



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Кафедра «Физика»

Лабораторный практикум по дисциплине «физика» М16, М17, М18.

«Определение скорости звука в воздухе»

Авторы
Гребенюк Т.И.,
Егоров И.Н.,
Егорова С.И.,
Ковалева В.С.,
Кунаков В.С.,
Лемешко Г.Ф.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Практикум содержит методические указания к трем лабораторным работам по теме «Определение скорости звука в воздухе». В каждой работе даны краткое описание рабочей установки и методика выполнения работы.

Предназначен для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, изучающих физику (раздел «Механические колебания и волны»).

Авторы

доцент Гребенюк Т.И.,
к.т.н., доцент Егоров И.Н.,
д.т.н., доцент Егорова С.И.,
доцент Ковалева В.С.,
д.т.н., профессор Кунаков В.С.,
профессор Лемешко Г.Ф.,

Оглавление

Краткая теория	4
Лабораторная работа М16 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКА СОВРА 3 .7	
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М17 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ТРУБКИ КВИНКЕ	12
Лабораторная работа М18 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ С ПОМОЩЬЮ ТРУБКИ КУНДТА.....	16
Рекомендуемая литература.....	19

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Упругими (механическими) волнами называются механические возмущения, распространяющиеся в упругой среде.

Упругие волны бывают **продольными** (в которых частицы среды колеблются в направлении распространения волны) и **поперечными** (в которых частицы колеблются в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения волны).

Внутри жидкостей и в газах возникают только продольные волны, в твёрдых телах – продольные и поперечные.

Длиной волны называется расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе

$$\lambda = \nu T = \nu / \nu, \quad (1)$$

где ν – скорость волны; T – период; ν – частота.

Уравнение бегущей волны

Бегущими называются волны, которые переносят в пространстве энергию.

Распространение волн в однородной изотропной среде, в общем случае описывается **волновым уравнением**:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{\nu^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2},$$

которое является дифференциальным уравнением в частных производных.

Здесь $\xi(x, y, z, t)$ – смещение колеблющейся частицы, как функция координат и времени; ν – фазовая скорость, т.е. скорость перемещения фазы колебаний.

Для плоской волны волновое уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{\nu^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}.$$

Решение этого уравнения является уравнением бегущей плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси x в среде, не поглощающей энергию:

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

$$\xi(x, t) = A \cos[\omega(t - x/v) + \varphi_0]$$

или

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

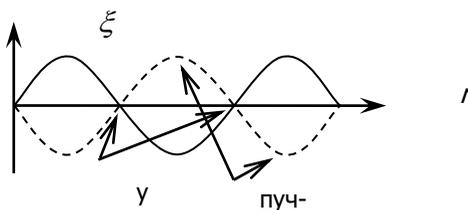
где A – амплитуда волны; ω – циклическая частота; $[\omega(t - x/v) + \varphi_0]$ – фаза волны; φ_0 – начальная фаза,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\omega}{v} \quad \text{– волновое число; } v \text{ – фазовая скорость.}$$

Стоячие волны

Стоячие волны – это волны, образующиеся при наложении двух волн одинаковой частоты и амплитуды, распространяющихся навстречу друг другу.

Такой случай можно реализовать, заставив бегущую волну отразиться от преграды.



Уравнения падающей и отражённой волн имеют вид:

$$\xi_1(r, t) = A \cos[\omega(t - r/v)];$$

$$\xi_2(r, t) = A \cos[\omega(t + r/v)].$$

Сложив эти уравнения, используя тригонометрические преобразования, получаем **уравнение стоячей волны**:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 = \left| 2A \cos \frac{2\pi}{\lambda} r \right| \cos \omega t,$$

где **амплитуда стоячей волны**:

$$A_{ст.} = \left| 2A \cos \frac{2\pi}{\lambda} r \right|.$$

Из данного выражения видно, что амплитуда стоячей волны

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

$$0 \leq A_{cm.} \leq 2A.$$

Точки, в которых амплитуды бегущей и отражённой волны складываются, называются **пучностями** ($A_n = 2A$).

