



Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)»

Факультет: «Фундаментальные науки»
Кафедра «Физика»

Бункин Н.Ф.
Инфимовский Ю.Ю.

Лабораторная работа Т-104

Определение скорости звука в воздухе и отношения c_p/c_v методом акустического резонанса

Методическое руководство

Определение скорости звука в воздухе и отношения c_p/c_v методом акустического резонанса

Цель работы: изучение акустического резонанса и вычисление показателя адиабаты воздуха на основе измерения скорости распространения звука.

1. Краткое теоретическое введение

Распространение звуковых волн в воздушной среде

В воздушной среде звук распространяется в виде механических волн, образованных совокупным колебательным движением молекул. В случае, когда колебательное движение совершается вдоль направления движения, волна называется продольной. При колебательном движении в перпендикулярном направлении – поперечной. Данная работа ограничивается рассмотрением только продольной звуковой волны.

Волновая поверхность определяется как геометрическая совокупность точек пространства, колеблющихся одинаково, т.е. в одной фазе. Скоростью звука c называется скорость движения волновой поверхности (волнового фронта) в пространстве. Исходя из этого определения, скорость звука равна:

$$c = \lambda/T = \lambda \cdot \nu \quad (1)$$

где λ – длина волны, T – период колебаний, ν – частота колебаний. Известно из опыта, что скорость звуковой волны слабо зависит от частоты колебаний. Существуют разные способы измерения скорости звука. В данной работе используется метод, основанный на формировании стоячих звуковых волн в трубе. Для объяснения этого метода рассмотрим распространение продольной волны давления газа вдоль оси x , совпадающей с осью трубы.

Введем функцию, описывающую давление в точке с координатой x в произвольный момент времени t : $p(x,t)$. Предполагая, что изменения давления носят гармонический характер, в точке с координатой $x = 0$ функция $p(x,t)$ запишется в виде:

$$p(0,t) = p_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

где φ – начальная фаза колебаний, p_0 – амплитуда волны, ω – циклическая частота.

Колебание давления газа в произвольной точке $x > 0$ будут отставать от колебаний в точке $x = 0$ на время $\tau = x/c$, где c – скорость волны. Предполагая, что распространяющаяся волна является незатухающей, давление в точке с координатой x будет описываться соотношением:

$$p(x,t) = p_0 \cdot \cos[\omega(t - \frac{x}{c}) + \varphi] \quad (3)$$

Выражение $\omega(t - \frac{x}{c}) + \varphi$ называется фазой волны. Оно описывает состояние системы в точке с координатой x в момент времени t . Если зафиксировать фазу в некотором постоянном значении, то уравнение

$$\omega(t - \frac{x}{c}) + \varphi = \text{const} \quad (4)$$

будет описывать временную зависимость координаты $x(t)$, в которой фаза будет иметь выбранное постоянное значение. Скорость звука определяется как скорость перемещения фазы dx/dt . Для ее нахождения достаточно продифференцировать уравнение (4): $dt - \frac{dx}{c} = 0$. Отсюда скорость звука $c = \frac{dx}{dt}$. Эту скорость называют также фазовой скоростью. Таким образом, измерение параметров формы волны позволяет получить скорость ее распространения в среде.

Полученное соотношение (3) обычно записывается с использованием волнового числа $k = \omega/c$. В этих обозначениях:

$$p(x,t) = p_0 \cdot \cos(\omega t - kx + \varphi) \quad (5)$$

Укажем некоторые важные особенности волны, описываемой формулой (5):

- волна имеет незатухающий характер, т.е. амплитуда p_0 не зависит от координаты x ;
- волна распространяется в положительном направлении оси x ;
- волна, распространяющаяся в противоположном направлении вдоль оси x будет описываться соотношением:

$$p(x,t) = p_0 \cdot \cos(\omega t + kx + \varphi) \quad (6)$$

При достижении звуковой волной границы раздела двух сред (воздух – твердое тело) происходит отражение ее от этой границы и отраженная волна движется в воздухе в противоположном направлении. Сдвиг фаз между падающей и отраженной волнами давления при отражении равен нулю. Падающая и отраженная волны взаимодействуют (интерferируют) друг с другом с образованием в общем случае достаточно сложных колебательных движений. Однако в некоторых случаях удается описать сложение этих волн в простых выражениях. Действительно, если начальную фазу колебаний выбрать равной $\varphi = 0$, то выражения, описывающие падающую p_1 и отраженную p_2 волну (в предположении, что коэффициент отражения равен 100%) запишутся следующим образом:

$$p_1(x,t) = p_0 \cdot \cos(\omega t - kx) \quad (7)$$

$$p_2(x,t) = p_0 \cdot \cos(\omega t + kx)$$

Результирующая волна будет описываться суммой $p_1 + p_2$:

$$p_1 + p_2 = 2p_0 \cdot \cos(kx) \cdot \cos(\omega t) \quad (8)$$

Соотношение (8) описывает стоячую волну. Эта волна характерна тем, что ее амплитуда $2p_0 \cdot \cos(kx)$ не зависит от времени и определяется только координатой x . В точках с координатами $x_n = (2n+1) \cdot \frac{\lambda}{4}$ ($n = 0; 1; 2; 3; \dots$) амплитуда стоячей волны равна нулю. Эти точки называются узлами стоячей волны.

