотипных приборов с различными интервалами измерения. Переключение пределов измерения производится с помощью переключателя, который расположен между клеммами прибора. Белую точку переключателя устанавливают на нужный предел измерения.

В связи с переключением пределов приходится обязательно пересчитывать цену деления прибора. Ценой деления называется величина, вызывающая отклонение стрелки прибора на одно деление шкалы. Чтобы найти цену деления прибора, надо установленный предел измерения разделить на число делений шкалы.

Например: пределы измерения вольтметра

7,5 В; 15 В; 30 В; 60 В, число делений на шкале - 150.

Цена деления соответственно для каждого предела:

$$C_2 = \frac{15}{150} = 0,1 \frac{B}{дел.}$$

$$C_1 = \frac{7,5}{150} = 0,05 \frac{B}{дел.}$$

$$C_4 = \frac{60}{150} = 0,4 \frac{B}{дел.}$$

$$C_3 = \frac{30}{150} = 0,2 \frac{B}{дел.}$$

Чтобы снять показания прибора, необходимо цену деления умножить на число делений, на которое отклонилась стрелка прибора.

Для гальванометров и других чувствительных приборов вводится величина, обратная цене деления, называемая чувствительностью прибора:

$S = \frac{1}{C}$. Чем выше чувствительность прибора, тем меньшие величины можно измерять прибором. Размерность чувствительности зависит от характера измеряемой величины. Например, чувствительность прибора к току - $1/A$, чувствительность к напряжению - $1/V$ и т.д.

Для точности снятия показаний современные приборы обычно имеют зеркальную шкалу. Зеркальная шкала позволяет избежать параллакса. При отсчете по зеркальной шкале глаз наблюдателя должен быть расположен так, чтобы конец стрелки закрывал свое изображение в зеркале.

Важнейшей характеристикой каждого измерительного прибора является его погрешность.

В качестве действительного значения измеряемой величины принимается величина, измеряемая образцовым прибором. Разность между показанием данного прибора A_i и действительным значением измеряемой величины A_d называется абсолютной погрешностью ΔA .

$$\Delta A = |A_i - A_d|$$

Абсолютная ошибка берется по модулю.

Обычно точность измерения характеризуется относительной погрешностью E , которая представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\%$$

Однако относительная погрешность не является величиной постоянной. Дело в том, что абсолютная погрешность может быть постоянной величиной по всей шкале измерения, а относительная погрешность будет увеличиваться по мере уменьшения измеряемой величины. Например, абсолютная ошибка прибора (амперметра) $\Delta I = 0,076 \text{ А}$ (она постоянна по всей шкале). Если при помощи указанного амперметра измерять ток

$$I_1 = 4 \text{ А, то } E = \frac{\Delta I}{I_1} = \frac{0,076}{4} \cdot 100\% = 1,9\% , \text{ а при измерении силы тока } I_2 = 1 \text{ А}$$

$$E = \frac{0,076}{1} \cdot 100\% = 7,6\%, \text{ т.е. в разных частях шкалы относительная ошибка получилась разная.}$$

Поэтому для характеристики точности большинства электроизмерительных приборов пользуются приведенной погрешностью.

Приведенной погрешностью называется отношение наибольшей абсолютной погрешности к предельному значению измеряемой величины.

$$\varepsilon_{прив.} = \frac{\Delta A_{max}}{A_{пред.}} \cdot 100\%$$

Точность электроизмерительных приборов лежит в основе деления приборов на классы. Согласно ГОСТу 1845-59, все электроизмерительные приборы делятся на 8 классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Показатель класса определяет приведенную погрешность измерения в процентах.

Пусть класс точности прибора - 0,2. Это значит, что возможная погрешность в показаниях прибора в любом месте шкалы составляет 0,2% от предельного значения прибора.

Например, класс точности прибора (вольтметра) - 0,2, шкала вольтметра рассчитана на 300 В.

