

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Дальневосточный федеральный университет

Школа естественных наук

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКА СОВРА 3**

**Учебно-методическое пособие
к лабораторной работе № 3.21р**

по дисциплине «физический практикум»
11200.62 – «физика»

Составители
Полищук Виталий Ефремович
Полищук Раиса Федоровна

Владивосток
Издательский дом Дальневосточного федерального университета
2013

Краткая теория работы. В физике приходится иметь дело с разными по своей природе волнами: механическими, тепловыми, электромагнитными и т.д. Несмотря на различную физическую природу этих волн, закономерности, которыми определяется их распространение, имеют между собой много общего и в основном могут быть изучены на примере механических волн. В физике волной называют всякое изменяющееся со временем пространственное чередование (колебание) максимумов и минимумов любой физической величины, например плотности вещества, напряженности электрического поля, температуры. **Процесс распространения колебаний в пространстве называют волной или волновым процессом.** В случае механических волн распространение колебаний обусловлено взаимодействием между частицами твердой, жидкой или газообразной среды. Если взаимосвязь между частицами среды осуществляется силами упругости, возникающими вследствие деформации среды при передаче колебаний от одних частиц к другим, то волны называются **упругими**. Наличие сплошной упругой среды является абсолютным требованием только для механических волн. К ним относятся звуковые, ультразвуковые, сейсмические и другие волны. Электромагнитные волны могут распространяться и в вакууме.

В зависимости от того, как колебания частиц среды ориентированы относительно направления их распространения, механические волны подразделяются на **поперечные и продольные**. Являются ли волны, распространяющиеся в среде, продольными или поперечными – зависит от упругих свойств среды. Если среда характеризуется упругими деформациями сдвига, то в такой среде будут распространяться поперечные волны, а если среда характеризуется упругими деформациями растяжения (сжатия), то в такой среде будут распространяться продольные волны. В жидкости и газе распространяются только продольные волны. В твердых телах продольные волны могут существовать наряду с поперечными. Скорость распространения продольных волн, определяется модулем Юнга E для данной среды и ее плотностью ρ , а для поперечных волн – модулем сдвига G и плотностью среды ρ : $V_{||} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, $V_{\perp} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$.

Продольные и поперечные механические волны – частные случаи волнового процесса. Есть волны, в которых колебательное движение складывается из одновременных продольных и поперечных смещений (волны вздутия, поверхностные волны – волны на поверхности озер, морей и океанов).

Волны могут иметь различную форму. Одиночной волной, или **импульсом волны**, называется сравнительно короткое возмущение, не имеющее регулярного характера (рис.1,а). Ограниченный ряд повторяющихся возмущений называется **цугом волны** (рис.1,б). Особое значение в теории волн имеет представление о гармонических волнах, т.е. бесконечной синусоидальной (косинусоидальной) волне, в которой все изменения состояния среды, при распространении волны, происходят по закону синуса или косинуса (рис.1, в). Обычно понятие цуга относятся к отрезку синусоиды.

Область пространства, в котором при распространении волн частицы

среды совершают колебания, называют **волновым полем**. Геометрическое место точек, до которых к некоторому моменту времени дошло колебание, называется **фронтом волны**, а геометрическое место точек среды, колеблющихся в

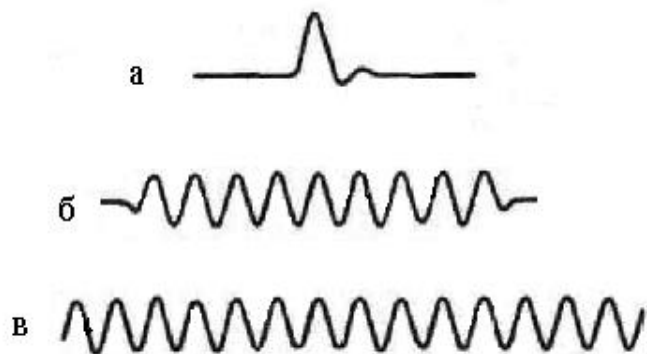


Рис. 1

одинаковых фазах, называется **волновой** (или **фазовой**) **поверхностью**. Фронт волны представляет собой поверхность, которая отделяет часть пространства, уже вовлеченного в волновой процесс, от области, в которой колебания еще не возникли. Очевидно, что фронт волны является частным случаем волновой поверхности. В отличие от фронта волны, волновых поверхностей существует бес-

