

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физический факультет
Кафедра общей физики

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Часть 2. Молекулярная физика

Новосибирск, 1988

3. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Лабораторная работа 3.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВ И ИХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

Цель работы - знакомство с импульсным методом исследования акустических и молекулярных свойств веществ, измерение зависимости скорости звука в различных газах от температуры.

Оборудование: импульсная акустическая труба с излучателем и приемником звуковых волн, измерителем температуры, управляющим блоком; трансформатор; блок питания; микроЭВМ "Электроника-60"; алфавитно-цифровой дисплей; графический дисплей; крейт-КАМАК; КАМАК-модули; контроллер К-16, драйвер цветного растрового дисплея ЦДР-2, измеритель временных интервалов ИВИ, диалого-цифровой интегрирующий преобразователь АДПИ-20, модуль запуска и усилителя приемника звуковых волн.

Лабораторная работа посвящена исследованию акустических и молекулярных свойств веществ с помощью импульсного метода. Этот метод широко распространен в молекулярной акустике и позволяет решать следующие задачи;

- получать информацию об атомной и молекулярной структуре веществ по измерениям акустических параметров - скорости и поглощения звуковых волн;
- прогнозировать теплофизические свойства веществ в широком диапазоне температур и давлений;
- исследовать кинетику фазовых превращений, определять константы химических реакций.

Данная лабораторная работа связана с другой - "Исследование ударных волн в газах" (лабораторная работа 3.3 в этом практикуме). В обеих работах надо воздействовать на среду возмущениями давления. В настоящей работе реализуются волны малой интенсивности ($\Delta p/p_0 \ll 1$, где Δp - избыточное давление в волне, p_0 - фоновое давление), что позволяет исследовать "истинные" молекулярные свойства вещества.

В работе "Ударные волны" значение $\Delta p/p_0 \approx 1$, при котором уже происходят структурные и физико-химические превращения вещества.

Описание установки

Лабораторная работа выполняется на установке (рис. 1), включающей в себя импульсную акустическую трубу, микроЭВМ "Электроника-60", крейт-КАМАК с Набором модулей (см. Приложение 1).

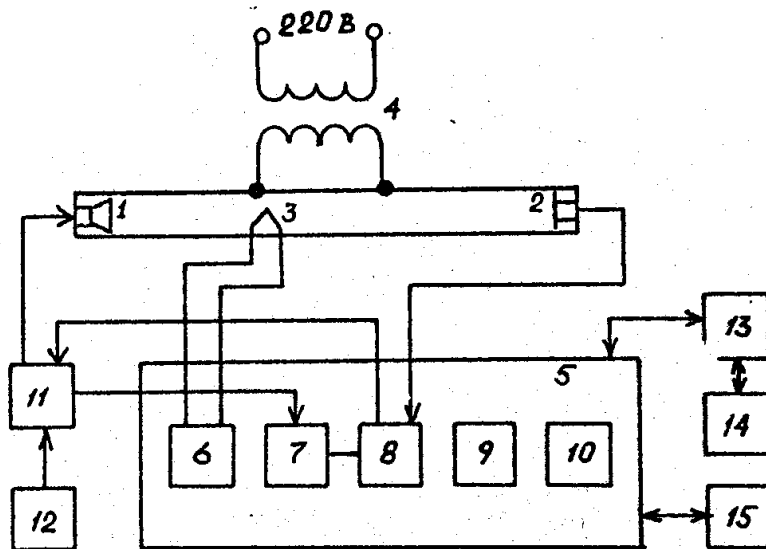


Рис.1. Блок-схема установки: 1 - излучатель звуковых волн, 2 - приемник, 3 - датчик температуры (термопара), 4 - трансформатор для нагрева трубы, 5 - крейт-КАМАК, КАМАК-модули: 6 - аналого-цифровой интегрирующий преобразователь АЦПИ-20, 7 - измеритель временных интервалов ГВИ, 8 - модуль запуска и усилитель приемника звуковых волн, 9 - драйвер цветного дисплея ЦДР-2, 10 - контроллер К-16, 11 - управляющий блок, 12 - блок питания, 13 - "Электроника-60", 14 - алфавитно-цифровой дисплей, 15 - монитор МС

Импульсная акустическая труба представляет собой устройство, содержащее излучатель (1) и приемник (2) звуковых волн. Трубу можно нагреть с помощью трансформатора подогрева (4), температура газа в трубе измеряется термопарой (3).

