

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ $\gamma = C_p / C_v$ ДЛЯ ВОЗДУХА МЕТОДАМИ КЛЕМАНА - ДЕЗОРМА И ЗВУКОВОГО ФАЗОМЕТРА.

1. ТЕПЛОЕМКОСТЬ. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ К ВЫЧИСЛЕНИЮ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВЕЩЕСТВА.

Молярной теплоемкостью называется количество тепла, которое необходимо сообщить одному молю вещества, чтобы повысить его температуру на 1 К, т.е.

$$C = \frac{1}{\nu} \cdot \frac{\delta Q}{dT}, \quad (1)$$

где δQ - элементарное количество теплоты, сообщаемое телу,
 dT - вызываемое этим теплом изменение температуры тела,
 ν - число молей.

По первому закону термодинамики количество теплоты δQ , переданное веществу, идет на увеличение его внутренней энергии dU и на работу δA , совершаемую веществом над внешними телами:

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (2)$$

Химически разные молекулы отбирают (запасают) от источника энергии разные количества тепла. Поэтому теплоемкость зависит от химической природы вещества. Но в большей степени **теплоемкость вещества зависит от условий его нагревания**, т.е. зависит от способа (процесса), которым передается тепло телу. Поясним это на примерах.

Пример 1. Изотермический процесс.

Так как при изотермическом процессе $dT = 0$, а $\delta Q \neq 0$, то на основании (1) $c = \infty$.

Пример 2. Адиабатический процесс.

При этом процессе вещество не получает и не отдает тепла ($\delta Q = 0$), хотя его температура изменяется ($dT \neq 0$), и тогда в соответствии с (1), теплоемкость любых веществ при адиабатическом процессе $c = 0$.

Пример 3. Изохорическое и изобарическое нагревание идеального газа.

При изохорическом нагревании работа газом не совершается. Поэтому все подводимое тепло, согласно первому закону термодинамики идет на увеличение его внутренней энергии т.е. на повышение температуры. Если же давление газа при нагревании остается постоянным (**изобарический процесс**), то он должен расширяться (иначе давление

будет расти), совершая некоторую работу. Значит, в этом случае не все тепло δQ , подводимое к газу, идет на изменение его внутренней энергии (т.е. на изменение его температуры, так как внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры), часть этого тепла затрачивается на совершение работы. Следовательно, при постоянном давлении требуется большее количество теплоты для нагревания газа на 1 К, чем при постоянном объеме. Поэтому $C_p > C_v$ на величину работы, которую совершает идеальный газ при изобарическом нагревании на 1 К, т.е. на величину газовой постоянной:

$$C_p = C_v + R .$$

Экспериментально, как правило, находят теплоемкости C_v и C_p . Найдем формулы для нахождения этих величин для идеального газа. Внутренняя энергия веществ, не подвергнутых действию внешних полей, является функцией двух переменных $U = U(T, V)$: зависимость от температуры учитывает суммарную кинетическую энергию частиц, а от объема - суммарную потенциальную энергию взаимодействия частиц.

Учтя, что в выражении (2) приращение внутренней энергии

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV , \quad (3)$$

формула (1) для теплоемкости примет вид:

$$C = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \frac{1}{\nu} \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \frac{dV}{dT} . \quad (4)$$

Откуда находим

$$C_V = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V , \quad (5)$$

$$C_P = C_V + \frac{1}{\nu} \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \left(\frac{dV}{dT} \right)_P = C_V + \frac{1}{\nu} \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P . \quad (6)$$

Как видно из выражений (5) и (6), для нахождения C_v и C_p необходимо располагать явным видом двух функций: $U(T, V)$ - внутренней энергией и $V = V(T, P)$ - уравнением состояния вещества. Указанные функции не могут быть получены теоретически методами термодинамики, их заимствуют либо из опыта, либо, из так называемой, статистической теории. Для идеального газа эти функции имеют вид:

$$U = \nu \frac{i}{2} RT, \quad (7)$$

$$PV = \nu RT. \quad (8)$$

Подставляя (7) и (8) в (5) и (6), будем иметь:

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad (9)$$

$$C_P = C_V + R = \frac{i+2}{2} R, \quad (10)$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i}, \quad (11)$$

где i - число степеней свободы молекулы.