конечное множество, в то время как волновой фронт в каждый момент времени только один. Волновые поверхности остаются неподвижными (они проходят через положения равновесия частиц, колеблющихся в одинаковой фазе), а волновой фронт все время перемещается. Форма волновых поверхностей (фронта волны) определяет тип волн. В простейших случаях они имеют форму плоскости или сферы. Соответственно волна называется **плоской** или **сферической**.

Уравнение волны. Уравнением волны называется выражение, связывающее смещение Y колеблющейся частицы среды с ее координатами x, y, z и временем t :

$$Y = Y(x, y, z, t). \quad (1)$$

Эта функция должна быть периодической как относительно времени t , так и относительно координат x, y, z . Периодичность по времени вытекает из того, что Y описывает колебания частицы с координатами x, y, z . Периодичность по координатам следует из того, что точки, отстоящие друг от друга на определенном расстоянии λ , называемом длиной волны, колеблются одинаковым образом.

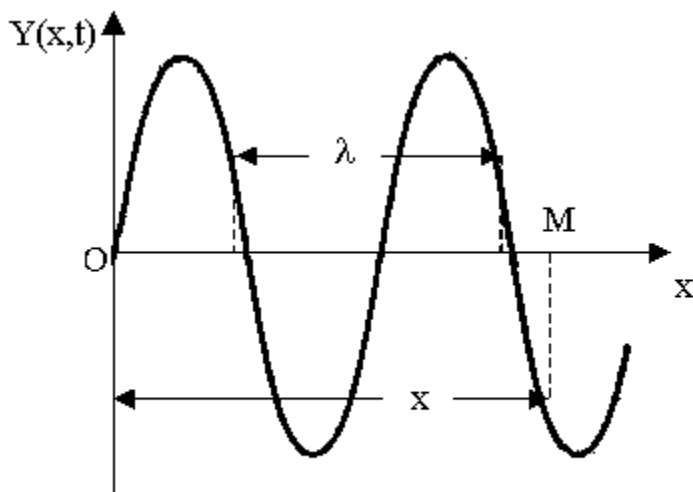


Рис. 2

Найдем эту зависимость для случая, когда в среде распространяется плоская синусоидальная волна в направлении оси x , т.е. найдем **уравнение волнового луча**. В этом случае, для продольных волн смещение колеблющихся точек среды $Y(x,t)$ параллельно оси x , а для поперечных – перпендикулярно.

В этом случае, для продольных волн смещение колеблющихся точек среды $Y(x,t)$ параллельно оси x , а для поперечных – перпендикулярно.

Пусть в начале координат (точка О, рис. 2) находится осциллятор (источник) гармонических колебаний. Колебания такого источника имеют вид: $Y(0,t) = A\sin\omega t$, или $Y(0,t) = A\cos\omega t$, где A -амплитуда гармонических колебаний (наибольшее отклонение колеблющейся частицы от положения равновесия), ω - циклическая частота колебаний, t – время, при котором наблюдается данное смещение $Y(0,t)$ колеблющейся точки от положения равновесия. Если точка О совершает колебательное движение в упругой среде, то в среде будут распространяться эти колебания и через время τ они достигнут точки М, удаленной от источника колебаний на расстояние x (рис. 2). При этом, колебания частиц среды имеют ту же частоту ω , что и колебания источника волн. В точке М смещение $Y(x, t)$ колеблющейся точки в любой момент времени t будет точно таким, каким оно было в точке О в момент времени $(t-\tau)$, т.е.

$$Y(x, t) = Y(O,(t-\tau)) = A\sin\omega(t-\tau). \quad (2)$$

Если волна распространяется в среде со скоростью V , то время $\tau = \frac{x}{V}$ и тогда уравнение **бегущей плоской волны** в окончательном виде примет вид:

$$Y(x, t) = A\sin\omega(t - \frac{x}{V}), \quad (3)$$

где $Y(x, t)$ – смещение колеблющейся точки волнового поля, удаленной от источника волны на расстояние x , в момент времени t ; A – амплитуда волны; ω - циклическая частота волны, которая связана с периодом волны T и частотой ν - соотношениями: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$; выражение $\omega(t - \frac{x}{V})$ – называется фазой волны, \sin которой показывает, какую долю от амплитуды имеет смещение волны в точке x в момент времени t .