В точках с координатами $x_n = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ ($n = 0; 1; 2; 3; \dots$) амплитуда равна максимальному значению $2p_0$, эти точки называются пучностями стоячей волны. Расстояние между соседними узлами или соседними пучностями равно $\frac{\lambda}{2}$.

Стоячую волну можно получить в столбе воздуха, заключенного внутри трубы, если на одном торце находится генератор звуковых колебаний, а другой торец является отражающей поверхностью. Для получения такой волны длину трубы необходимо подобрать из условия:

$$L = m \cdot \frac{\lambda}{2}, (m = 1; 2; 3; \dots) \quad (9)$$

При этом отражение происходит не только на закрытом торце трубы, но и на том торце, где установлен динамик. Амплитуда колебаний в пучности в несколько раз (существенно больше, чем в 2 раза) превосходит амплитуду генерируемой динамиком волны и определяется потерями при распространении волны и отражениях. Поскольку фаза колебаний давления при отражении от твердой стенки не меняется, на поршне всегда формируется пучность давления. Именно ее и регистрирует встроенный в поршень микрофон датчика звука.

Из соотношения (9), называемого еще условием возникновения звукового резонанса, следует, что максимальная амплитуда колебаний реализуется каждый раз, когда изменение длины трубы ΔL соответствует половине длины волны:

$$\Delta L = L_{m+1} - L_m = \frac{\lambda}{2}(m+1 - m) = \frac{\lambda}{2} \quad (10)$$

Определив длину волны на основе соотношения (10) или исходя из того, что расстояние между соседними узлами или пучностями также равно $\frac{\lambda}{2}$, можно, зная частоту звукового генератора ν , получить скорость звука:

$$c = \lambda \nu = 2 \frac{\lambda}{2} \nu \quad (11)$$

Определение отношения удельных теплоемкостей

При прохождении звуковой волны в воздушной среде локальное давление и локальная температура газа претерпевают изменения. Для волн звукового диапазона частот кратковременные сжатия и растяжения газа можно считать адиабатическими, т.е. происходящими без теплообмена с окружающей средой. Изменение параметров газа в адиабатическом процессе описывается уравнением Пуассона:

$$PV^\gamma = \text{const} \quad (12)$$

где P – давление газа, V – объем газа, γ – показатель адиабаты, равный отношению удельной теплоемкости газа при постоянном давлении c_p к удельной теплоемкости газа при постоянном объеме c_v : $\gamma = c_p / c_v$. Для всех газов этот показатель находится в пределах $1 < \gamma < 2$. Величина показателя адиабаты определяется свойствами газа.

С другой стороны, скорость распространения звука в газовой среде также зависит от свойств газа, что позволяет установить соотношение между скоростью и показателем адиабаты. Рассмотрим в упрощенном виде вывод такого соотношения.

В результате распространения звуковой волны, давление $P(x,t)$ в разные моменты времени в разных точках пространства претерпевают изменения: $P(x,t) = P_0 \pm \Delta P$ за счет локального разрежения и сжатия газа. Обычно эти изменения много меньше средних значений $\Delta P \ll P_0$. Давление в замкнутом объеме всегда стремится к выравниванию. Этот процесс происходит за счет перемещения газа из области более высокого давления в область с более низким давлением. Через воображаемую площадку площадью S , ориентированную параллельно фронту волны, за время Δt переместится масса газа Δm равная:

$$\Delta m = \Delta \rho \cdot S \cdot c \cdot \Delta t \quad (13)$$

где ρ – плотность газа, $\Delta \rho$ – разница в плотностях в области сжатия и разрежения, c – скорость распространения волны давления. Такое перемещение производится силой $F = \Delta P \cdot S$, образованной разницей в давлениях ΔP . Согласно второму закону Ньютона:

$$\Delta m \cdot c = F \cdot \Delta t \quad (14)$$

Используя эти соотношения, можно получить явное выражение для скорости в виде: $c^2 = \Delta P / \Delta \rho$, или в более корректной дифференциальной форме:

$$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} \quad (15)$$

Соотношение между скоростью c и показателем γ можно получить дифференцированием уравнения Пуассона (12):

$$V^\gamma dP + \gamma P V^{\gamma-1} dV = 0$$

Отсюда имеем:

$$\frac{dP}{dV} = -\gamma \frac{P}{V}$$

Далее, сделав простые преобразования: $V = m/\rho$; где m – масса газа, и

$dV = -(m/\rho^2)d\rho$, можно получить явное выражение для $dP/d\rho$:

$$\frac{dP}{d\rho} = \frac{dP}{dV} \cdot \frac{dV}{d\rho} = \left(-\gamma \frac{P}{V}\right) \cdot \left(-\frac{m}{\rho^2}\right) = \gamma \frac{P}{\rho}$$

В итоге получаем:

$$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} \quad (16)$$

Плотность ρ в полученном соотношении (16) удобно выразить через молярную массу газа μ и его температуру T , используя уравнение Клайперона – Менделеева. В результате, окончательное соотношение между скоростью c и показателем адиабаты γ выглядит следующим образом:

$$\gamma = \frac{c^2 \mu}{RT} \quad (17)$$

где R – универсальная газовая постоянная. Таким образом, измерение скорости распространения звука в газовой среде позволяет (при известной температуре) определить показатель адиабаты газа.

