

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ВОЗДУХА  
АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Методические указания**

**к лабораторной работе № 19  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2012**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ВОЗДУХА  
АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Методические указания

к лабораторной работе № 19  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2012

Составитель В.С. Осипов

УДК 534-14(07)

ББК 22.365(Я7)

Методические указания к лабораторной работе № 19 по дисциплине «Физика» «Определение коэффициента Пуассона воздуха акустическим методом» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Осипов– Уфа, 2012, – 11 с.

В работе рассчитывается коэффициент Пуассона воздуха через скорость распространения в нем звуковых волн, которая находится опытным путем методом стоячих волн.

В методических указаниях кратко рассмотрены классическая теория теплоемкости газа и физическая основа применяемого метода, изложена методика выполнения заданий и указаны требования к отчету.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика».

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доцент Тучков С.В.,  
канд. тех. наук, доцент Еникеев Г.Г.

©Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2012

## Содержание

Введение .....	4
1. Цель работы.....	4
2. Задачи.....	4
3. Теоретическая часть .....	4
3.1. Теплоемкость и коэффициент Пуассона газа .....	4
3.2. Взаимосвязь коэффициента Пуассона газа со скоростью распространения в нем звуковых волн .....	7
4. Экспериментальная установка.....	8
5. Требования по технике безопасности .....	9
6. Задания.....	9
7. Методика выполнения заданий .....	9
7.1. Измерение скорости звука в воздухе .....	9
7.2. Определение коэффициента Пуассона воздуха .....	10
8. Контрольные вопросы .....	10
9. Требования к содержанию и оформлению отчета .....	11
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы.....	11
Список литературы .....	11

# Лабораторная работа № 19

## Определение коэффициента Пуассона воздуха акустическим методом

### Введение

Тепловые и механические свойства вещества взаимосвязаны между собой. В настоящей работе определяется коэффициент Пуассона воздуха по данным измерения скорости звука в нем методом стоячих волн. Ее выполнение способствует закреплению знания газовых законов, основ теории теплоемкости газов, элементов теории волновых процессов в них, а также еще раз обратит внимание на взаимосвязь тепловых и волновых характеристик газов.

### 1. Цель работы

1. Изучение закономерностей изменения параметров состояния газа при распространении в нем звуковых волн и знание условия образования стоячей волны в воздушном столбе.

2. Определение коэффициента Пуассона воздуха по данным измерения скорости распространения в нем звука методом стоячих волн.

### 2. Задачи

1. Закрепление знаний студентами газовых законов, теории теплоемкости и волновых процессов.

2. Овладение методом стоячих волн для измерения волновых и тепловых характеристик газов.

3. Приобретение навыков проведения измерений и умения обработки получаемых при этом данных.

### 3. Теоретическая часть

#### 3.1. Теплоемкость и коэффициент Пуассона газа

Для характеристики тепловых свойств вещества используют удельную и молярную теплоемкости. Удельной теплоемкостью называют количество теплоты, поглощаемой (или отдаваемой) 1 кг вещества при изменении его температуры на 1 К, а молярной теплоемкостью – количество теплоты, поглощаемой (или отдаваемой) одним молем вещества при изменении его температуры на 1 К.

Количество теплоты  $dQ$ , которое получает или отдает тело при изменении его температуры на  $dT$  градусов, можно вычислить как через удельную теплоемкость  $C$ , так и через молярную теплоемкость  $c$ :

$$dQ = C m dT, \quad dQ = c \nu dT, \quad (3.1)$$

где  $m$  и  $\nu$  – соответственно масса и количество молей вещества, из которого состоит тело. Из этих уравнений следует простая взаимосвязь между удельной и молярной теплоемкостями

$$dQ = C m dT, \quad dQ = c \nu dT, \quad (3.2)$$

что позволяет, зная одну, вычислить другую через молярную массу вещества  $\mu$

$$c = \mu C. \quad (3.3)$$

По первому закону термодинамики количество теплоты  $dQ$ , сообщаемое телу, равно сумме изменения его внутренней энергии  $dU$  и совершаемой им при этом работе  $dA$