Если бы в точке О колебания совершались по закону $Y(0,t) = A\cos\omega t$, то уравнение бегущей плоской волны имело бы вид

$$Y(x, t) = A\cos\omega(t - \frac{x}{V}). \quad (4)$$

Расстояние, на которое определенная фаза колебаний распространяется за время, равное одному периоду колебаний, называется длиной волны λ , при этом $\lambda = VT$. Так как период связан с **частотой колебаний** ν соотношением $T = \frac{1}{\nu}$, то скорость волны связана с длиной волны и частотой: $V = \lambda\nu$.

Под скоростью распространения волны V подразумевается ее **фазовая скорость**, т.е. скорость распространения данной фазы **монохроматической** волны (волны, имеющей одну частоту). Наряду с фазовой скоростью волн существует так называемая **групповая скорость**. Групповая скорость относится к случаю распространения волн сложного (не синусоидального) характера в среде, где фазовая скорость распространения синусоидальных волн зависит от их частоты. Зависимость фазовой скорости волн от их частоты называется **дисперсией волн**. Всякая реальная волна представляет собою наложение (группу) бесконечных синусоид (косинусоид), и скорость ее распространения в диспергирующей среде отличается от фазовой скорости слагаемых волн.

Эта скорость распространения реальных волн в диспергирующей среде и называется групповой скоростью.

Волновое уравнение. Уравнение любой волны представляет собой решение некоторого дифференциального уравнения движения, называемого волновым уравнением. Используя уравнение (3), можно вывести дифференциальное уравнение, описывающее распространение в среде волнового процесса. Для этого продифференцируем уравнение (3) дважды по каждой из переменных, т.е. по координате x и времени t .

$$\frac{\partial Y}{\partial x} = A\omega \cdot \left(-\frac{1}{V}\right) \text{Cos}\omega\left(t - \frac{x}{V}\right), \quad (6) \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} = -A \omega^2 \cdot \left(-\frac{1}{V}\right)^2 \text{Sin}\omega\left(t - \frac{x}{V}\right), \quad (7)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = A\omega \text{Cos}\omega\left(t - \frac{x}{V}\right), \quad (8) \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = -A \omega^2 \text{Sin}\omega\left(t - \frac{x}{V}\right). \quad (9)$$

При сравнении уравнений (7) и (9) видно, что их правые части отличаются множителем $\left(-\frac{1}{V}\right)^2$. Откуда следует уравнение :

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} = \left(\frac{1}{V}\right)^2 \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} \quad (10)$$

Это дифференциальное уравнение (10) называется **волновым уравнением**. Оно описывает распространение **незатухающего** волнового процесса в среде (в данном случае при условии, что Y не зависит от y и z). В случае, когда $Y=Y(x, y, z, t)$, это уравнение примет вид

$$\left(\frac{1}{V}\right)^2 \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = \left\{ \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 Y}{\partial z^2} \right\}. \quad (11)$$

Всякий раз, когда та или иная физическая величина оказывается зависящей от времени и координат и при этом ее частные производные связаны между собой волновым уравнением, можно утверждать, что процесс изменения этой величины представляет волну, распространяющуюся со скоростью V .

Волны, частоты колебаний частиц в которых лежат в пределах от 16 до 20000 Гц называются звуковыми или акустическими. Механические колебания с частотой выше 20 кГц называются ультразвуковыми. В отличие от звуковых колебаний, они не воспринимаются человеческим ухом (как и колебания с частотами ниже 16 Гц – инфразвуковые). Ультразвуковые колебания, как и звуковые, могут распространяться в твердых, жидких и газообразных веществах.

