

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗА
ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ
РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ**

**Методические указания
к лабораторной работе № 119
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2013

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

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗА
ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ
РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

Методические указания
к лабораторной работе № 119
по дисциплине «Физика»

Уфа 2013

Составитель В.С. Осипов

УДК 534-14 (07)

ББК 22.365 (Я7)

Методические указания к лабораторной работе № 119 по дисциплине «Физика» «Определение отношения теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме резонансным методом» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Осипов – Уфа, 2013. – 13 с.

В работе изучается процесс распространения звуковых волн в газе, резонансным методом находится их скорость в воздухе и определяется отношение его теплоемкостей при постоянных давлении и объеме.

Кратко рассмотрена классическая теория теплоемкости газов, взаимосвязь показателя адиабаты газа со скоростью распространения в нем звуковой волны и метод измерения этой скорости.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Молекулярная физика и термодинамика», на всех реализуемых направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: д. т. н., проф. Мигранов М.Ш.,
к. ф.-м. н., доц. Сагитова Э.В.

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2013

Содержание

Введение	4
1. Цели работы	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
3.1. Классическая теория теплоемкости газов. Коэффициент Пуассона.....	5
3.2. Резонансный метод определения коэффициента Пуассона газа.....	7
4. Экспериментальная установка.....	9
5. Требования по технике безопасности	10
6. Задания	10
7. Методика выполнения заданий	10
8. Контрольные вопросы	12
9. Требования к содержанию и оформлению отчета	12
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы ..	13
Список литературы	13

Лабораторная работа № 119

Определение отношения теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме резонансным методом

Введение

При распространении звуковых колебаний в газе происходит изменение параметров состояния (давления, температуры, плотности, концентрации) любой его части, заключенной в достаточно малой области пространства. Скорость распространения колебаний, т.е. скорость звуковой волны, зависит от природы газа и его температуры, что дает возможность находить характеристики газа по данным измерения этой скорости. В настоящей работе таким образом определяется коэффициент Пуассона воздуха.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие **компетенции**:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;
- способность проводить эксперименты по заданной методике, обработку результатов, оценку погрешности и достоверности их результатов.

Перечисленные компетенции формируются через **умения**:

- работать с измерительными приборами;
 - рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;
 - анализировать результаты опыта;
 - оформлять отчет;
- а также **владения**:
- теоретическим материалом;
 - навыками измерения физических величин по приборам;
 - технологией обработки экспериментальных данных.

1. Цели работы

1. Изучение законов изменения параметров состояния газа при распространении в нем звуковых волн.
2. Изучение взаимосвязи скорости звуковой волны в газах с его характеристиками.

2. Задачи

1. Закрепление знания газовых законов, основ теории теплоемкости газов и волновых процессов в них
2. Овладение методом стоячих волн и определения скорости звука в воздухе и его коэффициента Пуассона.
3. Экспериментальное подтверждение взаимосвязи тепловых и волновых характеристик газов.

3. Теоретическая часть

3.1. Классическая теория теплоемкости газов. Коэффициент Пуассона

Из всех тепловых характеристик вещества наиболее часто используют удельную и молярную теплоемкости. Удельная теплоемкость равна количеству теплоты, необходимого для нагрева одного килограмма вещества на один градус Кельвина (или Цельсия), а молярная – количество теплоты, необходимое для нагревания на тот же градус одного моля вещества.

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

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

где m и ν – соответственно масса и количество молей вещества, из которого состоит тело. Из (3.1) следует простая связь между удельной и молярной теплоемкостями

$$c = M C, \quad (3.2)$$

где M – молярная масса вещества.

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

$$dQ = dU + dA. \quad (3.3)$$

Внутренняя энергия идеального газа равна сумме кинетических

энергий теплового движения его молекул. Согласно закону равнораспределения энергии теплового движения по степеням свободы молекулы газа на каждую ее поступательную и вращательную степень свободы 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 $i_{\text{в}}$ и удвоенного числа колебательных степеней свободы $i_{\text{к}}$. Числом степеней свободы молекулы называют минимальное число координат, определяющих положение атомов молекулы в пространстве. Колебательное движение атомов возбуждается при температуре порядка 2000 К, поэтому при условиях, не сильно отличающихся от нормальных, молекулы можно считать жесткими, в которых расстояния между атомами остаются неизменными. У таких молекул $i_{\text{к}} = 0$ и i сводится к сумме пространственных координат, задающих положение центра масс молекулы (поступательных степеней свободы) и угловых координат, определяющих ее ориентацию в системе центра масс (вращательных степеней свободы). Число первых у всех молекул равно 3, а число вторых – нулю для одноатомных молекул, двум для линейных молекул и трем для всех остальных, если считать атомы материальными точками.