Точки, в которых амплитуда равна нулю, называются **узлами** ($A_{уз.} = 0$). Эти точки колебаний не совершают.

Пучность образуется в тех точках, где колебания бегущей и отражённой волн происходят в одинаковой фазе.

Узлы образуются там, где колебания происходят в противофазах.

Таким образом, **длина стоячей волны** равна половине длины складываемых волн:

$$\lambda_{cm.} = \frac{\lambda}{2}.$$

Стоячая волна не переносит энергии, так как энергия переносится в равных количествах бегущей и отражённой волнами.

Звуковыми называются распространяющиеся в среде упругие волны, обладающие частотами в пределах 16-20000 Гц.

Волны с частотой меньше 16 Гц называются **инфразвуковыми**, а с частотой больше 20000 Гц – **ультразвуковыми**.

Громкость звука определяется амплитудой колебаний, **высота** звука определяется частотой.

Скорость звука в газах определяется формулой:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \quad (2)$$

где T – абсолютная температура; R – универсальная газовая постоянная; M – молярная масса; $\gamma = c_p / c_v$ – отношение молярных теплоемкостей при постоянных давлении и объеме.

Из формулы (2) видно, что скорость звука не зависит от давления, но увеличивается с увеличением температуры и с уменьшением молярной массы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКА СОБРА 3

Цель работы: найти скорость звука в воздухе при комнатной температуре.

Оборудование: базовый блок «СОБРА 3», источник питания, таймер, микрофон с усилителем.

Описание экспериментальной установки

Внешний вид и принципиальная схема экспериментальной установки представлены на рис. 1,2.

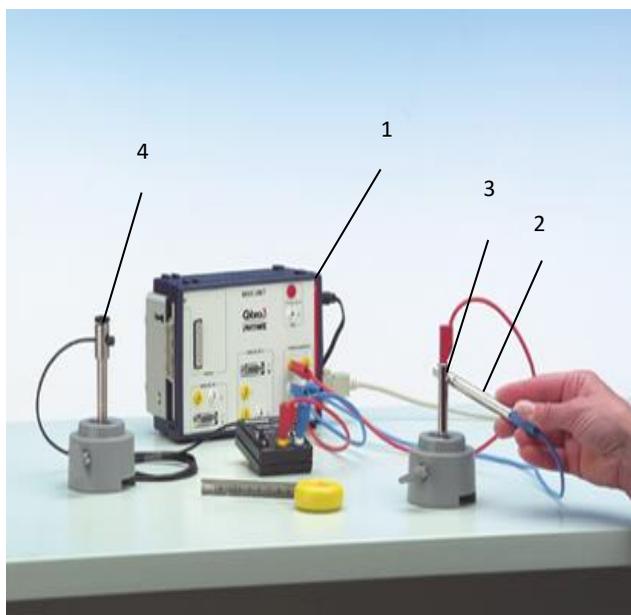


Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки:
1 – Блок Собра3; 2 – металлический свободный прут;
3 – металлический прут, зажатый в стойке; 4 – микрофон