Тогда по определению $\varepsilon_{\text{прив.}} = 0,2\%$, т.е. составляет 0,002 измерения, а ΔU из формулы $\varepsilon_{\text{прив.}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{прев}}}$ определится так: $\Delta U = \varepsilon_{\text{прив.}} \cdot U_{\text{пред.}}$

$$\Delta U = 0,002 \cdot 300 = 0,6 \text{ В}$$

Приборы классов 0,1; 0,2; 0,5 применяются для точных лабораторных измерений и называются прецизионными. Приборы остальных классов применяют в технике.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Ознакомление с электроизмерительными приборами.

1. Изучите электроизмерительные приборы, находящиеся на рабочем месте.
2. Заполните таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование прибора	Система прибора	Класс точности	Пределы измерения	Цена деления	Чувствительность прибора
1.						
2.						
3.						

Задание 2. Оценка класса точности прибора.

Как указано во введении к работе, класс точности прибора определяется величиной

$$\varepsilon_{\text{прив.}} = \frac{\Delta A_{\text{max}}}{A_{\text{прив.}}} \cdot 100\%$$

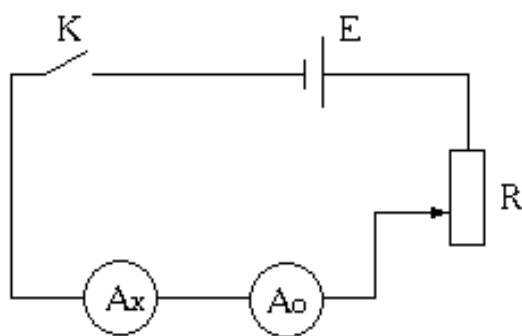
Мы можем приближенно оценить значение класса точности прибора, взяв среднее значение погрешности $\langle \Delta A \rangle$ из небольшого числа измерений (5-6)

$$\varepsilon_{\text{прив.}} = \frac{\langle \Delta A \rangle}{A_{\text{прев.}}} \cdot 100\%$$

Абсолютную погрешность ΔA определим как разность показаний данного (исследуемого) прибора и образцового:

$$\Delta A_i = |A_{\text{иссл.}} - A_{\text{обр.}}|$$

1. Соберите цепь по схеме:



ε - источник тока,
 A_x - исследуемый амперметр,
 A_0 - образцовый амперметр,
 R - реостат,
 K - ключ.

2. Снимите показания образцового амперметра, соответствующие нескольким (не менее 6) целым делениям исследуемого амперметра.

3. Определить ΔA , $\langle \Delta A \rangle$, ε .

Таблица 2

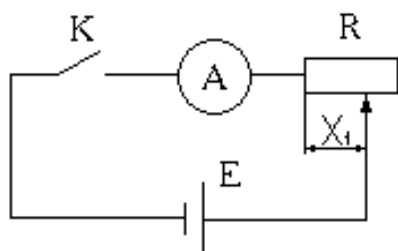
№ п/п	A_0	A_x	ΔA	$\langle \Delta A \rangle$	$\varepsilon_{\text{прив.}} = \frac{\langle \Delta A \rangle}{A_{\text{прив.}}} \cdot 100\%$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Задание 3. Способы включения реостата.

Реостат можно включать в цепь последовательно и потенциометрически.

а) Если реостат включен в цепь последовательно, то с его помощью можно регулировать величину тока. В этом случае реостат включается за нижнюю и верхнюю (ползунковую) клеммы. При таком включении реостат можно проверить закон Ома $I = \frac{U}{R}$, т.е. получить обратно пропорциональную зависимость тока от сопротивления.

1. Собрать цепь по схеме, где



ε - источник тока,

K - ключ,

A - амперметр,

R - реостат,

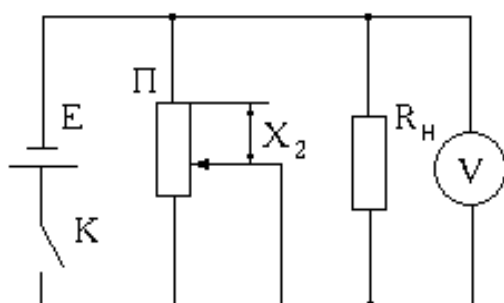
X_1 - длина введенной части реостата

2. Перемещая ползунок реостата, получить несколько значений X_1 и A (не менее 6). Занести показания в табл. 3.

