

Федеральное Агентство по Образованию  
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)**

**Кафедра физики**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой физики

Профессор \_\_\_\_\_ Е.М. Окс

\_\_\_\_\_ 2007г.

Физика

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА

Руководство  
к компьютеризованной лабораторной работе по физике

Разработчик:  
профессор каф. физики

В.А. Бурдовицин

## 1 Введение

Целью настоящей работы является изучение явления теплопроводности, установление основных закономерностей этого явления и определение коэффициента теплопроводности воздуха.

## 2 Краткая теория

Рассмотрим газ, заключенный между двумя поверхностями, имеющими температуры  $T_1$  и  $T_2$ . Если эти температуры поддерживаются постоянными, то через газ устанавливается стационарный поток теплоты. Для простоты, чтобы рассмотреть одномерную задачу, поместим газ между двумя параллельными плоскостями (Рис.2.1) и ось  $X$  направим перпендикулярно к этим плоскостям. Тогда вдоль оси  $X$  будет градиент температуры  $\frac{dT}{dx}$ .

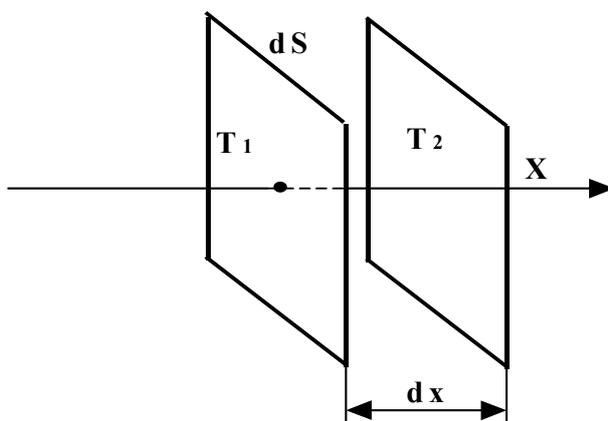


Рисунок 2.1- Схема рассмотрения явления теплопроводности.

Вдоль осей  $Y$  и  $Z$ , расположенным параллельно к ограничивающим газ поверхностям, температура не меняется. Рассмотрим поток теплоты через площадку  $dS = dydz$ , помещенную перпендикулярно к оси  $X$ . Согласно закону Фурье, количество теплоты  $\delta Q$ , перенесенное через площадку  $dS$  за время  $dt$ , равно

$$\delta Q = -\chi \frac{dT}{dx} dS dt. \quad (2.1)$$

Здесь  $\chi$  - коэффициент теплопроводности, определяемый как сортом газа, так и условиями: давлением, температурой.

Выражение для  $\delta Q$  слегка изменяется, если рассмотреть вместо плоской цилиндрическую конфигурацию. Пусть источником тепла служит цилиндр радиуса  $R_1$  и длины  $l$  много большей радиуса (Рис. 2.2). В этом случае поток тепла через цилиндрическую поверхность единичной длины и радиуса  $r$  ( $R_1 < r < R_2$ ) равен

$$\frac{\delta Q}{dt} = -\chi \frac{dT}{dr} 2\pi r l \quad (2.2)$$

Введя обозначение  $P = \frac{\delta Q}{dt}$ , перепишем (2.2)

$$P = -\chi \frac{dT}{dr} 2\pi r l \quad (2.3)$$

Полагая теперь, что приемником тепла является цилиндрическая поверхность радиуса  $R_2$ , а температуры внутреннего и внешнего цилиндров равны, соответственно,  $T_1$  и  $T_2$ , можно проинтегрировать (2.3) по  $r$  в пределах от  $R_1$  до  $R_2$ . В результате интегрирования получим