2. Описание лабораторной установки.

Блок – схема лабораторной установки представлена на Рис. 1.

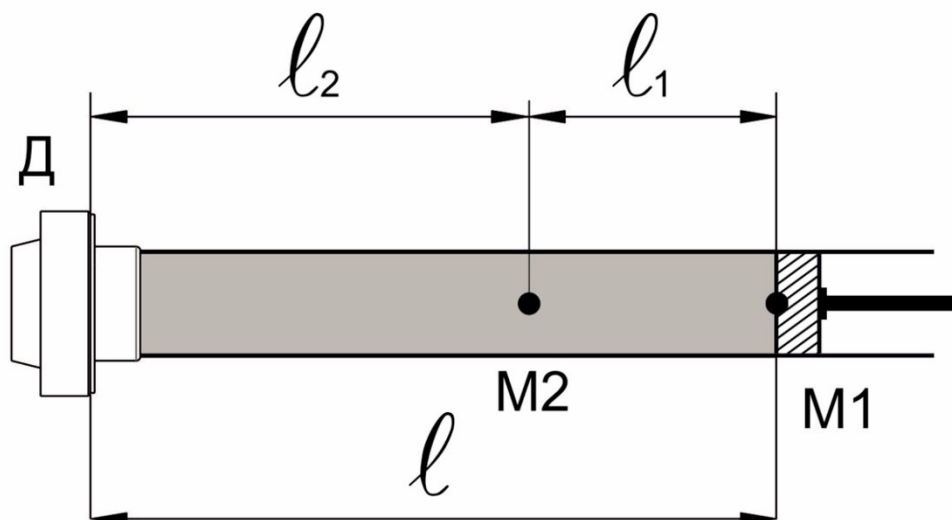


Рис. 1

Экспериментальная установка представляет собой прозрачную трубу с внутренним диаметром 46 мм, на одном из торцов которой установлен динамик D . Вставленный в трубу поршень может перемещаться вдоль трубы, для его установки в требуемую точку используется рукоятка-толкатель. Один из микрофонов $M1$ закреплен в поршне заподлицо с его поверхностью, при этом второй микрофон $M2$ находится в трубе между динамиком и поршнем и может перемещаться в этой области. Вставленный в поршень микрофон $M1$ имеет красную метку (красное кольцо на кабеле около микрофона), его сигнал прорисовывается на экране линией красного цвета. Микрофон $M2$ имеет синюю метку (установлена на кабеле вплотную к корпусу датчика), его сигнал соответственно представлен на экране линией синего цвета. На трубе имеется шкала, с помощью которой определяется положение поршня L (максимальная длина рабочей области трубы составляет 62 см) и положение микрофона $M2$ (координаты l_1 и l_2), который передвигается внутри трубы с помощью рукоятки с магнитной фиксацией. Внешний вид установки представлен на Рис. 2.

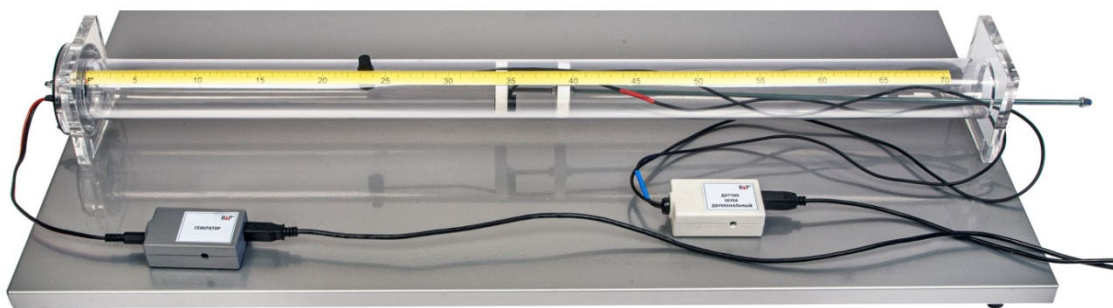


Рис.2

Динамик (генератор звуковых волн) подключается к генератору, а генератор, в свою очередь, к USB-разъему компьютера. Двухканальный датчик звука с двумя микрофонами М1 и М2 также подключен к USB-разъему компьютера с помощью соединительного кабеля.


Управление режимом работы генератора, настройка датчика звука, регистрация данных и их представление на экране обеспечивается программой «Практикум по общей физике».


2. Подготовка к выполнению работы

Настройка работы динамика и датчика звука

1. Подключите генератор к USB-порту компьютера и подключите к нему динамик.

2. Подключите к USB-порту компьютера датчик звука.