3. Построить графики зависимости $I=f(X_1)$

б) Иногда реостат включает в цепь в качестве потенциомера. Потенциомер - это делитель напряжений. В этом случае к реостату подается напряжение от источника на две нижние клеммы, а снимаются на нагрузку с верхней и одной нижней клеммы, т.е. он включается параллельно источнику и регулирует напряжение на нагрузке. Чем большая часть реостата введена, тем большее напряжение выдается им на нагрузку. В зависимости от величины сопротивления нагрузки получается линейная или степенная зависимость напряжения (U) от введенной части реостата.

1. Собрать цепь по схеме, где



ε - источник тока,

K - ключ,

П - потенциометр,

V - вольтметр,

R_n - реостат (нагрузка)

2. Перемещая ползунок реостата, получить несколько значений X и V.

3. Построить график зависимости $U = f(X_2)$

Все данные занести в таблицу.

Таблица 3

№ п/п	X_1	I, A	X_2	U, B
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

Контрольные вопросы

1. Системы электроизмерительных приборов, их принцип действия и условные обозначения.
2. Условные обозначения, наносимые на плате прибора.
3. Класс точности прибора. Умение по классу рассчитать абсолютную и относительную ошибки измерения.
4. Уметь вычислить ошибку при косвенных измерениях.
5. Уметь рассчитать шунты.

Литература

1. Кортнев А.В. и др. Практикум по электричеству. М.: Высшая школа, 1971. Гл.1, 4, раб. №5, упр.2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА К1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШКИ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСА В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Цель работы: Ознакомиться с электрическими явлениями в колебательном контуре и определить индуктивность катушки.

Оборудование: катушка индуктивности, набор конденсаторов известной емкости, миллиамперметр, соединительные провода.

Краткая теория

Колебательным контуром называется замкнутая электрическая цепь, состоящая из катушки индуктивности L и конденсатора C . Если сообщить контуру некоторый запас энергии (зарядить конденсатор), то в контуре будет происходить периодический процесс перехода энергии электрического поля

конденсатора в энергию магнитного поля катушки и обратно, т.е. будут происходить электромагнитные колебания.

Колебания, происходящие в контуре при отсутствии в нем источника переменной ЭДС, называются свободными колебаниями.

Частота этих колебаний определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

где L - индуктивность в генри;

C - емкость в фарадах;

f - частота в герцах.

Если соединить последовательно катушку индуктивности с конденсатором и в эту цепь включить генератор переменного тока, то в цепи возникнут вынужденные электрические колебания. Частота этих колебаний в общем случае не совпадает с частотой собственных колебаний в цепи.

Когда частота собственных колебаний далека от частоты генератора, то общее сопротивление цепи велико и ток в ней незначителен. При сближении частоты собственных колебаний цепи и частоты генератора наблюдается увеличение тока, и когда частоты совпадают, то общее сопротивление цепи падает до минимума, а ток становится наибольшим, наступает явление резонанса. При этом чем меньше омическое сопротивление цепи, тем больше величина тока при резонансе и тем резче это явление проявляется.

Чтобы добиться резонанса, можно либо изменять частоту внешнего воздействия, либо изменять собственную частоту контура посредством изменения индуктивности или емкости.