$$dQ = dU + dA. \quad (3.4)$$

Внутренняя энергия идеального газа представляет собой только кинетическую энергию теплового движения составляющих его молекул. Согласно закону равнораспределения энергии теплового движения по степеням свободы молекул, на каждую поступательную и вращательную степень свободы молекулы приходится энергия, в среднем равная  $\frac{1}{2}kT$ , где  $k$  – постоянная Больцмана, а на каждую колебательную степень свободы –  $kT$ . В итоге средняя кинетическая энергия теплового движения молекулы равна  $\frac{i}{2}kT$ , где  $i$  – сумма числа ее поступательных степеней свободы  $i_{\text{п}}$ , числа вращательных степеней свободы  $i_{\text{в}}$  и удвоенного числа колебательных степеней свободы  $i_{\text{к}}$ :  $i = i_{\text{п}} + i_{\text{в}} + 2i_{\text{к}}$ . Числом степеней свободы молекулы называют минимальное число координат, определяющих положение атомов молекулы в пространстве. Колебательное движение атомов возбуждается при температуре около 2000 К. При меньшей температуре молекулы можно считать жесткими, т.е. такими, в которых расположение атомов друг относительно друга остается неизменным. В этом случае  $i_{\text{к}} = 0$  и  $i$  сводится к сумме пространственных координат, задающих положение центра масс молекулы (поступательных степеней свободы) и угловых координат,

задающих ее ориентацию в пространстве в системе центра масс (вращательных степеней свободы). Число первых у всех молекул равно трем, а число вторых, если атомы считать материальными точками, для одноатомных молекул равно нулю, для линейных молекул – двум, для всех остальных – трем.

Внутренняя энергия  $\nu$  молей газа равна

$$U = \frac{i}{2} \nu RT, \quad (3.5)$$

где  $R = k N_A$  – газовая постоянная, а его молярная теплоемкость, как это следует из (3.1), (3.4) и (3.5), равна

$$c = \frac{i}{2} R + \frac{dA}{\nu dT}. \quad (3.6)$$

Работа, совершаемая газом при одном и том же изменении его температуры, а значит, и его теплоемкость, зависит от того, какой процесс при этом происходит с газом, т.е. может быть разной. Поэтому приводя теплоемкость газа, надо обязательно указывать, какому процессу она соответствует.

Обратимся к наиболее часто используемым молярным теплоемкостям газа для изохорного и изобарного процессов, которые называют теплоемкостями при постоянном объеме и при постоянном давлении и обозначают соответственно через  $c_V$  и  $c_P$ . В изохорном процессе работа не совершается, поэтому

$$c_V = \frac{i}{2} R. \quad (3.7)$$

В изобарном процессе

$$dA = p dV = \nu R dT \quad (3.8)$$

и

$$c_P = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R. \quad (3.9)$$

Отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме называют коэффициентом Пуассона или показателем адиабаты, который как правило, обозначают через  $\gamma$ . Из (3.7) и (3.9) следует, что он определяется только числом степеней свободы молекул газа

$$\gamma = \frac{c_P}{c_V} = \frac{i+2}{i}. \quad (3.10)$$

Воздух является смесью газов, но подавляющую долю в нем составляют двухатомные молекулы азота и кислорода. Поэтому значение коэффициента Пуассона воздуха должно мало отличаться от 1,4.

### 3.2. Взаимосвязь коэффициента Пуассона газа со скоростью распространения в нем звуковых волн

Скорость распространения продольной волны в сплошной упругой среде определяется ее плотностью  $\rho$  и коэффициентом сжимаемости  $\alpha$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\rho \alpha}}. \quad (3.11)$$

Для газа

$$\alpha = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}. \quad (3.12)$$

При распространении звуковых колебаний в газе в любой момент времени его можно представить состоящим из слоев с толщиной, достаточно малой по сравнению с длиной звуковой волны  $\lambda$ , расположенных перпендикулярно направлению скорости волны. С течением времени происходит периодическое изменение расстояний между молекулами газа вдоль этого направления. Это приводит к периодическому изменению толщины каждого слоя при неизменном количестве газа в нем и циклическому процессу изменения состояния этого газа. Время протекания цикла сравнительно мало. Например, даже при относительно небольшой частоте звуковых колебаний 1 кГц оно составляет 1 мс. Скоротечность процесса и малая теплопроводность газа позволяет пренебречь теплообменом между соседними слоями и считать процесс изменения состояния газа адиабатным, который подчиняется закону Пуассона