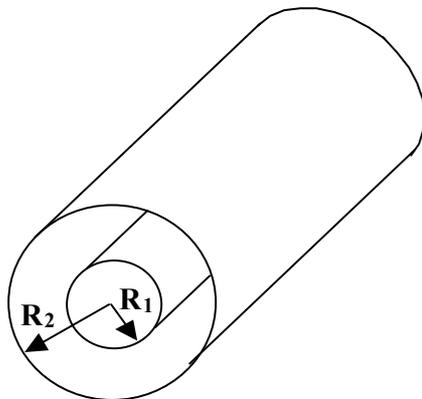


Рисунок 2.2- Рассмотрение теплопроводности в цилиндрической конфигурации.

$$\ln \frac{R_2}{R_1} = \chi \frac{2\pi l}{P} (T_1 - T_2) \quad (2.4)$$

Отсюда может быть получено выражение:

$$(T_1 - T_2) = \frac{1}{\chi} \frac{P}{2\pi l} \ln \frac{R_2}{R_1}. \quad (2.5)$$

Выражение (2.5) следует рассматривать как рабочую формулу для выполнения настоящей лабораторной работы.

### 3 Задание

Реализовать в эксперименте состояние баланса между теплом, выделяющимся в накаливаемой нити и теплом, передающимся за счет теплопроводности воздуха от накаленной нити внешнему цилиндру. По результатам эксперимента убедиться в наличии линейной зависимости между выделяемой мощностью и разностью температур нити и цилиндра, рассчитать коэффициент теплопроводности воздуха.

### 4 Описание экспериментальной установки.

Установка для проведения экспериментов представляет собой настольный блок, внешний вид которого схематически представлен на рис. 4.1. На горизонтальной панели расположены органы управления, на вертикальной – контрольно-измерительные приборы. К органам управления относятся: выключатель 1 «Сеть»; рукоятки 2, 3 «Давление», «Реверс» управления электроприводом (в данной работе не используются); кнопки 4 выбора лабораторной работы, рукоятки 5 «Накал лампы», 6 «Напряжение анода», 7 «Нагрев нити»; переключатели 8, 9 режимов работы измерительных приборов 10, 11. Лампочки 12 служат для индикации выбранной лабораторной работы. Цилиндр 13 с нитью, используемый в настоящей работе, находится под оргстеклом в передней части установки. Электрическая схема узла, предназначенного для проведения эксперимента, показана на рис. 4.2.

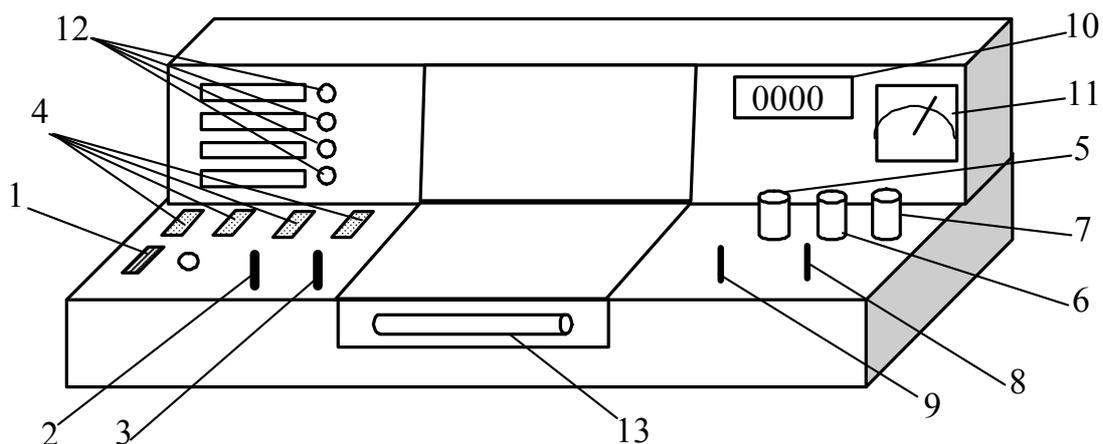


Рисунок 4.1 – Внешний вид лабораторной установки.