Формулы (7-11) верны для идеальных газов, т.е. таких реальных газов, которые находятся при не очень высоких давлениях и не очень низких температурах; при этом, чем выше температура газа, тем при большем давлении можно газ считать идеальным.

2. АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Процесс называется *адиабатическим*, если он протекает без обмена теплом с внешней средой. Все реальные быстродействующие процессы являются адиабатическими. К примеру, процессы сжатия и расширения в двигателях внутреннего сгорания хорошо описываются адиабатическим процессом, так как за время протекания этих процессов рабочее вещество (из-за медленности процесса теплопроводности) не успевает сколько-нибудь заметно обмениваться теплом с окружающей средой.

Математически адиабатический характер процесса выражается в том, что в первом законе термодинамики (2) следует положить $\delta Q = 0$, т.е.

$$dU + \delta A = 0$$

или

$$\nu C_V dT + PdV = 0. \quad (12)$$

Из уравнения (12) видно, что при адиабатическом расширении ($dV > 0$) газ охлаждается ($dT < 0$), а при адиабатическом сжатии ($dV < 0$) газ нагревается ($dT > 0$).

После дифференцирования уравнения (8), находим

$$\nu dT = \frac{1}{R} (PdV + VdP). \quad (13)$$

Подставив это выражение в (12), получим

$$\gamma PdV + VdP = 0. \quad (14)$$

Разделим обе части уравнения (14) на PV , и проинтегрируем его, считая что $\gamma = const$. В результате найдем связь между давлением и объемом при адиабатическом процессе (уравнение адиабаты):

$$PV^\gamma = const. \quad (15)$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ γ МЕТОДОМ КЛЕМАНА - ДЕЗОРМА.

Экспериментальная установка состоит (рис. 1) из 20 литрового стеклянного баллона 1 , соединенного с манометром 2 и с насосом 3 . При помощи крана K_1 газ в баллоне может быть соединен с атмосферой. Если при помощи насоса 3 (кран K_1 закрыт) накачать в баллон небольшую порцию воздуха, то температура и давление воздуха внутри баллона увеличатся. Через несколько минут теплота отведется через стенки баллона в атмосферу и температура сравняется с комнатной T_0 . Это наступит тогда, когда столбики воды в манометре перестанут перемещаться, показывая установившуюся разность уровней h_1 . Таким образом зафиксируем первое состояние газа в баллоне 1 :

$P_1 = P_0 + h$; T_0 ; V_1 , где P_0 и T_0 - давление и температура в лаборатории.

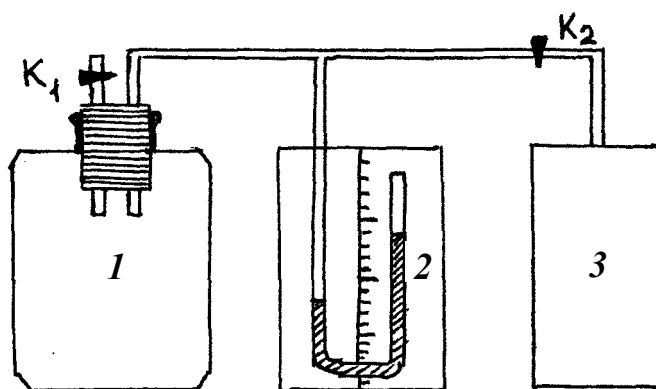


Рис. 1

Затем открывают кран K_1 и, как только уровни воды в манометре выровняются, кран K_1 быстро закрывают. Этот процесс расширения газа, с совершением работы против комнатного давления P_0 , можно считать, из-за его быстротечности, адиабатическим. Следовательно, в

конце адиабатического процесса (состояние 2) параметры газа будут: $P_0; T_1 < T_0; V_2$.

Охладившийся при расширении газ в баллоне через некоторое время вследствие теплообмена нагреется до комнатной температуры T_0 . При этом процесс нагревания будет происходить изохорически так, что давление газа в баллоне вырастет до некоторой величины $P_2 = P_0 + h_2$, где h_2 - установившаяся разность уровней в манометре. Таким образом, будет зафиксировано третье состояние газа в баллоне: $P_2 = P_0 + h_2; T_0; V_2$.