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

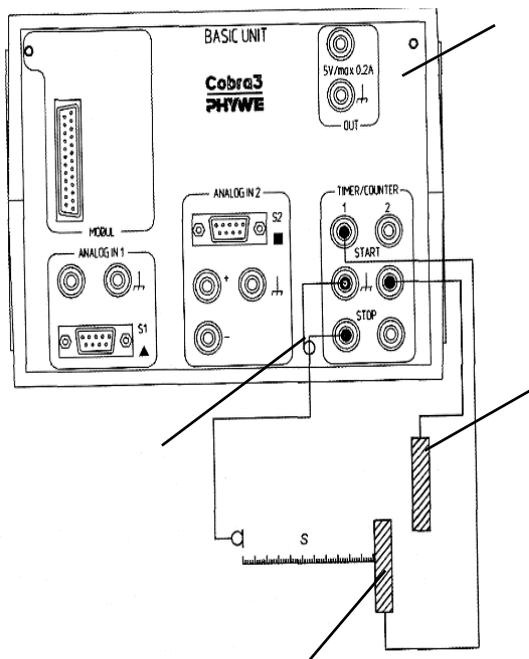


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки:
 1 – Блок Cobra3; 2 – металлический свободный прут;
 3 – металлический прут, зажатый в стойке; 4 – микрофон

Порядок выполнения работы

Задание 1. Экспериментальное определение скорости звука в воздухе при комнатной температуре.

1. Включить систему «measure», дважды щелкнув левой кнопкой мыши.
2. В открывшемся окне слева вверху выбрать пункт меню «прибор» – это окно настройки прибора.
3. Нажать «Кобра-Таймер/счетчик».
4. На экране появляется Таймер-счетчик (рис. 3). Активирован Таймер 1.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

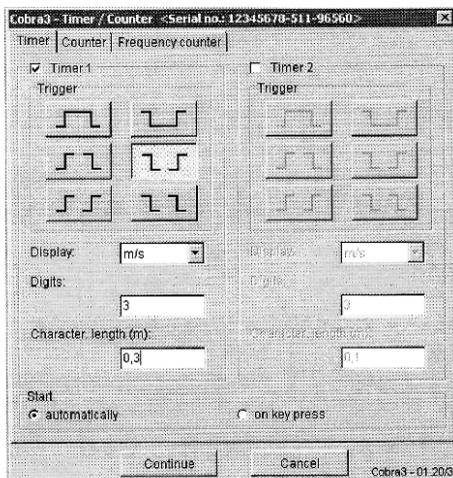


Рис. 3. Окно программы для измерения скорости звука

5. Установить на панели в окне «Характерная длина (m)» расстояние l_1 (по заданию преподавателя), занести в табл. 1. В окне «Цифры» – установить число знаков после запятой (это дает приборную погрешность Δv_{np}).

Таблица 1

№	$l_1(m)$	$v_1(m/c)$	$l_2(m)$	$v_2(m/c)$	$l_3(m)$	$v_3(m/c)$
1						
2						
3						
4						
5						
ср						

Среднее значение скорости:
$$\langle v \rangle = \frac{\langle v_1 \rangle + \langle v_2 \rangle + \langle v_3 \rangle}{3}$$

6. В нижней части окна выбрать пункт: автоматически.
7. Нажать «Далее».

8. Установить микрофон 4 (см. рис. 1) на расстоянии l_1 от зажатого металлического прута 3. Ударить свободным прутком 2 по зажатому. При этом необходимо обеспечить приблизительно равную высоту точки

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

удара и точки расположения микрофона. Расстояние измеряется от передней стороны капсулы микрофона до прута, зажатого в круглой стойке.

9. Повторить измерения 5 раз. Результаты занести в табл. 1.

10. Повторить измерения для других расстояний (l_2, l_3).

ЗАМЕЧАНИЯ: 1. Если работа первого таймера не прекращается, несмотря на то, что звук прекратился, то необходимо подстроить выходное напряжение, снимаемое с выхода усилителя микрофона.

2. Во время работы не должно быть никаких фоновых шумов, из-за которых во время измерения наблюдаются слишком высокие или низкие значения.

11. Сделать статистическую обработку скорости (v) по методу Стьюдента для одного значения расстояния l . Для этого необходимо заполнить табл. 2 и 3. В табл. 2 внести значения скорости v . Посчитать Δv и Δv^2 . В табл. 3 занести доверительную вероятность (α) по заданию преподавателя, коэффициент Стьюдента $t(n, \alpha)$ и погрешность прибора ($\Delta v_{\text{пр}}$).

