

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

**Методические указания**

**к лабораторной работе № 26  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2013**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания

к лабораторной работе № 26  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2013

Составитель В.С. Осипов

УДК 534.23(07)

ББК 22.36(Я7)

Методические указания к лабораторной работе № 26 по дисциплине «Физика» «Определение коэффициентов теплопроводности твердых диэлектриков» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.С. Осипов– Уфа, 2013, – 9 с.

В работе изучается явление теплопроводности в твердых телах и определяются коэффициенты теплопроводности двух твердых диэлектриков через известный коэффициент теплопроводности третьего эталонного тела. Изложены теория метода, принцип работы экспериментальной установки, указана методика получения результатов и форма отчетности.

Предназначены для студентов технических ВУЗов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Молекулярная физика и термодинамика», для всех реализуемых направлений подготовки бакалавров.

Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: доктор физ.-мат. наук, доцент Михайлов Г.П.,  
канд. тех. наук, доцент кафедры ТЭТ Надыршин А.Я.

©Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2013

## Содержание

Введение .....	4
1. Цель работы.....	4
2. Задачи.....	4
3. Теоретическая часть .....	4
4. Экспериментальная установка и принцип ее работы .....	7
5. Требования по технике безопасности .....	8
6. Задания.....	8
7. Методика выполнения заданий .....	8
8. Контрольные вопросы .....	9
9. Требования к содержанию и оформлению отчета .....	9
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы ....	9
Список литературы .....	9

## Лабораторная работа № 26

### Определение коэффициентов теплопроводности твердых диэлектриков

#### Введение

Теплопроводность относится к явлениям переноса, в данном случае – переноса тепловой энергии. Основным законом теплопроводности выражается уравнением Фурье, которое применимо ко всем телам, независимо от того, в каком агрегатном состоянии они находятся. В работе с помощью экспериментальной установки, предназначенной для исследования теплопроводности твердых диэлектриков, это уравнение используется для определения основной количественной характеристики теплопроводности тел – коэффициента теплопроводности.

#### 1. Цель работы

Изучение явления теплопроводности и определение коэффициентов теплопроводности твердых диэлектриков.

#### 2. Задачи

1. Исследование теплопередачи через расположенные друг за другом слои различных веществ.
2. Вычисление коэффициентов теплопроводности твердых веществ с помощью уравнения Фурье.

#### 3. Теоретическая часть

Процесс передачи энергии от одного тела к другому или от одной части тела другой, происходящий без совершения работы, называют теплопередачей или теплообменом, а передаваемую при этом энергию – количеством теплоты или просто теплотой. Различают три вида теплопередачи: теплопроводность, конвекцию и излучение.

Теплопроводностью называют перенос энергии из областей с более высокой температурой в области с меньшей температурой, обусловленный тепловым движением частиц вещества (молекул, атомов, ионов, свободных электронов), не сопровождающийся переносом вещества. В твердых телах теплопередача может происходить только за счет теплопроводности.

Основным законом теплопроводности является закон Фурье,

утверждающий, что плотность потока тепловой энергии  $\vec{q}$  прямо пропорциональна градиенту температуры  $\text{grad}T$

$$\vec{q} = -\alpha \text{grad}T, \quad (3.1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплопроводности. Плотностью теплового потока называют вектор, направленный в сторону распространения тепловой энергии с модулем, равным количеству теплоты, переносимому за единицу времени через площадку единичной площади, расположенную перпендикулярно направлению распространения тепла. Градиент температуры, которая в общем случае в различных точках пространства может быть разной, представляет собой вектор, проекция которого на координатные оси равны частным производным функции  $T(x, y, z)$  по соответствующим координатам

$$\text{grad}T = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}, \quad (3.2)$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты, направленные вдоль осей  $x, y$  и  $z$ . Вектор градиента температуры направлен в сторону ее наибольшего возрастания, тогда как тепло передается в сторону уменьшения температуры, т.е. в направлении, противоположном ее градиенту. Этим объясняется наличие минуса в уравнении Фурье (3.1). Таким образом, количество теплоты  $dQ$ , переносимое за время  $dt$  через площадку  $dS$  перпендикулярную оси  $x$ , равно

$$dQ = -\alpha \frac{dT}{dr} dS dt. \quad (3.3)$$

Как видно из (3.3), физический смысл коэффициента теплопроводности заключается в том, что он численно равен количеству теплоты, переданному за единицу времени через единичную площадку в перпендикулярном ей направлении при единичном градиенте температуры. Его величина для разных веществ и условий, в которых они находятся, может сильно различаться.