Первое и второе состояния газа в баллоне связаны уравнением адиабаты:

$$P_1 V_1^\gamma = P_0 V_2^\gamma, \quad (16)$$

а первое и третье - уравнением изотермы:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2. \quad (17)$$

Исключая из уравнений (16) и (17) объемы, получим

$$\frac{P_1}{P_0} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^\gamma. \quad (18)$$

Откуда находим

$$\gamma = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{\ln P_1 - \ln P_2} = \frac{\ln(P_0 + h_1) - \ln P_0}{\ln(P_0 + h_1) - \ln(P_0 + h_2)}. \quad (19)$$

Так как $h_i \ll P_0$ ($i=1,2$), то можно разложить $\ln(P_0 + h_i)$ в точке P_0 в ряд по степеням малой величины h_i . Пренебрегая в разложении членами второго порядка и выше, получим

$$\ln(P_0 + h_i) \cong \ln P_0 + \frac{h_i}{P_0}. \quad (20)$$

Подставим разложения (20) в (19). В результате будем иметь:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (21)$$

3.1 Измерения

- а) Закрывать кран K_1 , кран K_2 открыть. Накачивать в баллон 1 насосом 3 воздух до тех пор, пока разность уровней в манометре 2 не станет $15 \div 20$ см.

- б) Закрывать кран K_2 . Выждать 2-3 минуты, пока температура внутри баллона станет равной температуре комнатной, т.е. пока уровни воды в манометре не установятся. Произвести отсчет разности уровней h_1 в обоих коленах манометра. Отсчет производить по нижним краям мениска.
- в) Открыть кран K_1 на такое малое время, пока не выровняются уровни в манометре. Затем кран K_1 закрыть.
- г) Подождать 2-3 минуты, пока установятся уровни в коленах манометра (это будет свидетельством о равенстве температур в баллоне и комнате), отсчитать показание h_2 манометра.
- д) По формуле (21) вычислить γ .
- Пункты (а - д) повторить не менее 5 раз.
 - По результатам измерений вычисляют среднее значение γ .

**4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ γ ,
КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ И АДИАБАТИЧЕСКОЙ
СЖИМАЕМОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ
ВОЗДУХА МЕТОДОМ ЗВУКОВОГО ФАЗОМЕТРА**

Звуковые колебания представляют собой чередования сжатий и разрежений в газе (продольную волну). Сжатия и разрежения в газе сменяют друг друга настолько быстро, что теплообмен между частями газа, имеющими разные температуры, не успевают произойти сколько-нибудь заметно. Такие процессы описываются уравнением адиабаты (15):

$$P = \text{const} \rho^\gamma, \quad (22)$$

где $\rho = \frac{m}{V}$ - плотность газа. Как доказывается в механике, в звуковой волне избыточное давление dP и скачок плотности $d\rho$ газа перемещаются со скоростью звука v и связаны соотношением

$$v^2 = \frac{dP}{d\rho}. \quad (23)$$

Дифференцируя по ρ выражение (22) и подставляя его в (23), получим

$$v^2 = \text{const} \gamma \rho^{\gamma-1}. \quad (24)$$

Подставим в последнее соотношение вместо постоянной ее значение, найденное из (22), и учтем, что из уравнения Менделеева - Клапейрона

$$P = \frac{\rho RT}{\mu}, \quad (25)$$

получим

$$v^2 = \gamma \frac{RT}{\mu}, \quad (26)$$

где μ - масса одного моля газа.

Таким образом, если колебания в звуковой волне считать адиабатными, то, измерив скорость распространения волны v и температуру газа T , можно найти постоянную γ :

$$\gamma = \frac{\mu}{RT} \cdot v^2.$$

Измеряя скорость v при различных температурах газа, можно получить экспериментальную зависимость γ от температуры.

4.1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ В ВОЗДУХЕ

Звуковые колебания в трубе 1 (рис. 2) возбуждаются телефоном T , улавливаются микрофоном M и подаются на вертикальные пластины Y осциллографа $CI-78$.