Внутренняя энергия ν молей газа оказывается равной

$$u = \frac{i}{2} \nu RT, \quad (3.4)$$

где $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ – газовая постоянная, а его молярная теплоемкость, как это следует из (3.1), (3.3) и (3.4) равна

$$c = \frac{i}{2} R + \frac{dA}{\nu dT}. \quad (3.5)$$

При изохорном изменении температуры работа не совершается, поэтому молярная теплоёмкость газа при постоянном объеме равна

$$C_V = \frac{i}{2} R. \quad (3.6)$$

Все другие процессы, сопровождаются работой, которая может быть как положительной (при расширении газа), так и отрицательной (при сжатии), причем разной величины в зависимости от характера и степени изменения объема газа. Поэтому при увеличении температуры газ может как получать теплоту, так и отдавать ее, а в случае адиабатного процесса не происходит ни того, ни другого. Следовательно, теплоемкость газа не является однозначной величиной.

При изобарном нагревании газ совершает работу

$$dA = \nu R dT. \quad (3.7)$$

Подставляя (3.7) в (3.5) находим молярную теплоемкость газа при постоянном давлении

$$C_P = \frac{i}{2}R + \frac{\nu R dT}{\nu dT} = \frac{i+2}{2}R. \quad (3.8)$$

Отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме называют коэффициентом Пуассона или показателем адиабаты газа, который принято обозначать через γ . Из (3.6) и (3.8) следует, что для газа, состоящего из молекул с одинаковым числом степеней свободы, он равен

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

Окружающий нас атмосферный воздух содержит разные молекулы, но количество двухатомных молекул азота и кислорода намного превосходит количество всех других вместе взятых. Поэтому коэффициент Пуассона воздуха с большой степенью точности можно полагать равным 1,4.

3.2. Резонансный метод определения коэффициента Пуассона газа

При распространении звуковых колебаний в газе в любой момент времени его можно представить состоящим из слоев достаточной малой (по сравнению с длиной звуковой волны λ) толщины, расположенных перпендикулярно направлению скорости волны. С течением времени происходит периодическое изменение расстояний между молекулами газа вдоль этого направления, в результате чего периодически изменяется толщина каждого слоя при неизменном количестве газа в нем, т.е. этот газ совершает

циклический процесс. Время протекания цикла равно периоду звуковых колебаний, происходящих с частотой в пределах интервала 16 Гц-20 кГц. Этого времени явно недостаточно для того, чтобы между соседними слоями успел произойти теплообмен. Поэтому процесс изменения состояния газа в них можно считать адиабатным, который подчиняется закону Пуассона

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad (3.10)$$

где P и V – давление и объем газа.

Рассмотрим газ, находящийся в закрытой с обеих сторон прямой трубе, на одном из торцов которой есть источник звуковых колебаний. Возбуждаемые им колебания распространяются вдоль трубы. Образованная при этом плоская продольная волна будет испытывать многократные отражения от торцевых стенок трубы и в ней будет происходить наложение волн друг на друга. Если расстояние L между торцами окажется кратным половине длины волны λ , т.е. если

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad (3.11)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$, то волна, отраженная от одного торца, дойдя до другого и отразившись уже от него, будет совпадать по фазе с исходящей от первого торца волной. В этом случае амплитуда колебаний будет наибольшей, иными словами, возникает резонанс. Так как

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad (3.12)$$

где v – скорость волны, f – ее частота, то согласно (3.11) резонансная частота должна быть равной

$$f_p = \frac{vn}{2L}. \quad (3.13)$$

Скорость продольной волны в сплошной упругой среде определяется ее плотностью ρ и коэффициентом сжимаемости κ

$$v = \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa}}. \quad (3.14)$$

Для газа

$$\kappa = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}. \quad (3.15)$$

Дифференцирование уравнения (3.10) дает

$$V^\gamma dP + \gamma P V^{\gamma-1} dV = 0, \quad (3.16)$$

откуда

$$\frac{dV}{dP} = \frac{V}{\gamma P}. \quad (3.17)$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона найдем ρ

$$\rho = \frac{MP}{RT}. \quad (3.18)$$

Разрешая систему уравнений (3.14), (3.17) и (3.18) относительно γ , получим

$$\gamma = \frac{Mv^2}{RT}. \quad (3.19)$$

4. Экспериментальная установка

Для определения коэффициента Пуассона воздуха в работе используется экспериментальная установка ФПТ 1 - 7 (рис. 4.1). Она содержит стеклянную трубу 1, на торцах которой закреплены телефон и микрофон. Температура воздуха в трубе измеряется полупроводниковым термометром и выводится на табло «Температура» 2. Температуру можно варьировать с помощью навитой на трубу нагревательной спирали. Степень нагрева устанавливается регулятором 3 «Нагрев», расположенным на передней панели приборного блока 4. В этом блоке находится генератор звуковых колебаний, подключенный к телефону, возбуждающему звуковые колебания в трубе. Частота колебаний задается с помощью ручек 5 и 6 и указывается на табло 7 «Частота». Сигнал с микрофона подается на индикатор резонанса 8, в качестве которого используется миллиамперметр, ток через который служит мерой амплитуды колебаний. Чувствительность миллиамперметра можно регулировать ручкой 9 «Усиление».

