

Работа 2.8

Определение отношения теплоемкостей газа акустическим методом

Оборудование: звуковой генератор, электронный частотомер, прибор для определения скорости звука, понижающий трансформатор, осциллограф.

Введение

Теплоемкостью C тела называют отношение переданной телу теплоты Q к изменению его температуры ΔT , вызванному этой теплотой:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}.$$

Различают *удельную и молярную теплоемкости*. Количество теплоты, которое необходимо для нагревания одного моля вещества на один кельвин, называют *молярной теплоемкостью*. *Удельной теплоемкостью* называют количество теплоты, которое необходимо для нагревания единицы массы вещества на один кельвин. Молярная (удельная) теплоемкости тела зависят не только от его химического состава, но и от условий, в которых происходит его нагревание. Нагревание газов можно произвести при постоянном объеме или при постоянном давлении. Соответственно различают молярные (удельные) теплоемкости газов при постоянном объеме C_V и постоянном давлении C_p .

В термодинамике важное значение имеет отношение молярных (удельных) теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме $\gamma = C_p/C_V$. В частности, эта величина входит в *уравнение Пуассона* для *адиабатического процесса*: $pV^\gamma = \text{const}$.

Существует несколько способов экспериментального определения отношения теплоемкостей газов C_p/C_V . В данной работе используется акустический метод определения γ .

Известно, что скорость звука в газах определяется по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}. \quad (1)$$

где R — молярная газовая постоянная, T — температура газа, M — его молярная масса.

Из этой формулы получаем:

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

Таким образом, для определения γ достаточно измерить скорость звука и температуру газа.

Описание установки и метода. Для определения скорости звука в газах служит установка, схема которой представлена на рис. 2.8. Источником звука является телефон T , который питается от звукового генератора $ЗГ$. Приемником звука служит микрофон M , который подсоединен к горизонтально отклоняющим пластинам X электронного осциллографа $ЭО$.

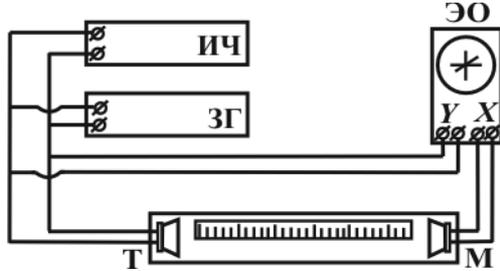


Рис. 2.8

На вертикально отклоняющие пластины Y подается переменное напряжение от звукового генератора $ЗГ$. Частота колебаний измеряется цифровым измерителем частоты $ИЧ$. Телефон T и микрофон M располагаются в стеклянной трубке. Микрофон может свободно перемещаться вдоль трубки. Расстояние, на которое смещается микрофон, определяется по шкале, которая находится внутри трубки. Концы трубки закрыты звукопоглощающими заглушками. Для определения скорости звука используется формула:

$$v = \lambda \nu, \quad (3)$$

где λ — длина волны, ν — частота.

Частота колебаний ν определяется при помощи электронного частотомера, а длина волны λ — методом сдвига фаз. Сущность этого метода заключается в том, что при сложении взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты на экране осциллографа наблюдаются фигуры Лиссажу, по форме которых можно судить о разности фаз слагаемых колебаний, которая определенным образом связана с длиной волны звуковых колебаний.

Пусть на вертикальный вход осциллографа и телефон T от звукового генератора подводится напряжение $U_y = A_1 \sin \omega t$. Телефон будет излучать звуковые волны, которые в цепи микрофона M создадут переменное напряжение U_x той же частоты ω . Но микрофон находится на расстоянии Δx от телефона и поэтому колебания в его цепи будут отставать по фазе на угол φ от колебаний в цепи телефона, т. е.

$$U_x = A_2 \sin(\omega t - \varphi),$$

где $\varphi = \frac{2\pi n \Delta x}{\lambda}$, $n = 0, 1, 2, \dots$; ω — циклическая частота электрических колебаний,

подаваемых на микрофон.

Если напряжение U_x , которое возникает в цепи микрофона, подать на горизонтально отклоняющие пластины X электронного осциллографа, то возникает процесс сложения двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний. Как известно, траекторией результирующего колебания будет эллипс,

который возникнет на экране осциллографа. Уравнение этого эллипса можно получить, если из системы уравнений

$$\begin{cases} U_y = A_1 \sin \omega t, \\ U_x = A_2 \sin(\omega t - \varphi) \end{cases}$$

исключить время t .