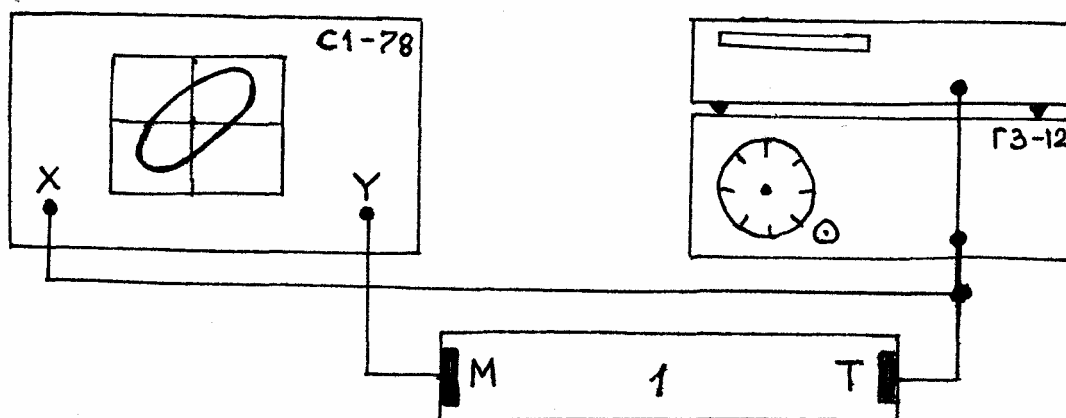


Рис. 2

Мембрана телефона приводится в движение переменным током звуковой частоты, подаваемым от генератора ГЗ-12. На второй вход горизонтальных пластин осциллографа подается синусоидальный сигнал непосредственно от генератора. Частота генератора контролируется частотомером.

Таким образом, на вертикальных и горизонтальных пластинах осциллографа возникают два векторных синусоидальных взаимно перпендикулярных электрических поля одинаковой частоты ω :

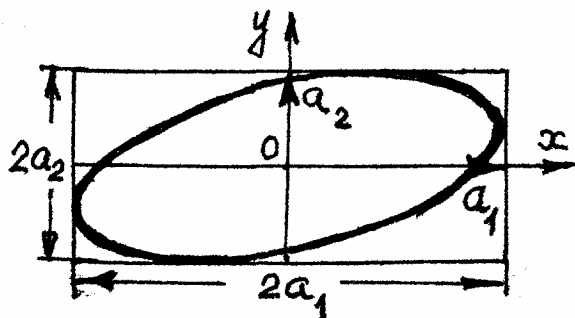
$$\bar{x} = \bar{a}_1 \cos(\omega t - \varphi_1)$$

$$\bar{y} = \bar{a}_2 \cos(\omega t - \varphi_2)$$

где \bar{a}_1, \bar{a}_2 - постоянные взаимно перпендикулярные векторы.

Суммарное электрическое поле $\bar{z} = \bar{x} + \bar{y}$ будет управлять движением электронного пучка, проецируемого на экран осциллографа.

Введем декартову систему координат, совпадающую с осями экрана осциллографа, направив ось x по направлению вектора \bar{a}_1 , ось Y - по направлению вектора \bar{a}_2 (рис. 3).



Р и с. 3

Тогда координаты конца вектора \bar{z} в момент времени t будут равны соответственно

$$x = a_1 \cos(\omega t - \varphi_1), \quad (28)$$

$$y = a_2 \cos(\omega t - \varphi_2). \quad (29)$$

Воспользовавшись известными тригонометрическими формулами, перепишем выражения (28) и (29) в виде:

$$\frac{x}{a_1} = \cos \varphi_1 \cos \omega t + \sin \varphi_1 \sin \omega t, \quad (30)$$

$$\frac{y}{a_2} = \cos \varphi_2 \cos \omega t + \sin \varphi_2 \sin \omega t. \quad (31)$$

Умножим равенство (30) на $\cos \varphi_2$, а (31) - на $(-\cos \varphi_1)$ и сложим результаты:

$$\frac{x}{a_1} \cos \varphi_2 - \frac{y}{a_2} \cos \varphi_1 = \sin \omega t \sin(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (32)$$