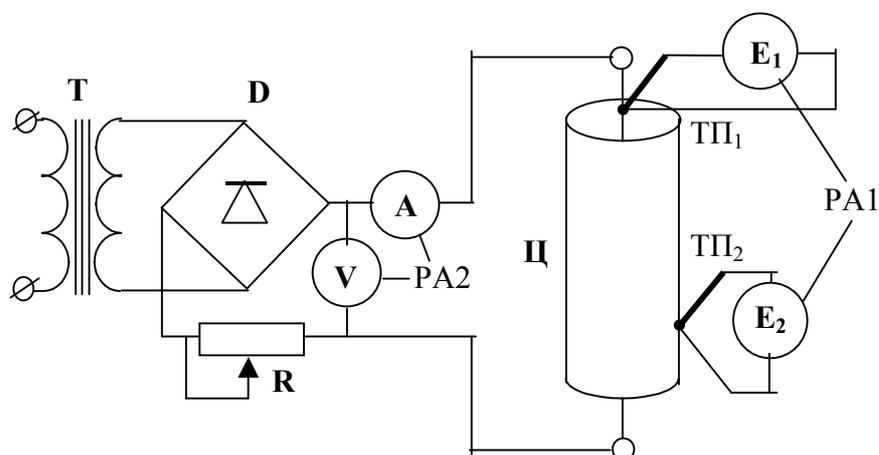


Рисунок 4.2 - Электрическая схема рабочего узла

Основные элементы схемы взаимодействуют следующим образом. Трансформатор  $T$  выдает напряжение порядка 1 В на диодный мост  $D$ . Выпрямленное напряжение поступает на нить накала, расположенную на оси приемного цилиндра  $\mathcal{C}$ . Ток накала и напряжение на нити измеряются амперметром  $A$  и вольтметром  $V$ , соответственно. Функции вольтметра и амперметра в установке выполняет один прибор 11 PA2, который измеряет напряжение в положении 1 переключателя 8 и ток – в положении 2. Температуры нити и цилиндра измеряются термопарами  $ТП$  (медь – константан), подключенными к милливольтметрам  $mV$ . Функции милливольтметров выполняет цифровой прибор 10 PA1, который подсоединяется к термопаре ТП1 (нить) в положении 2 переключателя 9 и к термопаре ТП2 (цилиндр) в положении 1. Переменный резистор  $R$ , управляемый рукояткой 7 «Нагрев нити», служит для регулировки тока нагрева нити.

## 5 Порядок выполнения работы.

5.1 Убедиться, что все органы управления находятся в исходном состоянии: выключатель 1 и кнопки 4 (Рис. 4.1) выключены.

5.2 Вставить штепсель в розетку и включить установку выключателем 1. При этом должна загореться сигнальная лампочка, расположенная рядом с выключателем.

- 5.3 С помощью одной из кнопок 4 включить работу «Теплопроводность воздуха». О включении свидетельствует одна из лампочек 12.
- 5.4 Вращая рукоятку «Нагрев нити» против часовой стрелки, установить минимальный ток через нить накала. Выждать 2 – 3 минуты и занести значения тока  $I$ , напряжения  $U$  с прибора 11 (рис.4.1) и показания термопар  $E_1$ ,  $E_2$  с прибора 10 в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 Результаты измерений.

№ измерения	$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$E_1$ , мВ	$E_2$ , мВ	$T_1$ , °С	$T_2$ , °С	$T_1-T_2$ , °С	Примеч.
1									$\ln(R_2/R_1)=$
2									
---									

Примечание. Если эксперимент проводится на установке, сопряженной с компьютером, то значения тока, напряжения, э.д.с. считываются из соответствующих окон на экране монитора. При выполнении работы следовать инструкциям, приведенным в разделе 6.

- 5.5 Повторить пункт 5.4 для 7 - 8 значений тока нагрева нити, постепенно увеличивая его.
- 5.6 Пользуясь градуировочной кривой (рис. 5.1), вычислить температуры  $T_1$  и  $T_2$  по измеренным  $E_1$ ,  $E_2$  и занести полученные значения в таблицу 5.1. Вместо градуировочной кривой можно использовать формулу

$$T=20,7+47 E - 0,27 E^2, \quad (5.1)$$

где  $T$  в градусах Цельсия,  $E$  – соответствующая термо-э.д.с. в мВ.

