

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
Кафедра Физики

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4(8)
по дисциплине «Физика»
Тема: Определение скорости
распространения звука в воздухе

Студент гр. 9892 _____

Лескин К.А.

Преподаватель _____

Чурганова С.С.

Санкт-Петербург
2020

Цель работы

Определение скорости распространения звуковых колебаний в воздухе методом стоячих волн в резонаторе. Построение амплитудно-частотной характеристики резонатора и определение его добротности.

Приборы и принадлежности

Установка акустического резонанса, электронный осциллограф, звуковой генератор.

Основные исследуемые закономерности

Процессы сжатия и растяжения в газах, а так же периодическое чередование областей этих процессов, являются следствием распространения звуковых колебаний. Они распространяются со скоростью, зависящей от свойств газа.

В газах возникают только продольные волны, так как, в отличие от твёрдых тел, газы не обладают сдвиговой жесткостью. Это значит, что направление колебаний частиц среды происходит в направлении распространения волны.

Если сжатие и разряжение газа происходит быстро, то области сжатия и разряжения в газе не успевают обмениваться теплом. Такой процесс распространения звука является адиабатическим; в этом случае скорость звука в газе рассчитывается по формуле

$$u = \left(\frac{\gamma p}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

где $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ — показатель адиабаты, равный отношению теплоёмкостей газа в изобарном и изохорном процессах; p и ρ — давление и плотность газа.

Для идеального газа формула приобретает вид

$$u = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}} \quad (2)$$

R — универсальная газовая постоянная. T — температура газа. μ — молярная масса газа.

Удобным методом измерения скорости звуковых волн в газе является метод, основанный на измерении длины волны λ бегущих звуковых волн, излучаемых источником.

Если длина волны λ , определяемая как расстояние, проходимое волной за период колебаний, измерена экспериментально и известна частота ν возбуждаемых источником звуковых волн, то скорость бегущей волны

$$u = \lambda \nu \quad (3)$$

Контрольные вопросы

1. Как направлена колебательная скорость молекул воздуха в акустической волне по отношению к направлению её распространения?

Колебательная скорость связана со звуковым давлением через удельное акустическое сопротивление или жесткость. В акустической волне частицы среды совершают колебания вокруг точки покоя, зачастую вектор колебательной скорости параллелен направлению распространения волны.

2. Какие волны называются стоячими и как они образуются?

Стоячая волна — колебательный или волновой процесс в распределенных колебательных системах с характерным устойчивым в пространстве расположением чередующихся максимумов и минимумов амплитуды. Возникает в результате интерференции нескольких когерентных или гармонических волн (взаимное увеличение или уменьшение результирующей амплитуды от двух волн при их наложении друг на друга).

Когерентность волны означает, что в различных пространственных точках волны осцилляции происходят синхронно, то есть разность фаз между двумя точками не зависит от времени.

3. Дайте определение длины бегущей. Как она взаимосвязана со стоячей волной?

Длиной стоячей волны называется расстояние между соседними узлами (точки, в которых амплитуда колебаний равна нулю) или пучностями (точка, в которой амплитуда колебаний максимальна). Она равна половине длины волны интерферирующих встречных бегущих волн.

4. Свободными или вынужденными являются колебания, полученные в работе? В чём заключается явление резонанса? При каких условиях оно соблюдается?

Так как используется прибор осциллограф, он образует вынужденные колебания под действием синусоидальной силы. Явление резонанса заключается в том, что возникает стоячая волна с максимальной амплитудой, наблюдается при совпадении частоты излучения источника звуковой волны и собственной частоты колебаний резонатора. Такое явление ярко выражено в случае, если затухание колебаний в волне мало. Длина резонатора при стоячей волне равна целому числу длин стоячих волн.

5. Сформулируйте методику измерений в лабораторной работе и опишите установку.

Методика измерения заключается в определении скорости распространения звуковых колебаний в воздухе методом стоячих волн в резонаторе. Это возможно с помощью лабораторной установки, на одном конце которой (кварцевой трубы) находится источник звука, соединённый со звуковым генератором. Внутри трубы перемещается поршень с вмонтированным в него микрофоном, который преобразует звуковые колебания в электрические и передаёт на вход электронного осциллографа. На его экране возникает синусоидальный сигнал, чья амплитуда зависит от длины резонатора и частоты колебаний исходящего звука. При выполнении условия явления резонатора возникает резонанс. Настройка на резонанс сделана за счёт изменения длины воздушного столба в трубе (для определения длины звуковой волны и скорости звука), либо изменением частоты колебаний генератора (для добротности). Сама установка представляет из себя звуковой генератор, осциллограф, установку акустического резонанса.

6. Какие колебания называют затухающими? В чём их физический смысл? Какие величины их характеризуют?

Колебания с постоянно убывающей со временем амплитудой называются затухающими, это обусловлено трением механической системы и сопротивлением в электромагнитных колебательных контурах. Сам коэффициент затухания β есть физическая величина, обратная времени, за которое уменьшается амплитуда в n раз.