3. Запустите программу «Практикум по общей физике» и в разделе «Молекулярная физика» выберите сценарий «Измерение отношения C_p/C_v воздуха методом акустического резонанса» (кнопка .

4. Настройка режима работы динамика выполняется в окне программы «Звуковой генератор», вызов которой осуществляется по нажатию экранной кнопки с символом  верхнего меню программы (Рис. 3). Устанавливается вид сигнала (в данной работе используется только «Синусоидальный»),

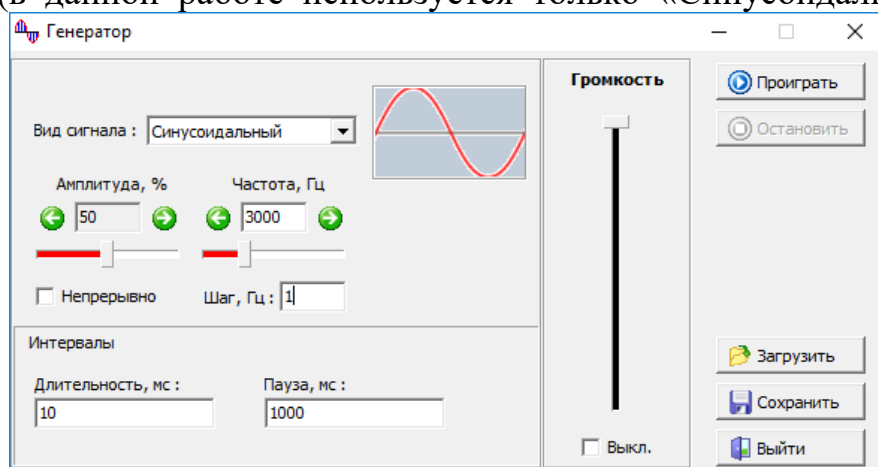



Рис. 3


амплитуда сигнала и его частота. Амплитуда и частота сигнала имеют грубую регулировку (движок) и плавную (стрелки). Величина изменения частоты при нажатии на стрелку задается в окне «Шаг». Переключение режима работы – непрерывный или импульсный осуществляется установкой галочки в чек-боксе «Непрерывно». Для импульсного режима работы устанавливается длительность импульсов и промежутков времени между ними («Пауза»).

Движок «Громкость» должен находиться в положении «Максимум». Обратите внимание, что регулятор громкости на компьютере, вызываемый

при нажатии на расположенную в области уведомлений на панели задач кнопку «Динамики », должен быть в положении «максимум».

При выборе параметров, представленных на рис. 3, генератор будет формировать сигналы длительностью 10 мс с перерывом 1с.

При проведении эксперимента, если амплитуда регистрируемого сигнала выходит за вертикальные границы экрана, необходимо уменьшать громкость звучания динамика.

5. Настройка работы датчика звука проводится с помощью меню, вызов которого осуществляется нажатием экранной кнопки  в окне регистрации (Рис. 4). Окно настроек датчика предусматривает возможность изменения следующих параметров:

- режим регистрации (автоматический, ждущий и однократный);
- развертка по оси времени (от 0,1 мс/дел до 100 мс/дел)
- отображение сигнала в каждом из двух каналов, положение нулевой линии в каналах, отображение нулевой линии (установка галочек в соответствующих окнах);

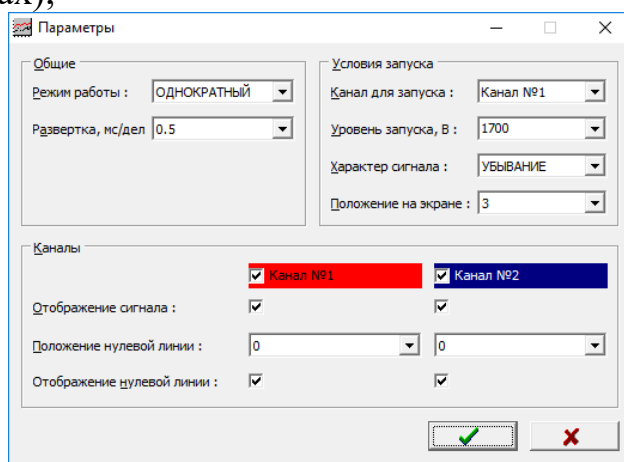


Рис. 4

При регистрации в ждущем или однократном режиме в установках датчиков выбираются следующие условия запуска:




- канал №1 – для микрофона с красной меткой на кабеле и красной линией сигнала на экране, канал №2 – для микрофона с синей меткой на кабеле и синим цветом сигнала на экране;
- уровень запуска (уровень сигнала в относительных единицах) при достижении которого запустится регистрация;
- характер сигнала (возрастание или убывание в момент достижения условия запуска по уровню сигнала);
- положение на экране по оси времени (ось X) точки, в которой сигнал окажется равным выбранному в окне «Уровень запуска» (на канале, выбранном в качестве запускающего).