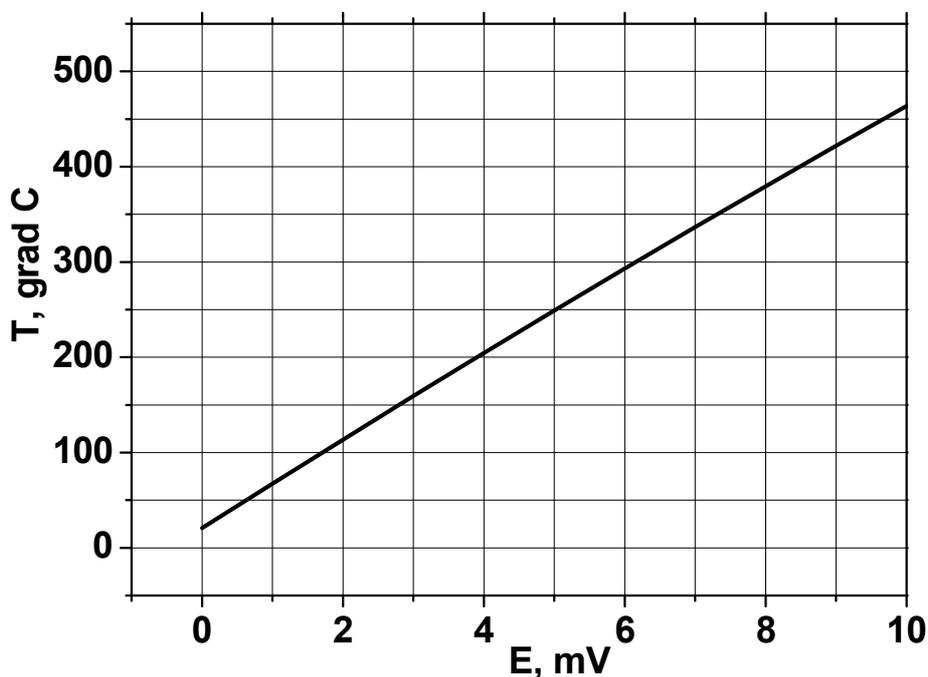


Рисунок 5.1 - Градуировочная кривая термопары медь – константан. Опорная температура  $20^{\circ}\text{C}$ .

- 5.7 По измеренным значениям  $I$ ,  $U$  рассчитать мощность  $P$  и занести значения в соответствующие ячейки Табл. 5.1.
- 5.8 Используя геометрические параметры  $R_1 = 0,6$  мм,  $R_2 = 9$  мм,  $l = 120$  мм, рассчитать

$\ln \frac{R_2}{R_1}$  и также занести в таблицу.

- 5.9 Нанести измеренные и рассчитанные величины на график в координатах  $(T_1 - T_2), P$ .
- 5.10 Рассчитать погрешности и нанести на график доверительные интервалы. Провести прямую в пределах доверительных интервалов.
- 5.11 По наклону прямой вычислить угловой коэффициент и рассчитать коэффициент теплопроводности воздуха и его погрешность.
- 5.12 Сравнить полученное значение с табличным  $(0,0257 \text{ Вт/м} \cdot \text{град})$  и сделать выводы по работе.