Таблица 2

	1	2	3	4	5	$\langle v \rangle$
v (м/с)						
Δv (м/с)						X
Δv^2 (м ² /с ²)						

Таблица 3

$S_{n,v}$	α	$t(n, \alpha)$	$\Delta v_{\text{сл}}$	$\Delta v_{\text{пр}}$	$\Delta v_{\text{дов}}$	δv
м/с	–	–	м/с	м/с	м/с	%

12. Рассчитать среднюю квадратическую погрешность по формуле:

$$S_{n,v} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta v_i)^2}{n(n-1)}},$$

где Δv_i – абсолютная погрешность каждого измерения; n – число измерений.

$$\Delta v_{\text{сл}} = t(\alpha, n) \cdot S_{n,v}.$$

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

13. Доверительная погрешность измерений:

$$\Delta v_{\text{дов}} = \sqrt{\Delta v_{\text{сл}}^2 + \Delta v_{\text{пр}}^2} \text{ (м/с)}$$

14. Относительная погрешность равна:

$$\delta v = \frac{\Delta v_{\text{дов}}}{\langle v \rangle} 100\%$$

15. Записать результат в виде:

$$v_{\text{эксп}} = \langle v \rangle \pm \Delta v_{\text{дов}} \text{ (м/с)}$$

Задание 2. Теоретическое определение скорости звука в воздухе при комнатной температуре.

1. Измерить с помощью термометра температуру воздуха в комнате.

2. По формуле (2) вычислить скорость звука $v_{\text{теор}}$, учитывая, что для воздуха $\gamma = 1,4$; $M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $R = 8,31$ Дж/моль·К.

3. Сравнить $v_{\text{теор}}$ и $v_{\text{эксп}}$ и рассчитать относительную погрешность по формуле:

$$\delta v = \frac{|\langle v \rangle - v_{\text{теор}}|}{v_{\text{теор}}} 100\%$$

Контрольные вопросы

1. Что называется волной?
2. Какие волны называются продольными и поперечными?
3. Что называется периодом колебаний?
4. Что называется частотой колебаний?
5. Что называется длиной волны?
6. Связь длины волны и частоты.
7. Написать волновое уравнение.
8. Уравнение плоской волны.
9. Какие волны называются звуковыми?
10. От чего зависит скорость звука?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М17 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ТРУБКИ КВИНКЕ

Цель работы: найти скорость звука в воздухе при комнатной температуре.

Оборудование: трубка Квинке, генератор частоты, мультиметр.

Описание экспериментальной установки

Внешний вид экспериментальной установки и геометрия трубки Квинке представлены на рис. 1,2.



Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки

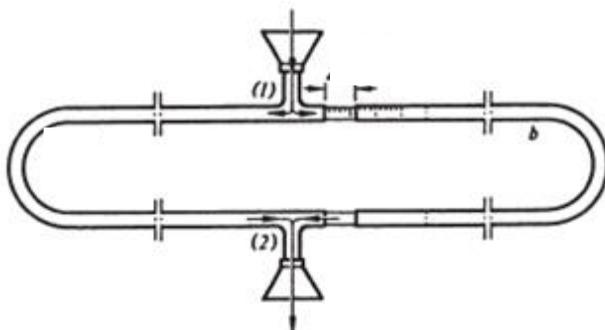


Рис. 2. Геометрия трубки Квинке

Длина трубки ABC постоянна, а длина трубки AДС может меняться. Концы трубок А и С для обеих трубок являются общими. Источник звуковых колебаний – динамик 1 – прикреплен в точке А. На динамик 1 подается сигнал от генератора 2. На конце трубок в точке С укреплен приемник звука 3, подсоединенный к измерительному микрофону 4. Звуковые волны от конца А проходят пути ABC и AДС и встречаясь в С складываются друг с другом. Этот суммарный сигнал улавливается микрофоном 4 и амплитуда сигнала с микрофона отображается на цифровом мультиметре 5. При увеличении длины трубки AДС будет снова наблюдаться амплитудное значение суммарного сигнала.