Умножим теперь (30) на $\sin \varphi_2$, а (31) - на $(-\sin \varphi_1)$ и также сложим результаты:

$$\frac{x}{a_1} \sin \varphi_2 - \frac{y}{a_2} \sin \varphi_1 = \cos \omega t \sin(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (33)$$

Возведем (32) и (33) в квадрат и затем сложим их. В результате будем иметь:

$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} - 2 \frac{xy}{a_1 a_2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) = \sin^2(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (34)$$

Это уравнение эллипса, так как это уравнение второго порядка, а x и y меняются в ограниченных пределах, не выходя за пределы прямоугольника со сторонами $2a_1$, $2a_2$ (рис. 3).

Итак, в результате сложения двух взаимно перпендикулярных электрических полей, совершающих гармонические колебания с одинаковой частотой, получается вектор электрического поля \vec{z} , конец которого (точка на экране осциллографа) движется по эллипсу.

Теперь обратимся к звуковой волне, распространяющейся в трубе **1** (рис. 2). Она испытывает многократные отражения от торцов, где расположены телефон **T** и микрофон **M**. Звуковые колебания в трубе являются, таким образом, наложением всех отраженных волн и, как показывает волновые расчеты, имеют очень сложный характер. Картина упрощается, если расстояние l между микрофоном и телефоном равно целому числу полуволн, т.е. когда

$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (35)$$

где n - целое число, а λ - длина волны звука в трубе.

Тогда, очевидно, волна, отраженная от торца, где расположен микрофон, вернувшись к ее началу (торцу, где расположен телефон) и вновь отраженная, совпадает по фазе с падающей. Совпадающие по фазе волны усиливают друг друга, амплитуда звуковых колебаний при этом возрастает - наступает резонанс. При этом, очевидно, слои газа, прилегающие к торцам трубы, не испытывают смещения (узел смещения). Узлы смещения повторяются по всей длине трубы через $\lambda/2$. Между узлами находятся максимумы смещения (пучности). Состояние волны с неизменными в пространстве положениями узлов смещения и пучностей, называют **стоячей волной**. Таким образом, при выполнении соотношения (35) в трубе возникает стоячая волна.

Умножим левую и правую части выражения (35) на волновое число $k = 2\pi / \lambda$ (волновое число численно равно набегу фазы волны на расстоянии 1 м). Это дает:

$$kl = n\pi. \quad (36)$$

Левая часть (36), равная kl - это фаза звукового гармонического колебания, набравшая на l метрах трубы; она, очевидно, равна разности фаз колебаний на входах x и y осциллографа. Таким образом, в выражении (34) разность фаз

$$\varphi_2 - \varphi_1 = n\pi. \quad (37)$$

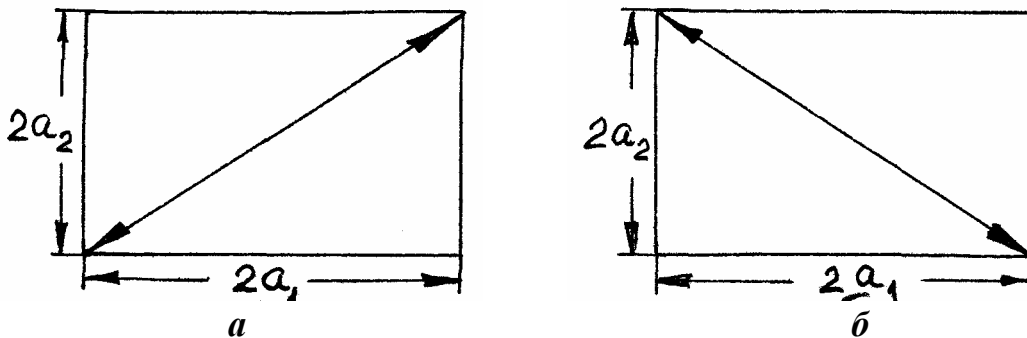
При $n = 2k$, $k = 0, 1, 2, \dots$ из выражения (34), с учетом (37),

следует, что
$$\left(\frac{x}{a_1} - \frac{y}{a_2} \right)^2 = 0.$$

Откуда

$$y = \frac{a_2}{a_1} \cdot x. \quad (38)$$

Таким образом, уравнение эллипса при разности фаз $\varphi_2 - \varphi_1$ колебаний на входах x и y осциллографа, равной $2k\pi$, вырождается в уравнение прямой, лежащей на диагонали прямоугольника и идущей по первому и третьему квадрантам; конец вектора \vec{z} колеблется по этой диагонали (рис. 4а).