$$PV^\gamma = \text{const}. \quad (3.13)$$

Продифференцируем это уравнение по  $P$

$$V^\gamma dP + \gamma PV^{\gamma-1} = 0 \quad (3.14)$$

и найдем отсюда производную  $V$  по  $P$

$$\frac{dV}{dP} = -\frac{V}{\gamma P}. \quad (3.15)$$

Подставив ее в (3.12), получим



$$\alpha = \frac{1}{\gamma P}. \quad (3.16)$$

Из уравнения Менделеева-Клайперона имеем

$$\rho = \frac{\mu P}{RT}. \quad (3.17)$$

С учетом последних двух уравнений из уравнения (3.11) получаем

$$\gamma = \frac{\mu v^2}{RT}. \quad (3.18)$$

#### 4. Экспериментальная установка

Блок-схема установки изображена на рис. 4.1.

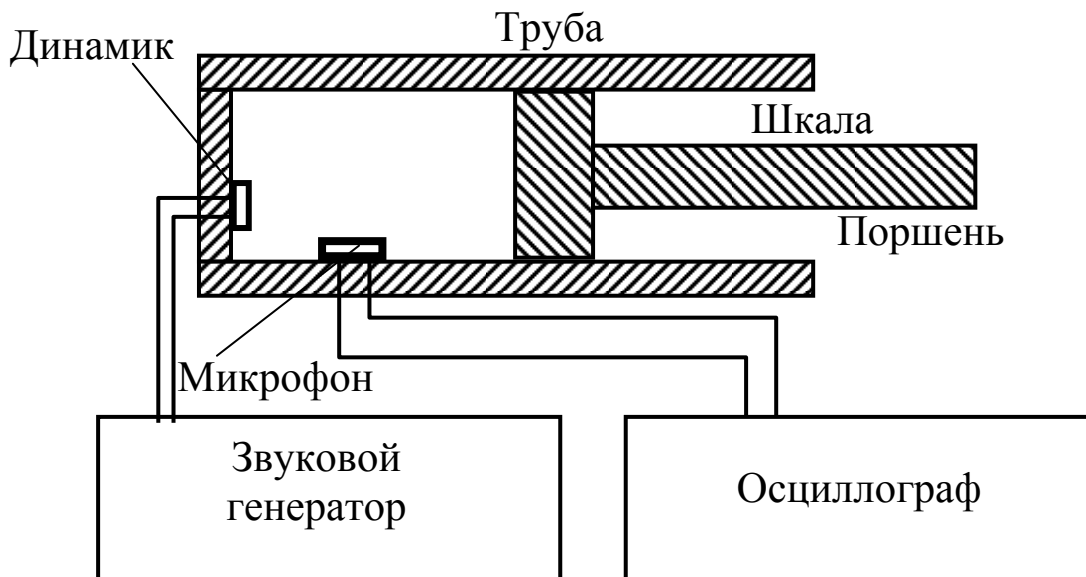


Рис. 4.1

Она состоит из генератора звуковых гармонических колебаний, осциллографа, горизонтально расположенной металлической трубы, вставленного в нее подвижного поршня и встроенных в стенку и торец трубы динамика и микрофона.

Генератор вырабатывает переменное напряжение звуковой частоты, которое подается на динамик, прикрепленный к закрытому торцу трубы. В динамике электрические колебания преобразуются в механические колебания его мембраны, возбуждающей колебания воздуха в трубе. Они регистрируются микрофоном, встроенном в стенку трубы. В микрофоне механические колебания преобразуются в электрические колебания напряжения, подаваемого на вход осциллографа, и наблюдаются на его экране. Перемещение поршня

приводит к изменению длины воздушного столба в трубе, которая отсчитывается по шкале на поршне.

## **5. Требования по технике безопасности**

1. Генератор и осциллограф должны быть обязательно заземлены.

2. Запрещается прикасаться руками к выходным клеммам генератора.

## **6. Задания**

1. Измерение скорости звука в воздухе.

2. Вычисление коэффициента Пуассона воздуха.