Порядок выполнения работы

1. Выставить на генераторе частоты 2 (см. рис. 1) первое значение частоты по заданию преподавателя (от 2000 до 6000 Гц).
2. Добиться минимума сигнала на мультиметре 5 (см. рис. 1). С этого места начинать отсчитывать расстояние d (см. рис. 2).
3. Медленно двигая трубку на расстояние d , посчитать число минимумов амплитуды звукового сигнала n по мультиметру. Занести результаты в табл. 1.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

Таблица 1

№	ν	d	n	λ	v	Δv	δv
	Гц	м	-	м	(м/с)	(м/с)	%
1							X
2							
3							
Ср.	X	X	X	X			
1							X
2							
3							
Ср.	X	X	X	X			
1							X
2							
3							
Ср.	X	X	X	X			

4. По формуле d / n найти расстояние между минимумами, что является половиной длины стоячей волны.

5. Найти длину волны по формуле

$$\lambda = 2 \frac{d}{n}$$

6. Рассчитать скорость звука по формуле

$$v = \lambda \cdot \nu$$

7. Повторить измерения 3 раза.

8. Найти среднее значение скорости.

9. Найти абсолютную (Δv) и относительную (δv) погрешности.

10. Повторить пункты 1–8 для других частот (по заданию преподавателя).

11. Найти средние значения скорости $\langle v \rangle$ и абсолютной погрешности $\langle \Delta v \rangle$ по формулам:

$$\langle v \rangle = \frac{\langle v_1 \rangle + \langle v_2 \rangle + \langle v_3 \rangle}{3}; \quad \langle \Delta v \rangle = \frac{\langle \Delta v_1 \rangle + \langle \Delta v_2 \rangle + \langle \Delta v_3 \rangle}{3}$$

12. Окончательный результат записать в виде:

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

$$v_{\text{экср}} = \langle v \rangle \pm \langle \Delta v \rangle \text{ (м/с)}.$$

Задание 2. Теоретическое определение скорости звука в воздухе при комнатной температуре.

4. Измерить с помощью термометра температуру воздуха в комнате.

5. По формуле (2) вычислить скорость звука $v_{\text{теор}}$, учитывая, что для воздуха $\gamma = 1,4$; $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

6. $R = 8,32 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

7. Сравнить $v_{\text{теор}}$ и $v_{\text{экср}}$ и рассчитать относительную погрешность по формуле:

$$\delta v = \frac{|\langle v \rangle - v_{\text{экср}}|}{v_{\text{экср}}} 100\%.$$

Контрольные вопросы

1. Что называется волной?
2. Какие волны называются продольными и поперечными?
3. Что называется периодом колебаний?
4. Что называется частотой колебаний?
5. Что называется длиной волны?
6. Связь длины волны и частоты.
7. Написать волновое уравнение.
8. Уравнение плоской волны.
9. Какие волны называются звуковыми?
10. От чего зависит скорость звука?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М18

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ С ПОМОЩЬЮ ТРУБКИ КУНДТА

Цель работы: найти скорость звука в воздухе при комнатной температуре.

Оборудование: звуковой генератор, трубка Кундта.

Описание экспериментальной установки

Основной частью установки (рис.1) является металлическая трубка Кундта с подвижным стержнем (П), закрытая на конце твердой стенкой (С). Электрические колебания подаются от звукового генератора (ЗГ) на динамик (Д), вмонтированный в поршень. В результате между стенкой и поршнем возбуждается стоячая звуковая волна.