Р и с. 4

При $n = 2k + 1$ разность фаз $\varphi_2 - \varphi_1 = (2k + 1)\pi$ и уравнения эллипса (34) вырождается в прямую

$$y = -\frac{a_2}{a_1} \cdot x.$$

Конец вектора \vec{z} колеблется при этом по диагонали прямоугольника, идущей по второму и четвертому квадрантам (рис. 4б).

После проведенного анализа работы установки, представленной на рис. 2, нетрудно определить методику измерения на ней скорости распространения звуковой волны в воздухе.

В самом деле, скорость звука связана с его частотой f и длиной волны λ соотношением.

$$v = \lambda f . \quad (40)$$

Поэтому измерение скорости v сводится к измерению длины волны.

Измерение длины волны λ можно производить двумя способами:

1. При неизменной частоте f звукового генератора (а следовательно, и неизменной длине звуковой волны λ) можно изменять расстояние l между телефоном и микрофоном, перемещая, к примеру, телефон от микрофона. Расстояние при этом между микрофоном и телефоном увеличивается, и наблюдаются через расстояние, равное $\lambda/2$, ряд последовательно чередующихся прямых (резонансов) (38) и (39). При этом, последовательность увеличивающихся расстояний l будет принимать значения:

$$l_n = n \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad l_{n+1} = (n+1) \frac{\lambda}{2}, \dots, \quad l_{n+m} = (n+m) \frac{\lambda}{2}.$$

Из общего члена этой последовательности следует, что

$$l_{n+m} - l_n = m \cdot \frac{\lambda}{2} . \quad (41)$$

Из (41) видно, что $\lambda/2$ равно угловому коэффициенту графика прямой, построенной в системе координат, по оси абсцисс которой откладывается номер m очередного резонанса, а по оси ординат соответствующая измеренная разность $l_{n+m} - l_n$. Через полученные точки проводится наилучшая прямая (например, по методу наименьших квадратов). Угловым коэффициентом этой прямой равен длине полуволны. Затем по формуле (40) вычисляется скорость звука;

2. При постоянном расстоянии l между телефоном и микрофоном плавно изменяют частоту f звукового генератора, а следовательно, длину звуковой волны λ . Для последовательных чередований прямых (резонансов) (38) и (39) имеем:

$$l = \frac{\lambda_1}{2} n = \frac{\lambda_2}{2} (n+1) = \dots = \frac{\lambda_{m+1}}{2} (m+n). \quad (42)$$

Из выражений (40) и (42) получим:

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2l} n, \quad f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{2l} (n+1) = f_1 + \frac{v}{2l}, \dots,$$

$$f_{m+1} = \frac{v}{\lambda_{m+1}} = \frac{v}{2l} (n+m) = f_1 + \frac{v}{2l} m. \quad (43)$$

Полученные результаты изображают на графике, откладывая по оси абсцисс номер m , когда наблюдается на экране осциллографа прямая (38) или (39), а по оси ординат разность $f_{m+1} - f_1$. В этом случае, как следует из выражения (43)

$$f_{m+1} - f_1 = \frac{v}{2l} \cdot m. \quad (44)$$

Через полученные точки проводится наилучшая прямая. Угловой коэффициент, которой определяет величину $v/2l$. Зная l и угловой коэффициент, находят скорость звука v .

Определив скорость звука v по формуле (27) находят γ . Используя полученные значения v и γ можно вычислить такие термодинамические величины как **коэффициент объемного теплового расширения воздуха**

$$\varepsilon = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT} \right)_P = \frac{1}{T} = \frac{\gamma R}{\rho v^2}, \quad (45)$$

коэффициент изотермической

$$\beta_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dP} \right)_T = \frac{1}{P} = \frac{\gamma}{\rho v^2} \quad (46)$$

и коэффициент адиабатической сжимаемости воздуха:

$$\beta_{ad} = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dP} \right)_{ad} = \frac{1}{\gamma P} = \frac{1}{\rho v^2} = \frac{\beta_T}{\gamma}. \quad (47)$$

4.2 Задание по работе

1. Соберите установку согласно рис. 2, проверив заземление приборов.
2. Включите в сеть осциллограф, звуковой генератор и частотомер и дайте им прогреться в течение 10 минут.