В воздухе, как и во всяком другом газе, колебания распространяются в виде продольных волн. Достигнув нашего органа слуха – уха, колебания частоты от 20 до 20000 Гц воспринимаются им и только по этому свойству они выделены в особую группу звуковых или акустических колебаний (волн). Колебания 20 – 20000 Гц связаны только с физиологическими особенностями человеческого органа слуха. С физической же точки зрения эти колебания ничем специфическим не отличаются от колебаний до 20 Гц и более 20000 Гц. Явления

связанные с возникновением и распространением звуковых волн называются акустическими явлениями.

Целью данной лабораторной работы является экспериментальное определение скорости звука в воздухе при комнатной температуре.

В рассматриваемой лабораторной работе скорость звука в воздухе определяется методом непосредственного измерения времени t распространения звуковой волны от источника колебаний до приемника и расстоянию между ними. Время распространения звука от источника до приемника определяется с помощью блока СОBRA 3. Скорость звука определяется по формуле $v = \frac{S}{t}$ (12), где S – расстояние между источником и приемником колебаний, t – время прохождения звуком расстояния S . Расстояние S определяется с помощью рулетки. На рисунке 3 показан внешний вид экспериментальной установки.

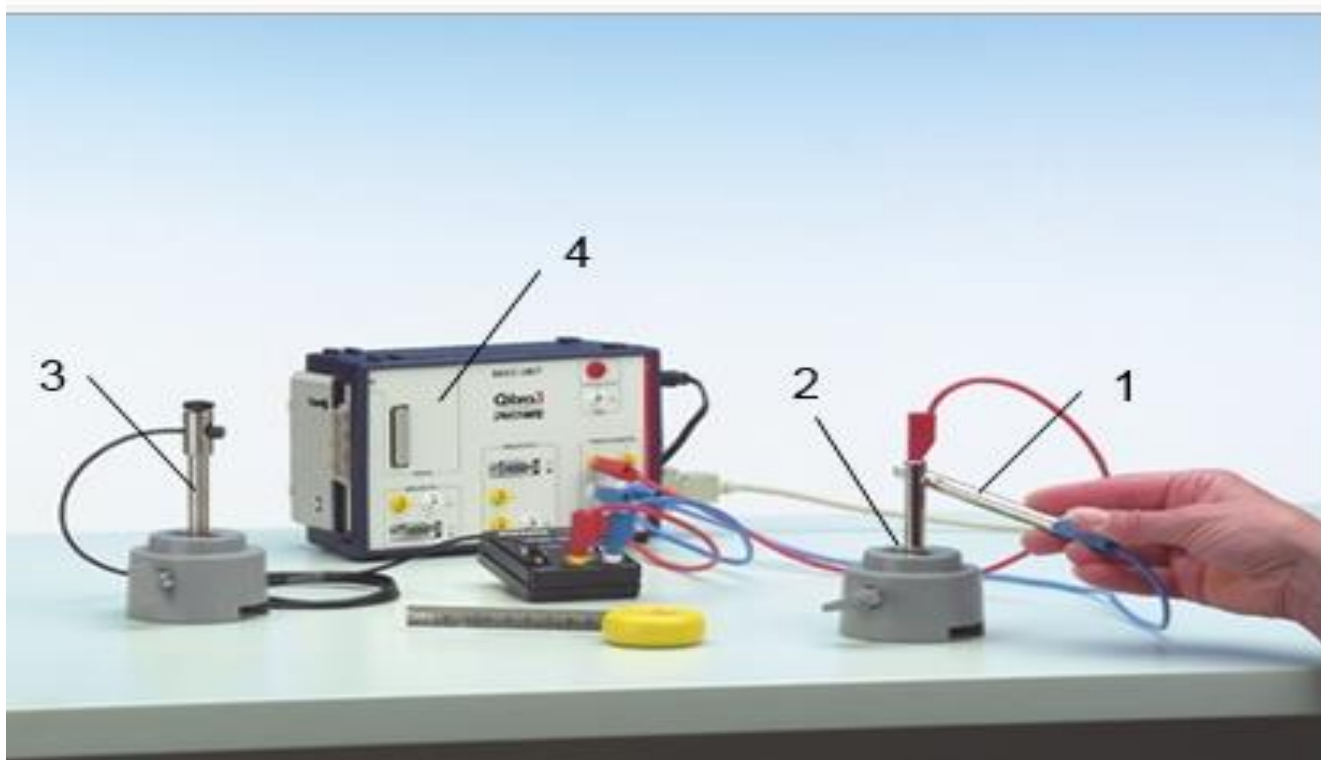


Рис.3.

Принцип работы экспериментальной установки.