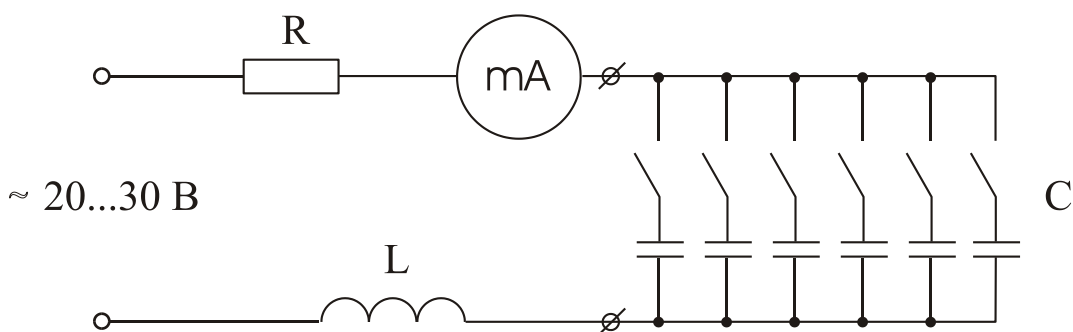
В настоящей работе применяется второй способ, т.е. частота генератора остается постоянной (частота сети 50 Гц), а изменяется емкость цепи при неизменной индуктивности и стабильном входном напряжении. Емкость изменяют включением в цепь разных, но вполне определенных по величине конденсаторов-эталонов. При этом, измеряя всякий раз величину тока в цепи, получают ряд соответствующих значений тока и емкости конденсаторов.

Построив по полученным результатам измерений резонансную кривую, выражающую зависимость величины тока от емкости, определяют по этому графику емкость C_p , соответствующую резонансу в цепи. Найденное значение емкости C_p подставляют вместе с известной частотой 50 Гц в приведенную выше формулу (1) и определяют неизвестную индуктивность L .

Эксперимент провести при двух различных сопротивлениях R : $R_1 = 0$; $R_2 = 33 \text{ Ом}$.

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь по схеме:



R - реостат, 33 Ом;

C - батарея конденсаторов;

L - катушка индуктивности; mA - миллиамперметр.

- Включить конденсатор емкостью 2 мкф и измерить величину тока. Затем включить поочередно емкости 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 мкф, каждый раз снимая показания миллиамперметра.
- По полученным данным построить график зависимости тока от емкости, т.е. резонансную кривую.
- По этому графику найти емкость C , соответствующую резонансу в цепи, и определить индуктивность катушки по формуле (1). Данные занести в таблицу.

Таблица

f , Гц	C , мкф	I_R , мА	I , мА	C_p , мкф	L , Гн

Примечание. 1. При включении емкостей до 7 мкФ предел измерения миллиамперметра взять 100 мА, при включении емкостей свыше 7 мкФ - 200 мА.

5. Выключите из схемы реостат, и повторите опыт по п.п. 2 - 4.
6. Сравните резонансные кривые полученные с включенным сопротивлением и без него.
7. Определите индуктивность катушки из формулы (1).
8. После работы батарею конденсаторов разрядить, включив все конденсаторы и соединив входные клеммы проводником.

Контрольные вопросы

1. Закон Ома для цепи переменного тока.
2. Колебательный контур. Формула Томсона. Резонанс напряжений, условия его наступления и способы получения.
3. Проявление резонанса напряжений.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. М.: Наука, 1983. Гл. 13, 88 - 91.
2. Грабовский Р.И. Курс физики. Часть 2. М.: Высшая школа, 1980. Гл. 4, 37,39.
3. Кортнев А.В. и др. Практикум по физике. М.: Высшая школа, 1965. Гл. 17, раб. № 46.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № В1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСА

Цель работы: измерить скорость звука в воздухе.

Приборы: стеклянная трубка, телефон, микрофон, звуковой генератор, осциллограф, измерительная шкала.

Краткая теория

Скорость звука в воздухе при комнатной температуре составляет, примерно, 340 м/с. Зависимость ее от температуры дается выражением

$$V_t = V_0 \sqrt{1 + \beta t} \quad (1),$$

где V_t - скорость звука при температуре t °C;

V_0 - скорость звука при 0°C;

β - коэффициент объемного расширения воздуха ($\beta = 1/273$ град⁻¹).

Известно, что источниками звуков являются колеблющиеся тела (голосовые связки у человека, струны у некоторых музыкальных инструментов и т.д.) Для передачи звуковых колебаний необходима передающая среда. Напомним, что для распространения электромагнитных колебаний не требуется передающей среды, они могут распространяться в вакууме.