В результате получим:

$$\frac{U_x^2}{A_2^2} + \frac{U_y^2}{A_1^2} - \frac{2U_x U_y \cos \varphi}{A_1 A_2} = \sin^2 \varphi.$$

При $\varphi = 2\pi n$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) эллипс превращается в прямую $U_y = \frac{A_1}{A_2} U_x$, которая проходит в первой и третьей четвертях (рис. 2.9, а), а при $\varphi = (2n + 1)\pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) в прямую $U_y = -\frac{A_1}{A_2} U_x$, проходящую через вторую и четвертую четверти (рис. 2.9, б).

При постепенном изменении расстояния x между микрофоном M и телефоном T на экране осциллографа будет наблюдаться последовательное превращение эллипсов в прямые и наоборот. Если при некотором расстоянии x

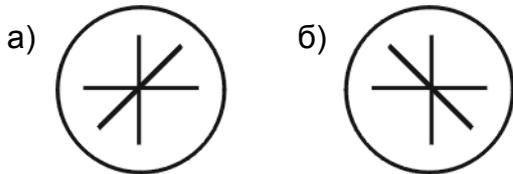


Рис. 2.9

между микрофоном M и телефоном T на экране осциллографа наблюдается прямая линия, то при изменении этого расстояния на $\Delta x_i = \lambda/2$ на экране снова возникает прямая линия, которая проходит через другие четверти. При дальнейшем изменении расстояния Δx на $\lambda/2$ прямая линия на экране снова изменяет свое положение и т. д. По известным значениям Δx_i можно найти длину звуковой волны $\lambda = 2\Delta x_i$ и по формуле (3) определить скорость звука v . Надо иметь в виду, что из-за нелинейных искажений, которые вносятся аппаратурой, электрическими наводками, шума в помещении и т. д. вертикальное и горизонтальное смещения электронного луча на экране осциллографа будут не совсем синусоидальными. Поэтому фигуры Лиссажу обычно не удастся превратить в идеальную прямую. В этом случае микрофон необходимо перемещать до тех пор, пока площадь эллипса не станет минимальной.

Температура газа измеряется термометром, который закреплен на трубке.

Порядок выполнения работы

1. Включите в цепь 220 В звуковой генератор $ЗГ$, измеритель частоты $ИЧ$, осциллограф $ЭО$. На шкале генератора звука установите частоту 3 кГц.
2. Поместите микрофон вблизи телефона. Пользуясь ручками вертикального и горизонтального усилителя осциллографа, получите на экране эллипс.
3. Медленно отодвигая микрофон от телефона, наблюдайте и записывайте расстояния для тех его положений, при которых эллипс на экране осциллографа превращается в прямую линию. Найдите 6 — 9 таких положений. Сделайте такие же наблюдения при перемещении микрофона в противоположном направлении. Опыт повторите 2 — 3 раза. Найдите среднее значение Δx_i , длину волны λ и по формуле (3) скорость звука.
4. Выполните такие же измерения на других частотах (2 кГц, 2,5 кГц).
5. Включите в цепь 220 В трансформатор, который питает нагревательные элементы, находящиеся внутри стеклянной трубки. Когда термометр покажет температуру 30 °С, выключите трансформатор.
6. Определите скорость звука при температуре 30 °С.
7. Таким же способом определите скорость звука при других температурах.
8. Постройте график зависимости скорости звука в воздухе от температуры $v = f(T)$.
9. По формуле (2) определите отношение $\gamma = C_p/C_v$ для воздуха и сравните его со значением, которое следует из кинетической теории газов.
10. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№п/п	Δx , м	λ , м	ν , Гц	v , м/с	T , К	γ

ЗАДАНИЕ ДЛЯ УИР

Проведите опыт с углекислым газом (CO_2), определите в нем скорость звука, γ и число степеней свободы его молекул.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется теплоемкостью?
2. Назовите основные положения классической теории теплоемкости.
3. Что такое удельная и молярная теплоемкости?
4. Какая связь между удельными и молярными теплоемкостями?
5. Запишите формулы, связывающие молярные и удельные теплоемкости с числом степеней свободы молекул идеального газа.
6. Дайте определение степени свободы молекул газа?

7. Чему равна скорость распространения звука в газах?
8. Зависит ли скорость звука в воздухе от частоты?
9. Зависит ли $\gamma = C_p/C_V$ от температуры в том интервале температур, при которых выполнялись измерения в данной работе?
10. Какова связь между длиной волны, частотой и скоростью распространения звука? Как определялась длина звуковой волны в данной работе?