Звуковой импульс создается путем удара двух металлических стержней (1 и 2, рис.3) друг о друга. Во время удара создается электрический контакт и блок СОBRA 3 запускает таймер (Timer 1). В момент достижения звуковой волной мембраны микрофона, звуковой сигнал будет принят микрофоном (3) и в этот же момент выключается таймер. Определив расстояние между источником сигнала (стойка 2) и микрофоном (3) и время t прохождения звуком расстояния S , по формуле (12) рассчитывается скорость звука в воздухе.

Порядок выполнения лабораторной работы.

- 1.Подсоедините компьютер к блоку СОБРА 3.
- 2.Подключите блок СОБРА 3 и компьютер к электрической цепи 220 в
- 3.На компьютере запустите программу Timer/Counter и установите на компьютере параметры, показанные на рис.4.
- 4.Между источником (2) и приемником (3) звука установите некоторое фиксированное расстояние 20-30 см.
- 5.Свободным стержнем 1 (рис.3) слегка ударьте по зажатому стержню (2) .
Определите по компьютеру время t прохождения звуком расстояния S .
- 6.Действия 4-5 проделайте для 7-9 различных расстояний S (от 20 до 120 см).
Данные занести в таблицу №1.
- 7.По результатам измерений определите среднее значение скорости звука в воздухе и оцените погрешность измерений.
- 8.Согласно табличных данных скорость звука в воздухе при 0°C равна $v_0=331,45 \text{ м/с}$. Температурная зависимость скорости звука определяется соотношением: $v=v_0\sqrt{\frac{T}{273}} \dots (13)$.

Определите температуру в лаборатории и по формуле (13) рассчитайте скорость звука при данной температуре. Результат сравните со скоростью звука, найденной экспериментально.