В данной работе при регистрации данных первый канал датчика звука (микрофон с красной меткой на кабеле) используется в качестве запускающего канала. Это означает, что данные начинают регистрироваться и выводиться на экран, как только параметры сигнала по данному каналу

совпадут с заранее заданными условиями. Если по условиям опыта нужно регистрировать сигнал с подвижного микрофона до прихода звука к поверхности поршня, в настройках программы («положение на экране») устанавливается, с каким опережением (относительно наступления условий запуска) нужно начинать регистрацию данных.

Выбор уровня запуска осуществляется исходя из того, что размер экрана по вертикали составляет 4096 относительных единиц, нулевая линия проходит на уровне 2048. Если выбрать уровень запуска близко к нулевой линии (в пределах 1950 – 2150), то датчик начинает реагировать на посторонние шумы, если наоборот, установить уровень запуска вдали от нулевой линии (более 3000 и менее 1000), то при небольшом уровне сигнала регистрация данных не начнется.

Ознакомление с интерфейсом программы и методикой измерений

1. Запустите программу «Практикум по общей физике» и в разделе «Молекулярная физика» выберите сценарий «Измерение отношения C_p/C_v воздуха методом акустического резонанса» (кнопка ). Вызовите на экран меню генератора и выполните его настройки: установите частоту 3кГц и амплитуду сигнала 60%. Убедитесь, что в настройках этого канала снят флажок «Непрерывно» и установлены длительность 10мс и пауза 1000мс.
2. Установите в меню настроек датчика звука (вызывается на экран нажатием экранной кнопки ) параметры, аналогичные указанным на Рис. 4. Обратите внимание, что в пункте «Положение на экране», стоит цифра «3», выполнение которой означает, что вывод на экран сигнала начинается за $3 \times 0,5 \text{ мс} = 1,5 \text{ мс}$ (3 клетки горизонтальной развертки) до выполнения условий запуска на сигнале красного цвета.
3. Установите поршень в крайнее правое положение ($L = 69 \text{ см}$), а подвижный микрофон – примерно на одинаковом расстоянии от динамика и поршня ($l_1 \approx l_2$).
4. Запустите регистрацию данных нажатием экранной кнопки  и получите на экране осциллограмму, аналогичную показанной на Рис. 5.

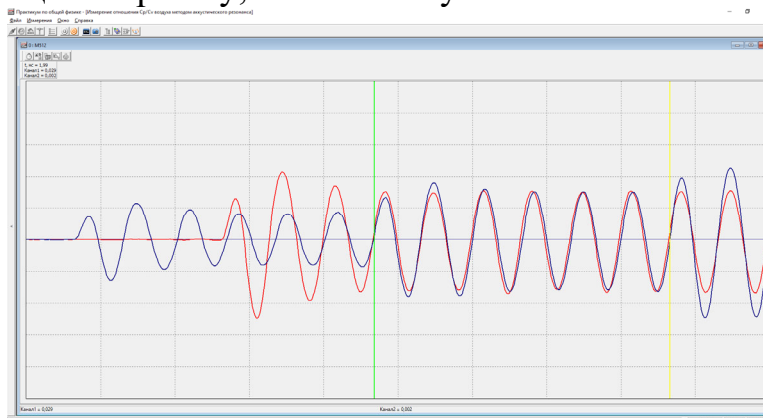





Рис.5

Остановите измерения, нажав кнопку «Стоп» .

Вид полученных осциллограмм объясняется следующим образом. Звуковая волна, инициированная динамиком, движется слева направо, достигает подвижного микрофона М2, который регистрирует ее в виде электрического сигнала (синяя осциллограмма на экране). В этот начальный период времени сигнал с микрофона М1 отсутствует, поскольку волна еще не достигла поршня. При достижении волной поршня появляется вторая осциллограмма, обусловленная сигналом с микрофона М1 (красная осциллограмма на экране). Полученные кривые отражают временной характер давления звуковой волны в точках расположения микрофонов с координатами l_2 и l : $p(l_2, t)$ и $p(l, t)$.

Сигнал с микрофона М2 (синяя линия) остается постоянным до того, как к нему возвращается волна, отраженная от поршня. Этот момент изменения амплитуды колебаний на осциллограмме отмечен зеленым маркером. Следующее изменение амплитуды сигнала с М2 происходит тогда, когда к нему приходит передний фронт волны, отраженный от стенки с динамиком и сложившийся с волной, которую продолжает излучать динамик. Этот момент на осциллограмме обозначен желтым маркером. Отметим, что в зависимости от места расположения микрофона М2 амплитуда колебаний на нем при приходе очередной отраженной волны может как возрастать, так и уменьшаться. Амплитуда колебаний, регистрируемая микрофоном, встроенным в поршень (М1), не испытывает скачкообразных изменений, т.к. в рамках осциллограммы до него не успевает дойти волна, отраженная от стенки с динамиком.