Зная расстояние между излучателем и приемником и измеряя время прохождения волны, можно определить скорость волны при некоторой температуре T . После этого по известной формуле для скорости звука в газах

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$$

где γ - показатель адиабаты, R - газовая постоянная, T - температура газа, μ - молярная масса, можно определить либо $\gamma = C_p/C_v$, либо молярную массу смеси газов.

Установка работает следующим образом. После заполнения трубы исследуемая газом включается блок питания. На управляющий блок подается напряжение 150 В, которым заряжается конденсатор емкостью 10 мкФ. По сигналу "Пуск", поступающему с КАМАК - модуля запуска (8), конденсатор разряжается на плоскую катушку излучателя. В мембране из алюминиевой фольги вблизи катушки индуцируются токи (скин-эффект), которые, взаимодействуя с магнитным полем катушки, вызывают ее деформацию и волны давления в газе.

Сигнал разряда конденсатора "Пуск" подается на управляющий блок из ЭВМ через специальный модуль КАМАК, что позволяет генерировать волны с частотой, задаваемой программой. Одновременно с командой "Пуск" запускается измеритель временных интервалов МВИ (7).

Звуковой пакет перемещается по трубе к пьезодатчику (2), сигнал с которого, будучи усиленным усилителем (8), останавливает измеритель временных интервалов (7). ЭВМ считывает из него время прохождения волной известного расстояния (1 м).

Типичная осциллограмма сигнала с приемника волн показана на рис. 2. где t_0 - время запуска, t_1 - момент прихода к датчику сигнала по трубе (по металлу); t_2 - время прихода к датчику сигнала по газовому столбу. Для устранения влияния на результат измерения времени шумового сигнала в интервале $t_2 - t_0$ специальным образом подобрана амплитудно-частотная характеристика усилителя сигнала пьезодатчика (8).

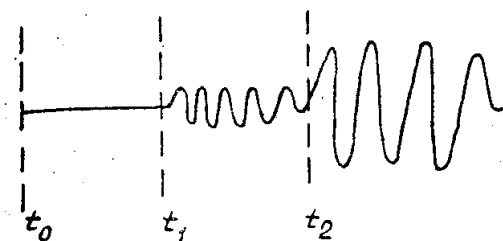


Рис.2. Форма звукового сигнала

Для нагрева газа необходимо включить трансформатор (4). При этом на концы трубы будет подано напряжение около 2 В и труба начнет нагреваться. Температура газа измеряется термопарным датчиком (3) с помощью аналого-цифрового преобразователя АЦПИ-20 (6).

Порядок включения установки и загрузки управляющей программы

1. Включите питание стойки (черная кнопка на стойке внизу), убедитесь, что работают сенсорная клавиатура, телевизор терминала, цветной телевизор (графический дисплей), крейт-КАМАК.

2. Клавишей < ON LINE > клавиатуры переключите терминал в режим ON LINE.

3. Нажмите кнопку "СБРОС" ЭВМ "Электроника-60". На экране терминала, должен появиться символ "> ", означающий, что Ваша "Электроника-60" связалась с центральной ЭВМ.

4. Для загрузки управляющей программы, хранящейся на диске центральной ЭВМ, необходимо войти (зарегистрироваться) в операционную систему RSX -11 , под управлением которой работает терминальная сеть Кафедры общей физики. Поздоровайтесь с системой, набрав следующий текст:

> HELP KOF

Нажмите клавишу < RETURN >. Если текст набран верно, система поприветствует Вас и снова распечатает символ "> ". Теперь можно загрузить (переписать) в память, "Электроники-60" программу. Для этого наберите текст

> BOT = TRUBA

и нажмите клавишу < RETURN >. На экране появится шкала, по которой движется стрелка, - это отображение процесса загрузки программы с диска

центральной ЭВМ в оперативную память "Электроники-60". Загрузившись, программа напечатает на терминале название работы и будет ожидать директив. После этого.

5. Включите блок питания "150 В". Установка и программа к работе готовы.