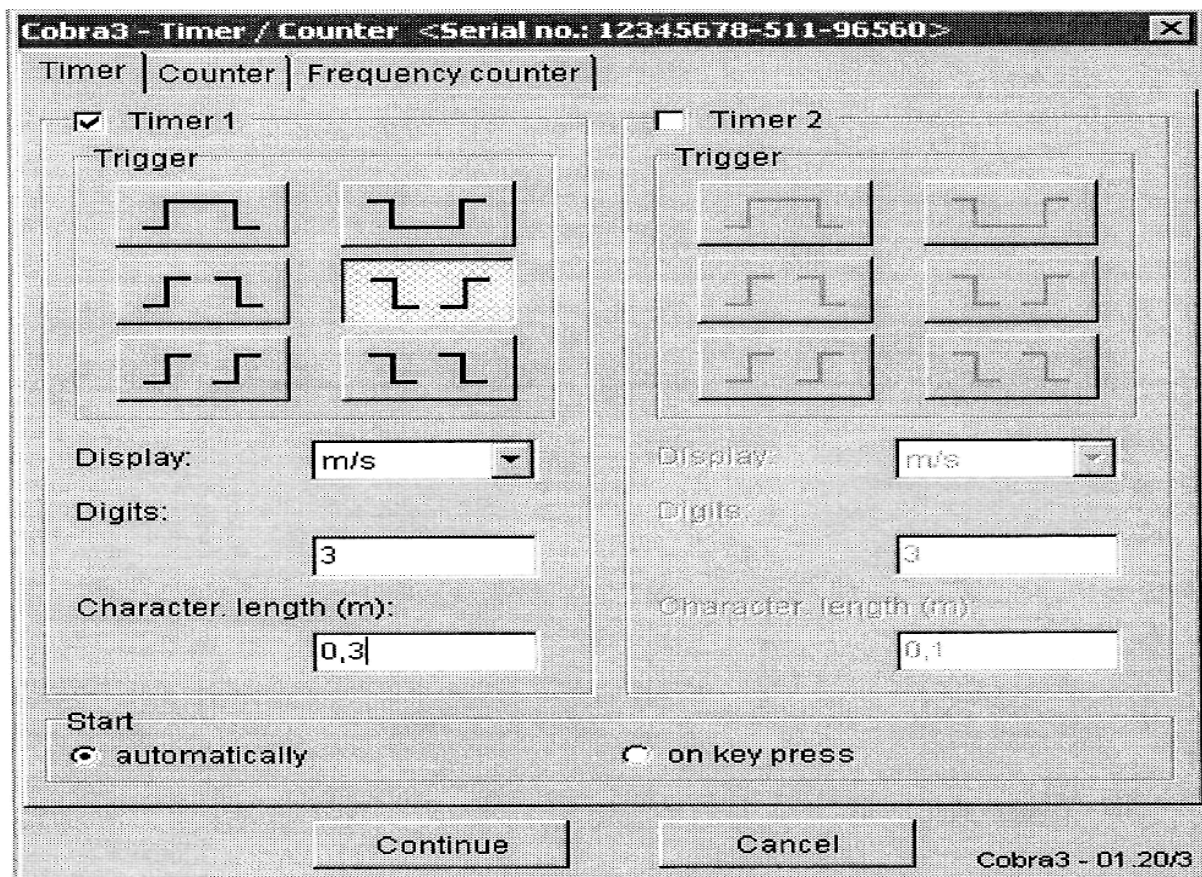
ПРИМЕЧАНИЕ :

- 1.При проведении измерений необходимо обеспечить равную высоту точки удара и точки расположения микрофона, что бы быть уверенным в том, что звук прошел действительно то расстояние, которое было измерено.
- 2.Расстояние S измеряется от передней стороны капсулы микрофона до стержня (2) зажатого в круглой стойке (рис.3).
- 3.Во время опыта не должно быть никаких фоновых шумов, так как они могут быть зарегистрированы микрофоном, что приведет к ложным данным измерения. Наличие фоновых шумов во время измерения проявляется в виде слишком низких или слишком высоких значений измеренной скорости.

Таблица №1

№пп	$S_i, \text{ м}$	$t_i, \text{ с}$	$V_i, \text{ м/с}$	$V_{\text{ср.}} \text{ м/с}$	ΔV_i	$(\Delta V_i)^2$
1						
2						
.....						
7-9						

Рис.4 Окно программы для измерения скорости звука.



Вопросы для самоподготовки к лабораторной работе № 3.21

1. Что называется волной?
2. Что является носителем механической волны?
3. Какие волны называются продольными? Поперечными?
4. В какой среде распространяются продольные волны? В какой поперечные?
5. Как поперечная и продольная механические волны связаны со свойствами среды?
6. Что такое фронт волны? Волновая (фазовая) поверхность?
7. Какой вид имеет бегущая гармоническая механическая волна? Все величины пояснить.
8. Что называется длиной волны?
9. Как скорость волны связана с длиной волны и ее частотой? С длиной волны и периодом?
10. Какие волны называются плоскими, какие сферическими? Что является источником таких волн?
11. Какой вид имеет волновое уравнение для волны, распространяющейся вдоль оси X ?
12. Какие волны называются звуковыми (акустическими)? Ультразвуковыми? Инфразвуковыми? Их частотный диапазон.
13. Чему равна скорость звука при нормальных атмосферных условиях?
14. Какое результирующее колебание возникает (в общем случае) при сложении двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний одинаковой частоты?
15. От чего зависит вид траектории результирующего колебания при сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний с одинаковыми амплитудами и периодом?
16. **Получите волновое уравнение.**
17. **Получите уравнение бегущей плоской синусоидальной волны.**