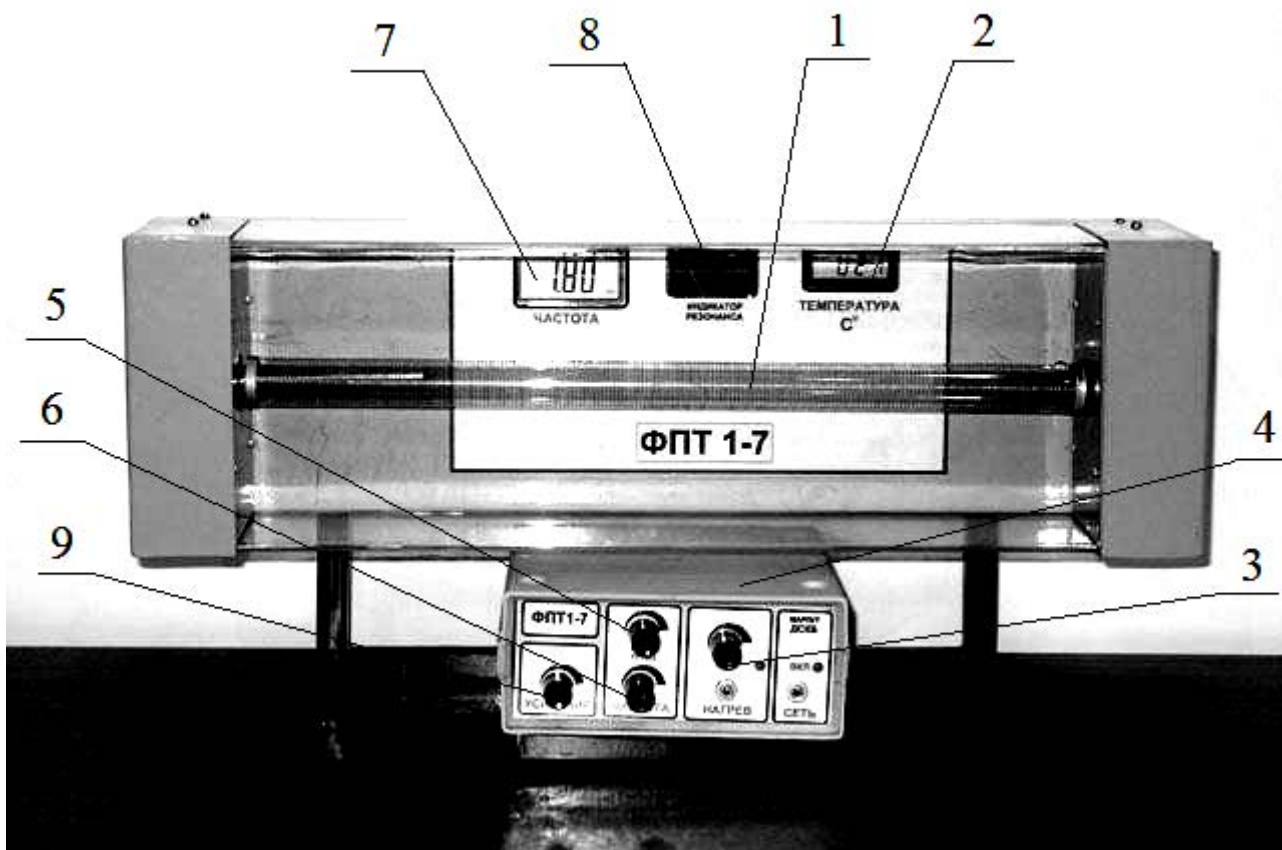


Рис. 4.1

5. Требования по технике безопасности

1. Необходимо контролировать нагрев воздуха в трубе, не допуская превышения максимальной из рекомендуемых температур.

2. После окончания измерений обязательно сразу выключить нагреватель.

3. Запрещается трогать прозрачную защитную панель установки.

6. Задания

1. Измерение резонансных частот звуковых колебаний в воздушном столбе.

2. Определение скорости звука в воздухе при разных температурах и его коэффициента Пуассона.

