

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**  
**«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**Лабораторная работа 2.1.1**  
**«Измерение удельной теплоемкости воздуха при постоянном  
давлении»**

Овсянников Михаил Александрович  
студент группы Б01-001  
1 курс ФРКТ

г. Долгопрудный  
2021 г.

**Цель работы:** 1) измерение повышения температуры воздуха в результате подвода тепла при стационарном течении через стеклянную трубу; 2) вычисление по результатам измерений теплоемкости воздуха при постоянном давлении.

**В работе используются:** теплоизолированная трубка; электронагреватель; источник питания постоянного тока Б5-47; термopapa; амперметр; вольтметр; универсальный цифровой вольтметр В7-23; газовый счетчик; секундомер.

## Теоретические сведения

Определение теплоемкости тел обычно производится в калориметрах, т. е. в сосудах, обеспечивающих теплоизоляцию исследуемого тела от внешней среды. При этом регистрируется количество тепла  $\delta Q$ , полученное телом, и изменение температуры этого тела  $dT$ . Теплоемкость определяется как частное от деления  $\delta Q$  на  $dT$ :

$$C = \frac{\delta Q}{dT}.$$

Надежность измерения определяется в основном качеством калориметра. Необходимо, чтобы количество тепла, затрачиваемое на нагревание исследуемого тела, было существенно больше тепла, расходуемого на нагревание калориметра, и на потери, связанные с утечкой тепла из установки. При измерении теплоемкости воздуха эти требования выполнить очень трудно, так как масса воздуха, заключенного в калориметре, и, следовательно, количество тепла, идущее на его нагревание, очень малы. Чтобы увеличить количество воздуха при неизменных размерах установки, в нашей работе воздух продувается сквозь калориметр, внутри которого установлен нагреватель. Измеряется количество тепла, отдаваемое нагревателем, масса протекающего воздуха и изменение его температуры.

## Экспериментальная установка.

Схема установки изображена на рисунке 1. Кран К служит для регулировки количества воздуха, поступающего в установку. Объем воздуха, прошедшего через калориметр, измеряется газовым счетчиком ГС.

Калориметр представляет собой стеклянную трубку с вакуумной теплоизолирующей оболочкой. Давление воздуха в вакуумной оболочке ка-

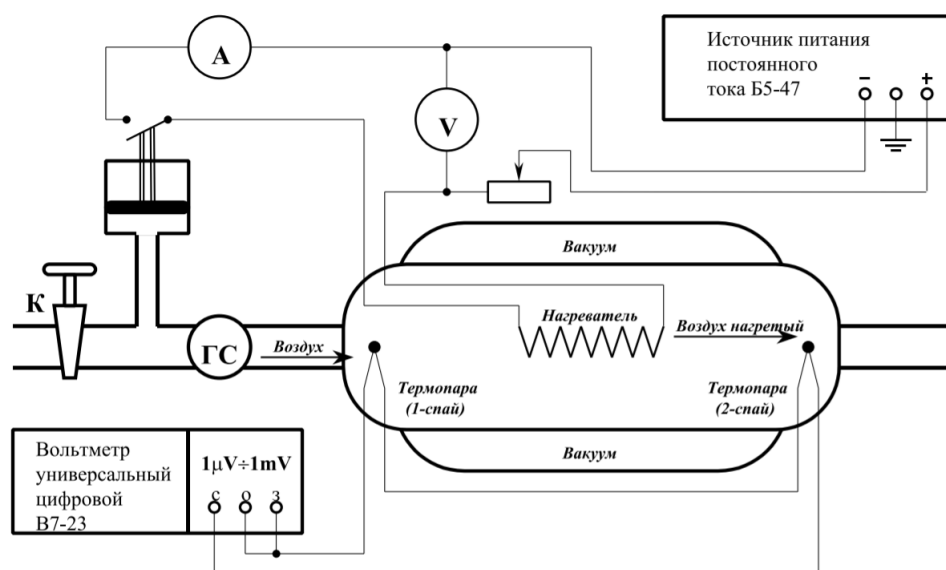


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

лориметра не превышает  $10^{-5}$  торр. Теплопроводность воздуха при таком давлении ничтожно мала. Обращенные в сторону вакуума стенки калориметра посеребрены, что уменьшает потери тепла из-за излучения.

Электронагреватель, укрепленный в калориметре, сделан в виде сетки и подключен к источнику питания постоянного тока Б5-47. В процессе измерений нагреватель обдувается проходящим через калориметр воздухом и равномерно нагревает его. Для предохранения электропечи от перегорания предусмотрена блокировка, размыкающая цепь нагревателя при отключении воздушного потока или при недостаточной его скорости. В цепь нагревателя включены амперметр и вольтметр, служащие для измерения мощности протекающего через нагреватель тока. Для измерения температуры воздуха служит термопара. Один спай термопары расположен в струе воздуха, входящего в калориметр, второй спай — в струе выходящего нагретого воздуха. Возникающая в термопаре ЭДС пропорциональна изменению температуры воздуха и измеряется универсальным цифровым вольтметром В7-23. В работе применяется медно-константановая термопара. При разности температур спаев  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ЭДС термопары равна  $4,23\text{ мВ}$  (холодный спай находится при комнатной температуре).

В начале опыта, непосредственно после включения установки, значительная часть мощности нагревателя расходуется на нагревание калориметра. Через некоторое время распределение температур устанавливается, и мощность затрачивается на нагревание воздуха и на потери, связанные главным образом с теплопроводностью стенок.

Отметим, что потери тепла зависят только от распределения температур вдоль стенок, а значит, от перепада температур на спаях термопары,

и не зависят непосредственным образом от мощности нагревателя и потока воздуха. Это обстоятельство позволяет экспериментальным путем найти и исключить потери тепла в калориметре.

Вычислим работу, совершаемую при протекании газа через калориметр. Внешняя работа по перемещению моля газа в направлении течения в начале трубки равна  $A_1 = P_1 V_1$ , а в конце трубки давление препятствует движению и внешняя работа над газом отрицательна:  $A_2 = -P_2 V_2$ . Полная работа над газом равна  $A_1 + A_2 = P_1 V_1 - P_2 V_2$ , а работа самого газа равна этой же величине, но с обратным знаком:

$$A = P_2 V_2 - P_1 V_1.$$

Здесь  $P_1, V_1$  — давление и объем моля газа на входе, а  $P_2, V_2$ , — соответственно на выходе трубки.

Внутренняя энергия газа изменяется на величину  $\Delta U = U_2 - U_1$ .

Для определения количества тепла  $Q$ , полученного газом, воспользуемся первым началом термодинамики, то есть уравнением:

$$Q = U_2 - U_1 + P_2 V_2 - P_1 V_1 = H_2 - H_1,$$

где  $H = U + PV$  — энтальпия. Подведенное тепло идет на увеличение энтальпии (необходимо отметить, что в данном эксперименте можно пренебречь изменением кинетической энергии газа из-за малости скорости движения газа по сравнению со скоростью звука).

Для идеального газа  $H = C_p T$ , поэтому

$$Q = C_p (T_2 - T_1).$$

Следовательно, в данном эксперименте измеряется теплоемкость при постоянном давлении — это результат стационарности процесса.

Расчет удельной теплоемкости воздуха производится по очевидной формуле:

$$c_p = \frac{Q}{m \Delta T} = \frac{IV - N}{m \Delta T}, \quad (1)$$

где  $IV$  — мощность, выделяемая нагревателем,  $N$  — мощность тепловых потерь,  $m$  — масса воздуха, проходящего через калориметр за единицу времени,  $\Delta T$  — разность температур, измеренная термопарой.