3. Примерно считая скорость звука равной 330 м/с, рассчитайте, в каком диапазоне частот $[f_1, f_2]$ необходимо производить измерения, чтобы на заданной длине трубы наблюдать $5 \div 10$ резонансов.
4. Временно отключите сигнал от входа "X" осциллографа. Поставьте переключатель режима блока горизонтального отклонения в положение "Внутр". При этом на экране осциллографа должна наблюдаться синусоида.
5. Установите амплитуду этой синусоиды такой величины, чтобы в установленном диапазоне частот она имела неискаженную синусоидальную форму. Если форма колебаний искажена, уменьшайте амплитуду сигнала, поступающего с генератора, пока искажения не прекратятся.
6. Подключите ко входу "X" осциллографа сигнал от звукового генератора. При этом переключатель режима блока горизонтального отклонения поставьте в положение "Внешн".
7. Плавно увеличивая расстояние между телефоном и микрофоном последовательно измерьте расстояние l_n между первым и вторым резонансом, между первым и третьим резонансом и т.д., т.е. найдите величины $(l_{n+m} - l_n)$ при $m = 1, 2, \dots$
8. Повторите измерения для двух-трех значений частоты из диапазона $[f_1, f_2]$. Частоту измеряйте частотомером.

9. В соответствии с выражением (41) постройте график функции

$$l_{n+m} - l_n = m \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (48)$$

откладывая по оси ординат $l_{n+m} - l_n$, а по оси абсцисс - m . Угловым коэффициентом прямой (48) определяет половину длины волны $\lambda/2$. Используя формулы (27), (40), (45), (46) и (47), найдите γ , ε , $\beta_{г}$, $\beta_{ид}$.

10. При постоянном расстоянии l между телефоном и микрофоном произведите измерение скорости звука другим методом. Для этого, плавно увеличивая частоту генератора, получите ряд последовательных резонансных значений частоты, отмечая момент резонанса, когда на экране осциллографа эллипс вырождается в прямую (38) либо в прямую (39). Измерения частоты производить частото

мером. Убедитесь в повторяемости результатов, производя измерения при уменьшении частоты.

11. Для измеряемых частот f_i составьте разности $f_{m+1} - f_1$, которые, согласно (44), равны $\nu m / 2l$.
12. Полученные результаты изобразите на графике, откладывая по оси абсцисс номер резонанса m , а по оси ординат - разность между частотой последующих резонансов и частотой первого резонанса $f_{m+1} - f_1$. Через полученные точки проведите наилучшую прямую. Как видно из (44), угловой коэффициент полученной прямой определяет величину $\nu / 2l$. Вычислите значения скорости звука и постоянную адиабаты γ .
13. Повторите пункты 10-12 для другого расстояния l .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Используя формулу (11) вычислите теоретическое значение постоянной адиабаты γ для воздуха..
2. Докажите формулы (45-47). (Используйте соотношения (7) и (14)).
3. При какой разности фаз $\varphi_2 - \varphi_1$ на экране осциллографа будет наблюдаться окружность?
4. Оцените ошибку в разложении (20).
5. В плоскости P - V графически представьте все процессы, происходящие с газом в методе Клемана - Дезорма.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Теплоемкость. Применение первого закона термодинамики к вычислению теплоемкости вещества.....	3
2. Адиабатический процесс.....	5
3. Определение постоянной γ методом Клемана - Дезорма.....	6
3.1. Измерения.....	8
4. Определение постоянной γ , коэффициентов изотермической и адиабатической сжимаемости и коэффициента теплового расширения воздуха методом звукового фазометра.....	8
4.1. Описание экспериментальной установки и методики измерений скорости звуковой волны в воздухе.....	9
4.2. Задание по работе.....	15
Контрольные вопросы.....	16