7. Методика выполнения заданий

1. Убедившись в том, что нагреватель выключен, а регуляторы 5, 6 и 9 установлены в положении минимума (если нет, то сделайте это), включите установку тумблером «Сеть».

2. Ручкой «Усиление» отрегулируйте чувствительность миллиамперметра так, чтобы стрелка отошла приблизительно на треть шкалы от ее начала.

3. Отметьте значение температуры t_1 , указанной на табло «Температура», после чего плавно увеличивая с помощью ручки 6 частоту колебаний звукового генератора, определите частоту первого резонанса по наибольшему отклонению стрелки на шкале миллиамперметра.

4. Постепенно вращая далее ручку 6 до предела, а затем, оставив ее в этом положении, и ручку 5, установите частоту второго, третьего, и т.д., вплоть до шестого резонансов. Произведите измерения в обратном порядке, т.е. следуя в сторону уменьшения частоты, чтобы убедиться в повторяемости измеренных частот.

5. Включите тумблер «Нагрев» и с помощью регулятора температуры нагрева установите ее значение в пределах $40-45^\circ\text{C}$. После стабилизации температуры произведите измерения, указанные в пп. 1-3.

6. Увеличивая нагрев, достигните температуры воздуха в трубе в интервале $55-60^\circ\text{C}$, после стабилизации которой вновь произведите измерения по пп. 2-3.

7. Выведите регуляторы 3, 5, 6 температуры и частоты в крайнее левое положение, после чего тумблером «Нагрев» и «Сеть» выключите нагреватель и всю установку.

8. Постройте графики зависимости резонансной частоты f_p от номера резонанса n для каждой температуры и вычислите по ним коэффициенты пропорциональности K для каждого графика, определяемых углом наклона полученных прямых $K = \frac{\Delta f_p}{\Delta n}$.

9. Для каждой температуры рассчитайте скорость звука в воздухе по формуле

$$v = 2LK, \quad (7.1)$$

а затем, по формуле (3.19) и коэффициент Пуассона γ (для воздуха

$M = 29 \frac{\Gamma}{\text{моль}}$, длина трубы L указана на установке).

10. Оцените погрешность найденного значения γ .

8. Контрольные вопросы

1. Что такое удельная и молярная теплоемкости? Как они связаны между собой?
2. Почему теплоемкость газа зависит от процесса изменения его температуры? Почему теплоемкость газа при постоянном давлении больше теплоемкости при постоянном объеме?
3. Одинаково ли различие между молярными теплоемкостями при постоянном давлении и при постоянном объеме для всех газов или нет? Между удельными теплоемкостями?
4. Что называют коэффициентом Пуассона газа? Чем определяется его значение?
5. Что утверждает закон равнораспределения энергии теплового движения молекул?
6. Как определяется число степеней свободы молекулы?
7. Какой процесс называют адиабатическим? Какому газовому закону он подчиняется?
8. Почему процесс изменения состояния выделенных частей газа при распространении в нем звуковых волн можно считать адиабатным?
9. Зависит ли скорость звука в газе от его температуры?
10. В чем заключается резонансный метод определения коэффициента Пуассона?
11. При каком условии в трубе с воздухом возникает резонанс?

9. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию, инициалы и группу студента, выполнившего работу.
2. Номер, название и цель работы.
3. Теоретическую основу метода определения коэффициента Пуассона воздуха, используемого в работе.
4. Блок-схему установки.
5. Данные измерений температуры и резонансных частот с указанием номера резонанса, представленные в форме табл. 1.
6. Графики зависимостей $f_p(n)$ для каждой температуры.
7. Рассчитанные значения коэффициентов K , скорости звука и коэффициента Пуассона, сведенные в табл. 2.

Таблица 1

n		1	2	3	4	5	6
$f_p, \Gamma_{\text{Ц}}$	$t_1 =$						
	$t_2 =$						
	$t_3 =$						

Таблица 2

T, K	K, c^{-1}	$v, \frac{\text{M}}{\text{c}}$	γ	$\gamma_{\text{ср}}$	$\Delta\gamma_{\text{ср}}$

8. Расчет абсолютной погрешности $\Delta\gamma_{\text{ср}}$ среднего значения коэффициента Пуассона, которая приводится в табл. 2.

10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- усвоил понятия удельной и молярной теплоемкостей, их неоднозначности у газов, коэффициента Пуассона, числа степеней свободы молекулы;

- овладел знанием закона Пуассона, а также классической теории теплоемкости газов и физической основы резонансного метода;

- грамотно выполнил измерения и расчеты;

- оформил отчет в соответствии с предъявляемыми требованиями;

- знает ответы на все контрольные вопросы.

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 ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗА
ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ
РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

Методические указания
к лабораторной работе № 119
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2013. 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 100 экз. Заказ №
ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12