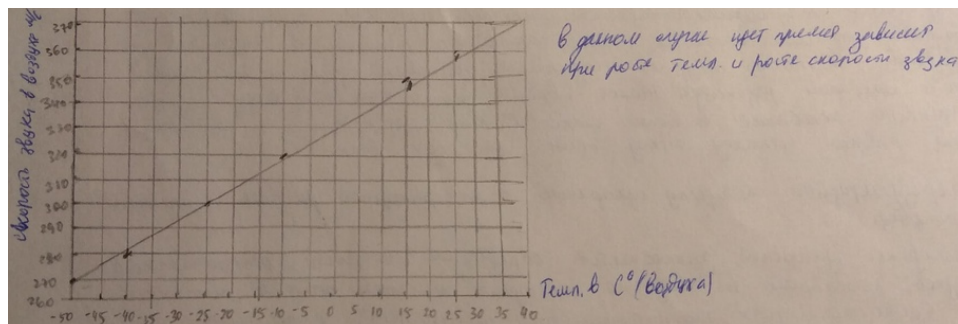
7. Дайте определение добротности колебательной системы. Как она вычисляется в резонансной кривой АЧХ.

АЧХ — Амплитудно-частотная характеристика

Характеристикой убыли энергии при затухании служит доброт-

ность колебательной системы $Q = \frac{2\pi W(t)}{W(t) - W(t+T)}$. Знаменатель представляет убыль энергии волны за T — период колебаний и t — отсчитываемый от момента времени. Зависимость АЧХ системы аппроксимирована функцией Лоренса $A_v = A_0(1 + (\frac{v - v_0}{\Delta v_0})^2)^{-\frac{1}{2}}$, где A_0 и A_v максимальная амплитуда стоячей волны и частота излучения источника звуковых волн. Δv_0 — ширина резонансной кривой $(v_2 - v_1)$. При $A_v = \frac{A_0}{\sqrt{2}}$ добротность резонатора по его АЧХ вычисляется: $Q = \frac{v_0}{\Delta v_0} = \frac{v_0}{v_2 - v_1}$.

8. Изобразите график зависимости скорости звука от температуры



9. Что такое степени свободы молекул газа? Как вычисляются полные степени свободы молекул газа с учётом поступательных, вращательных и колебательных степеней свободы молекул? Рассчитайте полное число свободы для O_2 и CO_2 с учетом и без колебательных степеней свободы.

В классической механике молекула двухатомного газа в первом приближении рассматривается как совокупность двух материальных точек, жестко связанных недеформируемой связью. Эта система кроме трех степеней свободы поступательного движения имеет еще две степени свободы вращательного движения. Вращение вокруг третьей оси (оси, проходящей через оба атома) лишено смысла. Таким образом, двухатомный газ (O_2) обладает пятью степенями свободы ($i = 5$). Трехатомная (CO_2) и многоатомная нелинейные молекулы имеют шесть степеней свободы: три поступательных и три вращательных ($i = 6$). Естественно, что жесткой связи между атомами не существует. Поэтому для реальных молекул необходимо учитывать также степени свободы колебательного движения.

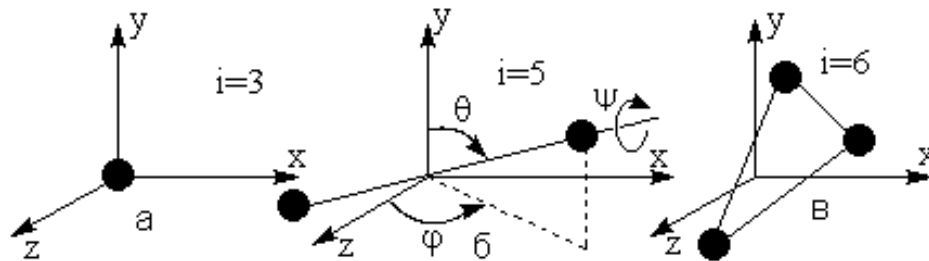
С учётом колебательных степеней свободы:

$$i = i_v + i_r + 2i_N$$

$$i_N = 3N - 6$$

Для (O_2) $i = 6$.

Для (CO_2) $i = 9$.



10. Какие процессы политропные? Как вычисляется теплоёмкость политропного процесса?

Политропный процесс — термодинамический процесс, во время которого удельная теплоёмкость газа остаётся неизменной.

Так как политропный процесс имеет постоянную теплоёмкость, показатель n может быть рассчитан как $\frac{C - C_p}{C - C_v}$.

Где $C_v = \frac{iR}{2}$ и $C_p = \frac{(i+2)R}{2}$.

Теплоёмкость политропического процесса

$$C = C_v \frac{n - \gamma}{n - 1} \quad (4)$$

11. Какой процесс адиабатный? Что такое показатель адиабаты и чему он равен при двухатомном газе?

Если сжатие и растяжение газа происходит быстро, то области сжатия и растяжения не успевают обмениваться теплом, это описывает адиабатический процесс. Его показатель $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, равен отношению теплоёмкости газа и изобарном и изохорном процессах. При двухатомном газе, где степень свободы 5, $\gamma = 1.4$.

12. Как связаны между собой молярные и удельные теплоёмкости в изобарном и изохорном процессах? Как они вычисляются?

Количество теплоты, необходимое для нагревания единицы массы вещества на 1 градус называется удельной теплоёмкостью.

Для измерения удельной теплоёмкости газов используют молярную теплоёмкость, где единицей вещества является моль:

$$C_\mu = C\mu \quad (5)$$

Уравнение Майера

$$C_p = C_v + R \quad (6)$$

Формула Майера для удельной теплоёмкости:

$$\frac{C_p}{\mu} = \frac{C_v}{\mu} = \frac{R}{\mu} \quad (7)$$