5. Для того, чтобы посмотреть, как формируется стационарная амплитуда колебаний в узлах и пучностях в условиях резонанса, необходимо сделать следующее. В меню настройки датчика () измените режим регистрации данных на «ждущий», а генератор переключите в непрерывный режим звучания. Сократите рабочую длину трубы до 400 мм.
6. Начните измерения (кнопка ) и подстройте положение поршня таким образом, чтобы получить максимальную величину сигнала с микрофона, который встроен в поршень. При этом амплитуду генератора следует уменьшать. В итоге оптимальное положение поршня должно обеспечивать амплитуду сигнала (красная линия) на уровне 80 – 90 % от пределов экрана.
7. Положение подвижного микрофона, наоборот, должно быть выбрано так, чтобы обеспечивать минимальную амплитуду сигнала на экране. Пример наблюдаемой при этом осциллограммы приведен на рис. 6. Поршень находится на отметке 405 мм, а подвижный микрофон – 318 мм. Амплитуда генератора установлена на 20%.

Отметим, что подвижный микрофон при этом регистрировал амплитуду колебаний в узле, а микрофон, встроенный в поршень – в пучности. Возникновение пучности на поршне следует из того, что фаза волны давления при отражении не изменяется.

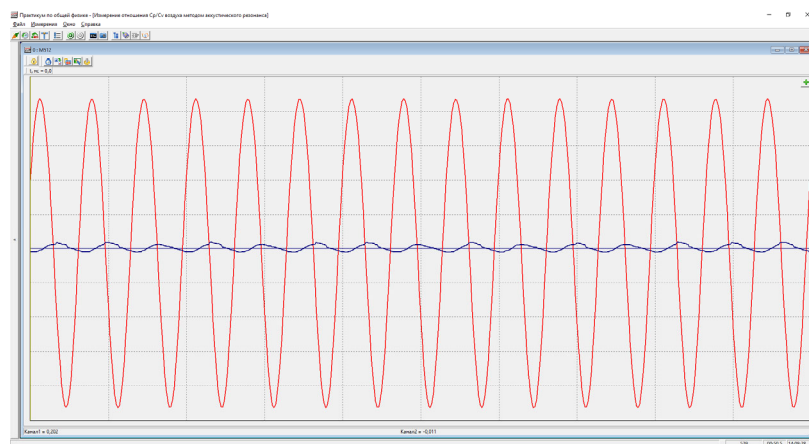


Рис. 6

8. Не изменяя положений поршня и подвижного микрофона, переключите генератор в импульсный режим работы, установив длительность импульса 30 мс. В датчике звука установите однократный режим регистрации данных, развертку 2 мс/дел., уровень запуска – «1800», а положение на экране – «1».
9. Запустите генератор и проведите измерения. Получите на экране осциллограмму, аналогичную показанной на рис. 7. На осциллограмме

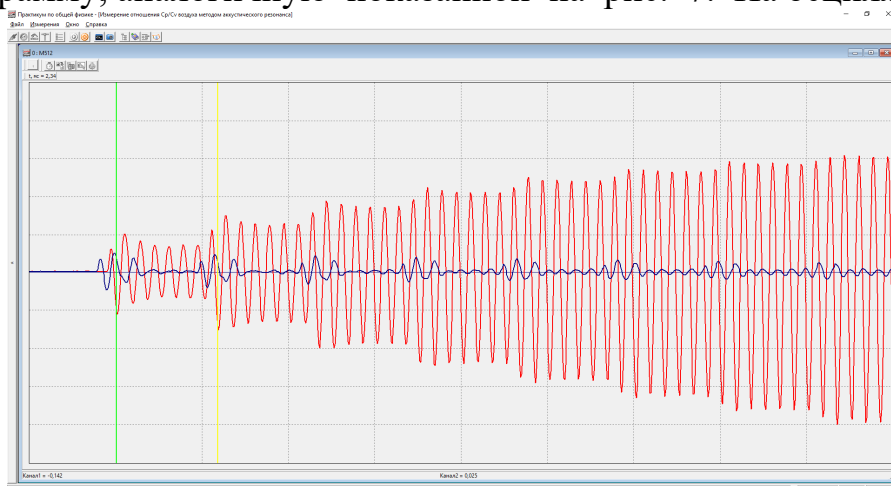


Рис. 7



отчетливо виден ступенчатый рост амплитуды колебаний, связанный с тем, что на генерируемые динамиком колебания последовательно накладываются волны, совершившие 1, 2, 3 и т.д. проходов от поршня к стенке с динамиком и обратно. Действительно, длительность ступеньки (промежуток времени между зеленым и желтым маркером, равный 2.34 мс) соответствует времени прохода звуком двух длин трубы: $0.405 + 0.405 = 0,81$ м). Подбор длины трубы при этом гарантирует, что в пучностях фазы всех интерферирующих волн совпадают.

Сигнал подвижного микрофона, установленного в узле, демонстрирует почти полное подавление колебаний падающей волны волной, отраженной от поршня, начиная с самого первого отражения. Амплитуда фрагмента сигнала, соответствующая промежутку от прохода


падающей волны до прихода отраженной постепенно убывает, т.к. с ростом общей амплитуды колебаний волн, распространяющихся в обоих направлениях, разница амплитуд этих волн постепенно уменьшается.

3. Рабочее задание.

3.1 Оценка скорости звука по измерениям на начальной стадии формирования стоячей волны.