Процесс распространения колебаний называется волной. Уравнение плоской волны имеет вид

$$Y = A \cos(\omega t - kx) \quad (2),$$

где A - амплитуда волны (если энергия не поглощается средой, то амплитуда плоской волны не зависит от расстояния X);

$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ - циклическая частота источника колебаний (T - период, ν - линейная частота);

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число, λ - длина волны.

В данной работе для определения скорости звука в воздухе используется метод стоячей волны. Стоячая волна возникает в результате наложения (интерференции) двух встречных волн с равными периодами и амплитудами: падающей

$$Y_1 = A \cos(\omega t - kx)$$

и отраженной

$$Y_2 = A \cos(\omega t + kx)$$

Отличаются они только знаком в выражении фазы ($\omega t \pm kx$).

Сложив уравнения падающей и отраженной волн и преобразовав полученное выражение по формуле суммы косинусов, получим

$$Y_1 + Y_2 = 2A \cos kx \cdot \cos \omega t$$

или
$$Y = 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos \omega t = A_{cm} \cdot \cos \omega t \quad (3)$$

уравнение стоячей волны.

Т.о., в каждой точке стоячей волны происходит колебание с той же частотой, что и у встречных волн.

Амплитуда стоячей волны является периодической функцией координаты (X) и не зависит от времени.