Работа с программой

Лабораторная работа выполняется с помощью программы TRUBA, которая обеспечивает управление установкой, занесение данных измерений в оперативную память ЭВМ, их обработку и отображение на экранах алфавитно-цифрового (АЦД) и графического дисплеев. Программа позволяет измерять скорость звука в исследуемом газе при комнатной температуре, а также зависимость скорости звука от температуры. Для всестороннего анализа результатов измерений программа позволяет представить их в виде различных графиков.

Программа TRUBA работает в диалоговом режиме. Работа с программой не требует каких-либо предварительных знаний о работе ЭВМ или по программированию. Все необходимые сведения об управлении программой содержатся в комментариях, выводимых на экран АЦД.

После загрузки программы на экране АЦД высвечивается "меню", содержащее перечень выполняемых программой функций (директив):

КАЛИБРОВОЧНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

ИЗМЕРЕНИЕ

ГРАФИК Т - С

ГРАФИК Т - G

ГРАФИК Т - М

ГРАФИК ВРЕМЯ - С, Т

ГРАФИК ВРЕМЯ - G, Т

ГРАФИК ВРЕМЯ - М, Т

ПЕЧАТЬ ГРАФИКА

Для выбора нужной директивы необходимо с помощью клавиш $\langle \uparrow \rangle$ и $\langle \downarrow \rangle$ установить курсор на соответствующую строчку. При движении курсора по строчкам в нижней части экрана распечатываются более подробные пояснения к директивам. Поставив курсор на нужную строчку, нажмите клавишу $\langle \text{RETURN} \rangle$, и программа начнет выполнять соответствующую директиву.

Калибровочное измерение. Производился несколько измерений скорости звука при постоянной (комнатной) температуре. Результаты отображаются на графике в системе координат Т-С.

Полученное значение скорости используется для вычисления теоретической зависимости скорости звука от температуры, с которой затем будут сравниваться экспериментальные результаты.

Измерение. Программа измеряет температуру газа и скорость звука, результаты измерений запоминаются в оперативной памяти ЭВМ и одновременно на цветном дисплее рисуется график зависимости скорости звука от температуры (синим цветом на экран выведен график теоретической зависимости).

Для измерений при температурах выше комнатной включите нагреватель.

Для исследования характеристик газа при низких температурах охладите трубу с помощью жидкого азота.

Между измерениями программа делает задержку 5 с - это необходимо для подготовки установки к следующему измерению.

Для окончания измерений нажмите клавишу < LIFE REED >

График Т - С. На дисплей выводится график зависимости скорости звука от температуры (синим цветом - график теоретической зависимости).

График Т - G. На дисплей выводится график зависимости $\gamma = C_p / C_v$ температуры при предположении, что $\mu = \text{const}$.

График Т - М. На дисплей выводится график зависимости молярной массы μ от температуры при предположении, что $\gamma = \text{const}$.

График ВРЕМЯ – С, Т. На дисплей выводится график зависимости скорости звука и температуры газа от времени.

График ВРЕМЯ - G, Т. На дисплей выводится график зависимости γ и температуры от времени при предположении, что $\mu = \text{const}$.

График ВРЕМЯ - М, Т. На дисплей выводится график зависимости молярной массы и температуры от времени при предположении, что $\gamma = \text{const}$. Этот график может быть полезен, например, во время измерения состава газа.

Печать графика. Вывод графика, отображаемого на графическом дисплее, на растровое печатающее устройство.

Задания

1. Измерьте скорость звука в воздухе при комнатной температуре.
2. Измерьте скорость звука в воздухе от температуры при T_k . Измерения проводите как во время нагрева газа, так и при охлаждении. Сравните полученные результаты между собой и с теоретической зависимостью. НЕ ДОПУСКАЙТЕ НАГРЕВ ВЫШЕ 55°C!
3. Измерьте зависимость скорости звука от температуры при $T < T_k$. Для охлаждения можно использовать холодный азот, испаряющийся в сосуде Дьюара и подводимый через шланг внутрь корпуса установки через соответствующий ввод. Охлаждение ниже (-50 °C) не рекомендуется.
4. Выполните пункты 1-3 для чистого азота N_2 углекислоты газа CO_2 . Сравните измеренную зависимость $\gamma(T)$ для CO_2 с теоретически ожидаемым результатом (см. Приложение 2).