1. Запустите программу «Практикум по общей физике» и в разделе «Молекулярная физика» выберите сценарий «Измерение отношения C_p/C_v воздуха методом акустического резонанса» (кнопка ). Вызовите на экран меню генератора (экранная кнопка с символом ) и выставите в настройках частоту звукового генератора 3000 Гц и амплитуду 60%. Снимите галочку «Непрерывно» и поставьте длительность 10мс и паузу 1000мс.

В меню датчика звука установите параметры регистрации сигналов, аналогично показанным на Рис. 4 за исключением «положения на экране», значение которого следует увеличить до 5 клеток.



2. Сдвиньте поршень в крайнее правое положение, а подвижный микрофон установите примерно в 100 мм от динамика. Зафиксируйте координаты расположения микрофонов l_1 ; l_2 ; и l . Запустите регистрацию данных, получите на экране осциллограмму и остановите измерения (кнопка ).

3. Определите промежуток времени между соответствующими точками сигналов от микрофонов. Для этой цели удобно использовать, например, первое пересечение сигналами нулевой линии. Программа автоматически измеряет время между зеленым (устанавливается правой кнопкой мыши) и желтым (устанавливается левой кнопкой мыши) маркерами. Измеренный интервал времени высвечивается в левом верхнем углу экрана (« t , мс=»). Используя полученные данные, оцените величину скорости звука в воздухе по задержке появления сигнала между датчиками звука: $c = l_1/\Delta t$.

4. Повторите п.2 Рабочего задания, выбрав другие наборы параметров l_1 ; l_2 ; и l . Определите скорость звука в каждом из проведенных измерений. Все результаты запишите в рабочем журнале.

5. Проведите измерения скорости звука, следуя пунктам 1.2 – 1.4 **Рабочего задания** для частоты звукового генератора 2000 Гц. Сравните полученные для разных частот скорости звука. Сделайте качественный вывод о зависимости скорости звука от частоты.

3.2 Определение скорости звука по измерениям в стоячей звуковой волне.

1. Запустите программу «Практикум по общей физике» и в разделе «Молекулярная физика» выберите сценарий «Измерение отношения C_p/C_v воздуха методом акустического резонанса» (кнопка ). Вызовите на экран меню генератора (экранная кнопка с символом ) , выставите в настройках

частоту звукового генератора 3000 Гц, и установите галочку «Непрерывно». Амплитуду генератора уменьшите до 5 - 6%.

2. В меню датчика звука выключите второй канал регистрации данных, уменьшите порог запуска и установите запуск в начале экрана (Рис. 7).

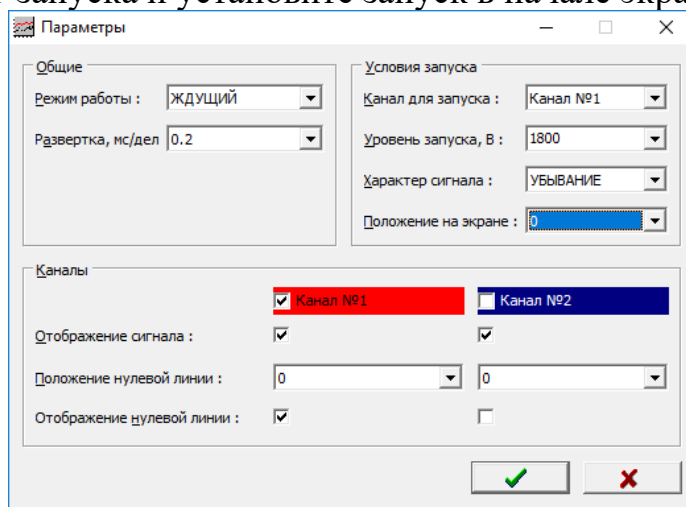



Рис. 7

3. Установите поршень в положение $L \sim 25 - 30$ см. Запустите регистрацию данных и получите на экране осциллограмму с микрофона, установленного на поршне. Если сигнал не возник на экране, немного измените положение поршня или еще уменьшите порог запуска (например, установите «1900»). Плавно увеличивая длину резонатора (увеличивая l), наблюдайте последовательные увеличения и уменьшения амплитуды колебаний.

4. Остановите поршень в точке, отвечающей максимальному значению сигнала (там, где сигнал перестает возрастать и еще не начинает уменьшаться). Вызовите на экран блок обработки данных – нажмите кнопку . В блоке обработки данных войдите на вкладку «Длина волны» и внесите координату внутренней кромки поршня в средний столбец таблицы. Значение координаты следует вводить в м. Нажмите клавишу «Enter».


5. Возобновите измерения и продолжите движение поршня до получения следующей длины резонатора, обеспечивающей максимальный уровень сигнала. Войдите в таблицу «Длина волны» и внесите новое значение длины резонатора во вторую строку таблицы. После нажатия клавиши «Enter» в третьем столбце таблицы появится разность значений между строками второго столбца.

6. Продолжая движение поршня и вписывая в таблицу следующие значения его координат, обеспечивающих максимальную громкость звучания, заполните еще несколько строк в таблице. Перед переходом на новую строку таблицы нажимайте клавишу «Enter». В нижней части третьего столбца таблицы сформируется среднее значение разности координат во втором столбце и его среднеквадратичное отклонение (нижняя цифра).