$$A_{cm} = 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$$

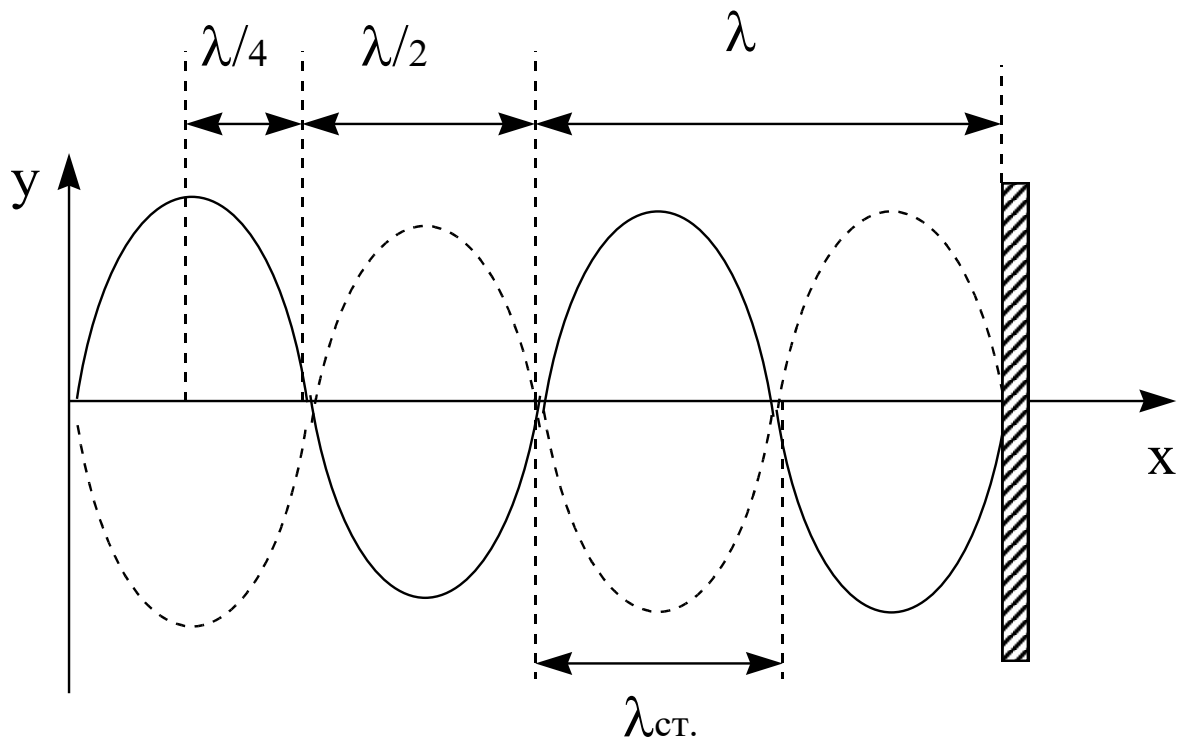


Рисунок 1

В точках, координаты которых удовлетворяют условию

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm n\pi$$

($n = 0, 1, 2 \dots$), амплитуда колебаний достигает максимального значения, равного $2A$. Такие точки стоячей волны называются пучностями. Координаты пучностей

$$X_{ny+n} = \pm n \frac{\lambda}{2} \quad (5) \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

В точках, координаты которых удовлетворяют условию

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

амплитуда обращается в нуль. Эти точки называются узлами стоячей волны.

Координаты узлов

$$X_{yзл} = \pm (2n+1) \frac{\lambda}{4} \quad (6), \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

Из формул (5) и (6) следует, что расстояние между соседними пучностями (узлами) равно $\frac{\lambda}{2} = \lambda_{ст}$ и называется длиной стоячей волны (здесь λ - длина бегущей волны).

В стоячей волне все точки среды, в которой она распространяется, расположенные между двумя соседними узлами, колеблются в одной фазе, а по другую сторону узла в противоположной фазе, т.е. при переходе через узел фаза колебаний скачкообразно меняется на π .

В том случае, когда волна отражается от среды более плотной, чем та, в которой она распространяется, в месте отражения возникает узел, фаза изменяется на противоположную. При этом говорят, что происходит потеря половины волны.

Когда волна отражается от среды менее плотной, в месте отражения появляется пучность, и потери волны не происходит.

В отличие от бегущей волны, в стоячей волне отсутствует перенос энергии, т.е. как бы происходит компенсация переносов энергии двух бегущих в противоположных направлениях волн.

В данной работе момент возникновения стоячей волны устанавливается по резкому усилению звука ($A_{ст} = 2A$) - звуковой резонанс. Столб воздуха в этом случае является резонатором, частота собственных колебаний которого

совпадает с частотой источника звука. Когда слышно наибольшее усиление звука, то на открытом конце трубки возникает пучность.

Из формулы $X_{узн} = \pm(2n+1)\frac{\lambda}{4}$ следует, что наименьшая длина воздушного столба, при котором образуется стоячая волна (узел на поверхности и пучность на выходе), равна $\lambda/4$, т.е. $x_1 = \frac{\lambda}{4}$ ($n = 0$) (см.рис.3).

Усиление звука будет наблюдаться при длине воздушного столба $x_2 = \frac{3}{4}\lambda$ ($n=1$)

$x_3 = \frac{5}{4}\lambda$ ($n=2$) и т.д., т.е. равной нечетному числу четвертей длины волны.

Измерив длину воздушного столба, при котором образуется стоячая волна, можно определить длину волны λ и скорость звука V_z , которая связана с частотой ν колебаний источника (звукового генератора) соотношением

$$V_z = \lambda \cdot \nu$$

Для выполнения работы используется установка, схема которой показана на рис.2.

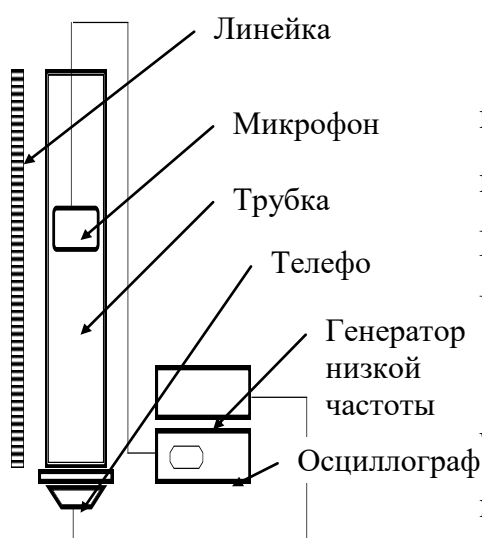


Рисунок 2

Порядок выполнения работы

1. Получить от преподавателя указания по выполнению данной работы: частоты и количество снимаемых точек. Микрофон опустоустить на дно трубки. Подключить установку в сеть, подключить генератор низкой частоты. При этом должна быть включена клавиша $\times 10$. Через 1-2 минуты установить регулятором «Выход» 2-3 В по прибору. На осциллографе должны быть включены