## **7. Методика выполнения заданий**

### **7.1. Измерение скорости звука в воздухе**

В настоящей работе измерение скорости звука основывается на свойствах стоячих волн, которые в нашем случае образуются внутри заполненной воздухом трубы с закрытыми торцами, в результате наложения волны, идущей от динамика, на волну, отраженную от противоположного торца трубы. Стоячая волна возникает только тогда, когда длина  $l$  столба воздуха в трубе будет кратна половине длины волны  $\lambda$

$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2}, n = 1, 2, 3, \dots \quad (7.1)$$

При этом громкость звука будет наибольшей, т.к. она пропорциональна квадрату амплитуды колебаний, максимум которой достигается при образовании стоячей волны. Визуально резкое возрастание амплитуды наблюдается на экране осциллографа.

Выразив  $\lambda$  через частоту колебаний  $f$ , условие (7.1) можно представить в виде

$$l = \frac{v n}{2 f}. \quad (7.2)$$

В соответствии с этой формулой графиком зависимости  $l(n)$  должна быть прямая линия.

Для определения скорости звука необходимо:

1. Установить частоту гармонических колебаний генератора в интервале 1100 Гц-1400 Гц (по указанию преподавателя) и среднюю мощность выходного сигнала.

2. Включить электропитание генератора и осциллографа.

3. Изменяя масштаб изображаемой на экране осциллографа синусоиды и время синхронизации сигнала, добиться хорошо наблюдаемой картины колебаний.

4. Осторожно задвинуть поршень в трубу до упора, после чего, плавно выдвигая его из трубы, отметить по шкале первое, второе и т.д. положение поршня, при котором громкость звука становится наибольшей, чему соответствует максимальная амплитуда колебаний на экране осциллографа.

5. Полученные данные занести в табл.

6. Выключить генератор и осциллограф.

7. Построить график зависимости  $l$  от  $n$ , который должен быть отрезком прямой.

8. По графику найти отношение  $\Delta l$  к  $\Delta n$ , взяв наибольшие интервалы для значений  $n$  и  $l$  для большей точности.

9. Вычислить скорость звука по формуле

$$v = 2f \cdot \frac{\Delta l}{\Delta n}. \quad (7.3)$$

Таблица

$n$	1	2	3	4	5
$l$ , см					

## 7.2. Определение коэффициента Пуассона воздуха

1. Измерьте по термометру в лаборатории температуру воздуха.

2. Рассчитайте по формуле (3.18) коэффициент Пуассона

воздуха, для которого  $\mu = 0,029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

3. Рассчитайте абсолютную ошибку полученного значения  $\gamma$ .

## 8. Контрольные вопросы

1. Что такое удельная и молярная теплоемкости вещества? Являются ли они однозначными для газов?

2. Что называют коэффициентом Пуассона газа? Почему он всегда больше единицы? Чем он определяется в итоге?

3. Почему процесс изменения состояния газа при распространении в нем звуковой волны можно считать адиабатическим?

4. Какому газовому закону подчиняется адиабатический процесс?

5. Что называется числом степеней свободы молекулы? Чему оно равно для различных молекул?

6. Каково условие образования в трубе стоячей волны?

### **9. Требования к содержанию и оформлению отчета**

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.

2. Теоретическую основу метода определения коэффициента Пуассона, используемого в работе.

3. Схему установки.

4. Данные измерений  $l$  в зависимости от  $n$ , температуры и значение рабочей частоты звуковых колебаний.

5. График зависимости  $l(n)$ .

6. Расчет скорости звука, коэффициента Пуассона и его абсолютной погрешности.

### **10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы**

1. Знание понятий удельной и молярной теплоемкости, числа степеней свободы молекулы, коэффициента Пуассона, закона Пуассона, классической теории теплоемкости газов и физической основы метода стоячих волн.

2. Выполнение экспериментальной и расчетной частей работы.

3. Соответствие отчета предъявленным требованиям.

### **Список литературы**

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Academia, 2008. – 1. С. 100-103, 121-123, 329-331.

2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Academia, 2007. – С. 100-105, 290-293.

3. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т. 1. – Спб.: Издательство «Лань», 2007. – С. 67-69, 73-75, 78-80.

Составитель ОСИПОВ Валерий Сергеевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ВОЗДУХА  
АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Методические указания

к лабораторной работе № 19  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2012. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный  
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12