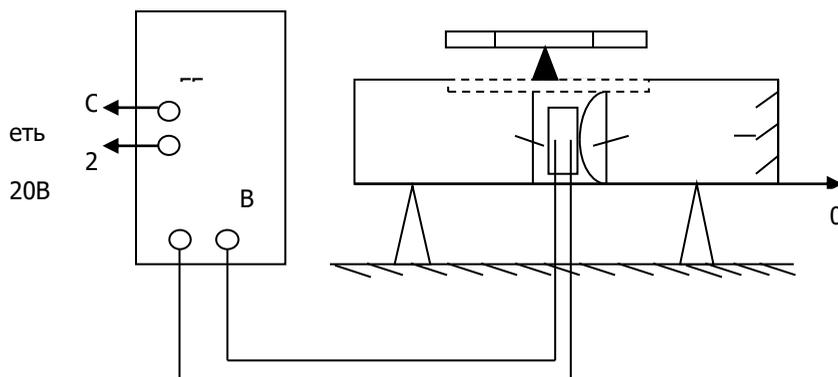


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

Задание 1. Экспериментальное определение скорости звука в воздухе.

1. Включить звуковой генератор и по заданию преподавателя установить на нем частоту ν в пределах от 1000 Гц до 3000 Гц.

2. Регулируя выходное напряжение звукового генератора, добиться отчетливого звучания динамика при **минимальной** громкости звука.

3. Плавнo перемещая поршень вдоль трубки, найти и записать в табл. 1 расстояния ΔL между ближайшими положениями поршня, при

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

которых громкость звука резко возрастает.

Таблица
1

№	ν	ΔL	λ	ν	$\Delta \nu$	$\delta \nu$
	Гц	м	м	м/с	м/с	%
1						X
2						
3						
Ср.	X	X	X			
1						X
2						
3						
Ср.	X	X	X			
1						X
2						
3						
Ср.	X	X	X			

4. Повторить измерения 3 раза.
5. Вычислить длину волны по формуле $\lambda = 2\Delta L$.
6. Рассчитать скорость звука по формуле

$$\nu = \lambda \cdot \nu.$$
7. Повторить измерения 3 раза.
8. Найти среднее значение скорости.
9. Найти абсолютную ($\Delta \nu$) и относительную ($\delta \nu$) погрешности.
10. Повторить пункты 1–8 для других частот (по заданию преподавателя).
11. Найти средние значения скорости $\langle \nu \rangle$ и абсолютной погрешности $\langle \Delta \nu \rangle$ по формулам:

$$\langle \nu \rangle = \frac{\langle \nu_1 \rangle + \langle \nu_2 \rangle + \langle \nu_3 \rangle}{3};$$

$$\langle \Delta \nu \rangle = \frac{\langle \Delta \nu_1 \rangle + \langle \Delta \nu_2 \rangle + \langle \Delta \nu_3 \rangle}{3}.$$

13. Окончательный результат записать в виде:

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

$$v_{\text{эксн}} = \langle v \rangle \pm \langle \Delta v \rangle \text{ (м/с)}.$$

Задание 2. Теоретическое определение скорости звука в воздухе при комнатной температуре.

1. Измерить с помощью термометра температуру воздуха в комнате.

2. По формуле $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ вычислить скорость звука $v_{\text{теор}}$, учитывая, что для воздуха $\gamma = 1,4$; $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$.

3. Сравнить $v_{\text{теор}}$ и $v_{\text{эксн}}$ и рассчитать относительную погрешность по формуле:

$$\delta v = \frac{|\langle v \rangle - v_{\text{эксн}}|}{v_{\text{эксн}}} 100\%.$$

Контрольные вопросы

1. Что называется волной?
2. Какие волны называются продольными и поперечными?
3. Что называется периодом колебаний?
4. Что называется частотой колебаний?
5. Что называется длиной волны?
6. Связь длины волны и частоты.
7. Написать волновое уравнение.
8. Уравнение плоской волны.
9. Какие волны называются звуковыми?
10. От чего зависит скорость звука?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1 / И.В. Савельев. – М.: Наука; СПб.: Лань, 2006.
2. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимов. – М.: Высш. шк., 2015.
3. Колебания и волны: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.