клавиши «Вход X» и «01» (в столбике В/дел). Микрофон подключить к клавишам «Вход Y» и «⊥».

2. Регулировками «X» и «Y» вывести луч в центр экрана. Он должен выглядеть в виде вертикального столбика.

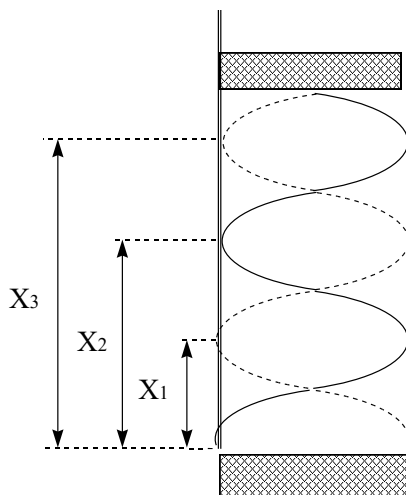


Рисунок 3

3. Плавно поднимая микрофон, следить за изменением столбика на экране осциллографа и засечь его положение (X_1) по линейке, при котором длина столбика принимает максимальное значение. Далее, продолжая плавно поднимать микрофон, найти следующее положение микрофона (X_2) при котором длина столбика принимает максимальное значение, и т.д.. Получить не менее трех точек (по указанию

преподавателя).

4. По полученным данным X_1 , X_2 , X_3 определить длину бегущей волны.

$\lambda'_i = 2(X_2 - X_1)$ $\lambda''_i = 2(X_3 - X_2)$ и найти ее среднее значение

$$\langle \lambda_i \rangle = \frac{\lambda'_i + \lambda''_i}{2}$$

5. Определить скорость звука при окружающей температуре

$$V_{it} = \langle \lambda_i \rangle \nu_i,$$

где ν_1 - частота колебаний мембраны телефона (звукового генератора).

6. Операции 1 - 5 повторить для частот ν_2 и ν_3 (задаются преподавателем).

7. Найти среднее значение скорости звука в воздухе при t °C.

$$\langle V_t \rangle = \frac{V_{1t} + V_{2t} + V_{3t}}{3}$$

8. Определить скорость звука в воздухе при 0 °C

$$\langle V_0 \rangle = \frac{\langle V_t \rangle}{\sqrt{1 + \beta t}}$$

9. Вычислить ошибку $\langle \Delta V_t \rangle$ и записать окончательный результат в форме

$$V_t = \langle V_t \rangle \pm \langle \Delta V_t \rangle$$

10. Все данные занести в таблицу.

Таблица

№ опы та	x, м	λ , м	$\langle \lambda \rangle$, м	t °C	ν , Гц	V_t , м/с	$\langle V_t \rangle$, м/с	$\langle V_0 \rangle$, м/с	ΔV_t	$\langle \Delta V_t \rangle$	$\langle V_t \rangle = \langle V_t \rangle \pm \langle \Delta V_t \rangle$
1											
2											
3											

Контрольные вопросы

1. От чего зависит скорость звука в воздухе?
2. Как связана скорость распространения колебаний (скорость звука) с частотой колебаний источника и длиной волны?
3. Почему усиливается звук, когда образуется стоячая волна?
4. Что такое узел, пучность, длина стоячей волны?
5. Когда возникают стоячие волны?

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики, т.2. М.: Наука, 1982 99,100.
2. Грабовский Р.И. Курс физики, ч.1. М.: Высшая школа, 1980. 34,36.