При выполнении работы анализируйте полученные результаты, сравнивайте их с теоретическими, попытайтесь объяснить различия между теорией и экспериментом, если таковые имеются. Попытайтесь придумать дополнительные эксперименты, которые можно выполнить на настоящей установке. Их можно выполнить в качестве

курсовой работы.

Обязательно сделайте оценку точности Ваших результатов.

Приложение 1

Краткие характеристики использованных в работе КАМАК-модулей

Измеритель временных интервалов (ИВИ). Восьмиканальный преобразователь временного интервала в цифровой код позволяет измерять 8 временных интервалов. Начало измерения - по общему для всех каналов сигналу "СТАРТ", конец - по индивидуальному для каждого канала сигналу "СТОП". Диапазон измерений - 0 ... 19,6 мс, дискретность - 0,1 мкс. В работе используется один канал.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦПИ-20). Интегрирующий АЦП с высокой помехозащищенностью.

Время интегрирования входного сигнала: 5 ... 320 мс.

Разрядность: 14 ... 20 двоичных разрядов.

Диапазоны: 8 В, 500 мВ.

Погрешность: 0,01 %.

В работе используется диапазон 500 мВ, время интегрирования 220 мс.

Драйвер цветного дисплея (ЦДР-2). Драйвер предназначен для формирования сигналов управления цветным телевизионным монитором (телевизор Ц -432). Драйвер формирует изображение из 256 x 256 точек. Каждая из точек может принимать один из 8 цветов.

Контроллер (К-16). Контроллер крейта КАМАК связывает с ЭВМ "Электроника-60" находящиеся в крейте КАМАК-модули.

Модули запуска и усилителя приемника звуковых волн. Специально разработанный для данной работы КАМАК-модуль усиливает сигнал с пьезодатчика и формирует сигнал "СТОП" для модуля ИВИ.

Приложение 2

Вычисление теплоемкости

Если точность Ваших результатов лучше 0,1 %, Вы сможете заметить квантовые эффекты, проявляющиеся в CO_2 . Известно, что энергия измеряется порциями (квантами):

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_v + C_p}{C_v} = 1 + \frac{R}{C_v} (1).$$

Молекула CO_2 имеет 9 степеней свободы: три поступательных, две вращательных и четыре колебательных. На поступательные степени свободы приходится молярная теплоемкость (энергия на 1°),

$$C_v^{\text{пост}} = \frac{3}{2} R (2)$$

т.е. при $T=300\text{ K}$ поступательная часть кинетической энергии с большой точностью соответствует классическому выражению (ступеньки - порции энергии очень малы, по сравнению с kT), где k - постоянная Больцмана).

Характеристическая температура для вращательного движения также очень мала:

$$T_{\text{кр}} = 0,56\text{ K} \ll 300\text{ K},$$

т.е.

$$C_v^{\text{вращ}} = 2 \cdot \frac{R}{2} = R.$$

Колебательные же формы движения реализуются тем сильнее, чем выше температура. Характеристические температуры

$$T_1^{\text{кол}} = T_2^{\text{кол}} = 960\text{ K},$$

$$T_3^{\text{кол}} = 1990\text{ K},$$

$$T_4^{\text{кол}} = 3380\text{ K}.$$

Для колебательных форм вклад в теплоемкость можно рассчитать по теории теплоемкости Эйнштейна (см. /12/) по формуле

$$C_v^{\text{кол}} = \frac{(T_i/T)^2 e^{T_i/T}}{(e^{T_i/T} - 1)^2} R,$$

где $i = 1, 2, 3, 4$ (номер формы колебаний). После чего

$$C_v = C_v^{\text{пост}} + C_v^{\text{вращ}} - \sum C_{iv}^{\text{кол}} = 2,5R - \sum C_{iv}^{\text{кол}}$$

Далее, используя формулу (1), можно построить $\gamma(T)$.

См. библиографический список; /9/, /12/, /22/.

Интернет версия подготовлена на основе издания: Описание лабораторных работ. Часть 2. Молекулярная физика. Новосибирск: Изд-во, НГУ, 1988

© Физический факультет НГУ, 2000

© Лаборатория молекулярной физики НГУ, 2000, <http://www.phys.nsu.ru/molecules/>