7. Согласно теоретическим представлениям (соотношение (10)), среднее значение разности координат соответствует половине длины волны. Вам следует определить длину волны на основе имеющегося в таблице результата

и, принимая во внимание то, что измерения велись на частоте 3000 Гц, рассчитать скорость звуковой волны.

8. Для наблюдения возникающего в трубе распределения амплитуды колебаний и определения длины волны по расстояниям между узлами и пучностями восстановите регистрацию сигнала вторым каналом осциллографического датчика. Поршень установите в положение, обеспечивающее выполнение условия резонанса при максимально возможной длине резонатора.

9. Установите подвижный микрофон в средней части трубы и снимите зависимость амплитуды звуковых колебаний от его координаты. Зарегистрируйте сигнал в текущей точке нахождения подвижного микрофона и остановите измерения. Включите горизонтальные маркеры (кнопка  в левом верхнем углу экрана датчика) и установите нижнюю линию маркеров (правая кнопка мыши) на минимальный уровень сигнала второго канала, а верхнюю линию маркеров (левая кнопка мыши) – на максимальный уровень сигнала (рис. 8). После этого нажмите кнопку «+» в правом верхнем углу окна

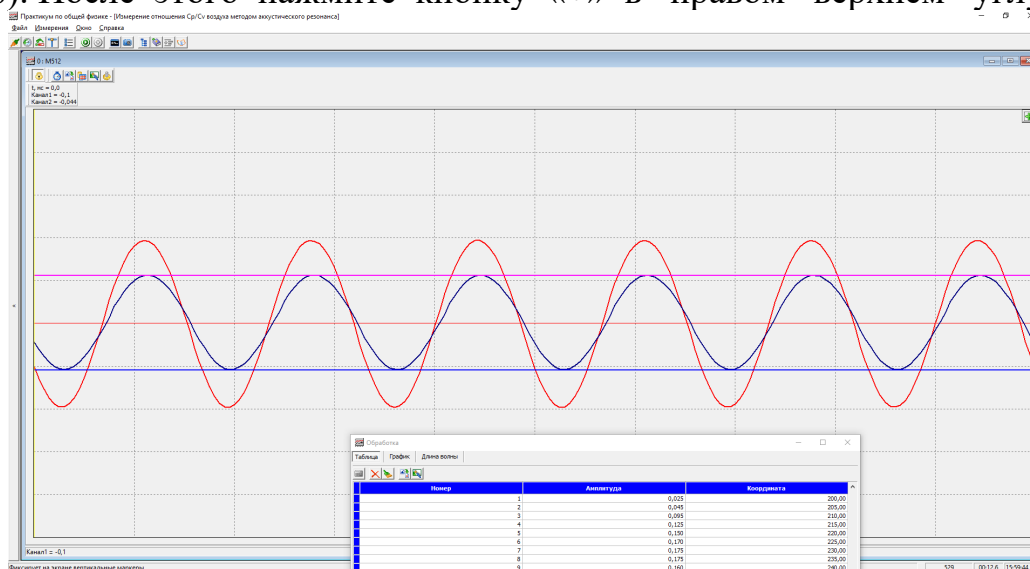



Рис. 8

датчика, что приведет к открытию окна обработки и передаче амплитуды сигнала в средний столбец таблицы. В правый столбец таблицы введите с клавиатуры координату датчика в **мм**.

10. Сдвигая подвижный микрофон на 5 мм за один шаг, вводите данные в таблицу, как это было описано в предыдущем пункте. Распределение амплитуды колебаний следует зарегистрировать на отрезке, примерно соответствующем длине волны звука. На вопрос «Очистить таблицу накопленных данных?» следует каждый раз отвечать «Нет».

11. Перейдите на вкладку «График» окна обработки. По представленному в нем графику сделайте вывод о том, координаты узлов или пучностей следует использовать для более точного определения длины волны.

12. Установите подвижный микрофон в один из узлов, находящихся примерно в 10 см от динамика, и введите его координату в таблицу вкладки «График». Предварительно эту таблицу следует очистить (кнопка ).

13. Последовательно устанавливая подвижный микрофон в узлы стоячей волны, фиксируйте их координаты в таблице «Длина волны». Среднее значение этого расстояния (предпоследняя цифра внизу правого столбца таблицы) следует использовать для вычисления длины волны, а затем и скорости звука. Напомним, что согласно теории расстояние между узлами стоячей волны равно половине длины волны.

14. При наличии времени выполните аналогичные измерения на другой частоте, например, 2 кГц.

3.3 Вычисление показателя адиабаты $\gamma = c_p/c_v$.

Вычислите показатель адиабаты $\gamma = c_p/c_v$ воздуха, используя для этого формулу (17), табличное значение молярной массы μ воздуха, измеренное значение температуры в лаборатории и измеренные значения скорости звука в воздухе. Сравните полученное значение показателя адиабаты в воздухе с его табличным значением.