## 6 Порядок выполнения работы на установке, сопряженной с компьютером.

- 6.1 Включить компьютер.
- 6.2 Войти в среду «Лаборатория», для чего нажать комбинацию клавиш Cntrl-Alt-Del, ввести имя пользователя "student", нажать "ОК". На экране высветится меню.
- 6.3 Установить указатель мыши на значок «Лаборатория» и нажать дважды на левую кнопку мыши. При этом открывается меню с перечнем работ.
- 6.4 Выбрать строку с названием работы и щелкнуть мышью. На экране появится стенд с окнами, в которых отображаются измеряемые величины, таблица и график.
- 6.5 Включить питание лабораторной установки кнопкой 1 «Сеть» (Рис. 4.1). При этом загорится сигнальная лампочка, расположенная рядом с кнопкой 1. Одной из кнопок 4 включить работу «Теплопроводность воздуха», после чего загорится одна из сигнальных лампочек 12, и в окнах стенда  $U_n, I_n, P_n, TЭДС_{нити}, TЭДС_{цил}$  появятся соответствующие величины.
- 6.6 Вращая рукоятку 7 «Нагрев нити» против часовой стрелки, установить минимальный ток через нить накала. Выждать 2 – 3 минуты, убедиться, что цифры в окнах  $U_n, I_n, P_n, TЭДС_{нити}, TЭДС_{цил}$  не изменяются и зафиксировать показания, нажав мышью кнопку «Зафиксировать». Вычислить температуры нити  $T_n$  и цилиндра  $T_{ц}$ , пользуясь градуировочным графиком (Рис. 4.5), либо формулой (5.1). Использование формулы предпочтительнее, поскольку позволяет повысить точность вычислений. Использование программы EXCEL делает эту процедуру простой и не утомительной. Найденные значения температур следует занести в соответствующие окна стенда. После этого нажатием кнопки «Добавить результат» записать значения температур и мощности в таблицу на стенде.
- 6.7 Повторить пункт 6.6 для 7 - 8 значений тока нагрева нити, постепенно увеличивая его. Рекомендуется использовать интервал изменения напряжения 0,25 В. Появляющиеся в правой части стенда графики позволяют оценить качество проведенных измерений. Экспериментальные точки должны укладываться на плавные кривые. Причем кривая  $T_n$  должна быть расположена выше кривой  $T_{ц}$ . Наличие резко выпадающих точек означает промахи измерений. Эти точки следует удалить, выделив мышью соответствующую строку таблицы и нажав кнопку «Удалить результат».
- 6.8 Для проведения вычислений можно воспользоваться программой EXCEL. Для этого следует нажать мышью кнопку «Копировать данные в буфер», расположенную в верхней левой части экрана. Запустить EXCEL и вставить данные из буфера.
- 6.9 По завершении работы следует установить минимальный ток накала лампы и выключить установку кнопками 4 и 1 (Рис. 2.3), последовательно. Затем выйти из среды «Лаборатория», закрыв ее мышью, и выйти из системы, нажав последовательно «Пуск» и «Выход из системы».

**Изучение теплопроводности воздуха**

$U_{п}, В$         $I_{п}, А$         $P_{п}, Вт$

ТЭДС нити, мВ        $T_{п}, ^\circ C$

ТЭДС цил, мВ        $T_{ц}, ^\circ C$

$T_{п}, ^\circ C$	$T_{ц}, ^\circ C$	$P_{п}, Вт$

Зависимость температуры от мощности

Рисунок 6.1 – Стенд на экране монитора

6.10 Перенести результаты измерений в таблицу 5.1 в рабочей тетради и произвести обработку в соответствии с пп. 5.8 – 5.12.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 Какова цель работы?

7.2 В чем состоит суть явления теплопроводности?

7.3 Физический смысл и размерность коэффициента теплопроводности.

7.4 Зависимость коэффициента теплопроводности от параметров газа.

7.5 Закон Фурье. Его физическое толкование.

7.6 Как экспериментально определяется коэффициент теплопроводности?

7.7 О чем свидетельствует линейность графика в координатах  $(T_1 - T_2)$ ,  $P$  и, наоборот, как может быть истолковано отклонение экспериментальных точек от прямой.

7.8 В чем преимущество использования линеаризованного графика для определения коэффициента теплопроводности?

7.9 В чем отличие теплопроводности как механизма передачи тепла от конвекции.

7.10 Какие условия должны быть соблюдены для обеспечения возможности использования приведенных в разделе 2 модельных представлений?

7.11 Какие погрешности могут возникнуть при отклонении экспериментальной ситуации от модели?