Теплопроводность объясняется передачей энергии теплового движения частиц, из которых состоят тела (молекул, атомов, ионов, электронов), в результате взаимодействия их между собой, а конкретный механизм и скорость переноса тепла определяются характером теплового движения частиц, который зависит от природы вещества, его агрегатного состояния, температуры и других факторов.

В газах теплопередача происходит благодаря столкновениям молекул, перемещающихся на относительно большие расстояния в пространстве. В жидкостях и тем более в твердых телах взаимодействие между частицами значительно сильнее, нежели в газах, что не позволяет им свободно передвигаться. В кристаллах тепловое движение атомов или ионов сводится к их колебаниям около равновесных положений, называемых узлами кристаллической решетки. Вследствие взаимодействия энергия колебаний может передаваться от одних частиц другим. В металлах наряду с тепловыми колебаниями частиц, образующих решетку, существенный вклад в теплопроводность вносит перенос энергии свободными электронами проводимости.

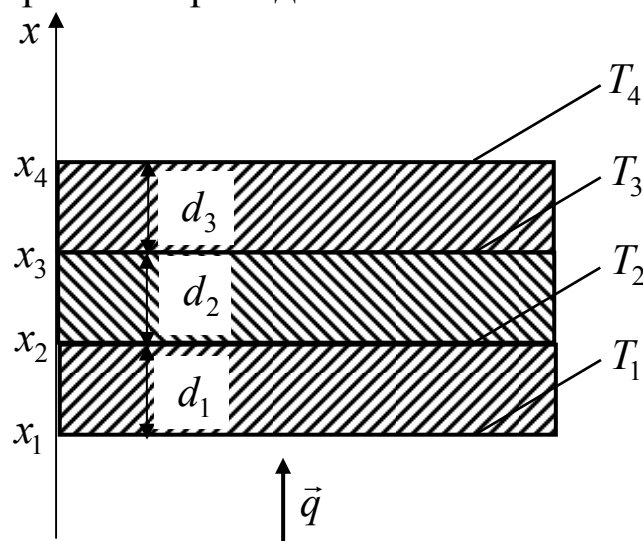


Рис. 2.1

Рассмотрим три пластины, изготовленные из разных твердых диэлектриков, сложенных в стопу одна на другую (рис. 2.1). Если под стопой включить нагреватель, то при условии малости толщин пластин по сравнению с их поперечными размерами тепловыми потерями через боковую поверхность стопы можно пренебречь и считать, что температура изменяется только по оси  $x$ , направленной перпендикулярно основанию стопы, вдоль которой и переносится тепло. При равноценном нагревании каждого участка поверхности нижней пластины величина плотности теплового потока через каждую пластину будет одна и та же. Для первой (нижней) пластины она равна

$$q = -\alpha_1 \frac{dT}{dx}. \quad (3.4)$$

Разделим переменные и проинтегрируем полученное уравнение в

пределах толщины пластины  $d_1$

$$\int_{x_1}^{x_1+d_2} q dx = - \int_{T_1}^{T_2} \alpha_1 dT. \quad (3.5)$$

При не очень большом перепаде температур  $T_1$  и  $T_2$   $\alpha_1$  в этих пределах можно полагать неизменным, поэтому интегрирование дает

$$q d_1 = \alpha_1 (T_1 - T_2). \quad (3.6)$$

Следуя тем же путем, для двух других пластин получим:

$$q d_2 = \alpha_2 (T_2 - T_3), \quad (3.7)$$

$$q d_3 = \alpha_3 (T_4 - T_3).$$

Таким образом, имея возможность измерить температуры  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  и  $T_4$  на границах раздела пластин с известными толщинами и зная коэффициент теплопроводности одной из них, можно вычислить коэффициенты теплопроводности других. Полагая, например, известным  $\alpha_2$ , из уравнений (3.6) и (3.7) находим  $\alpha_1$  и  $\alpha_3$ :

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2 d_1 (T_2 - T_3)}{d_2 (T_1 - T_2)}, \quad (3.8)$$

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_2 d_3 (T_2 - T_3)}{d_2 (T_3 - T_4)}.$$

#### 4. Экспериментальная установка и принцип ее работы

Установка (рис. 4.1) состоит из: термоблока 1 и цифрового термометра 2.

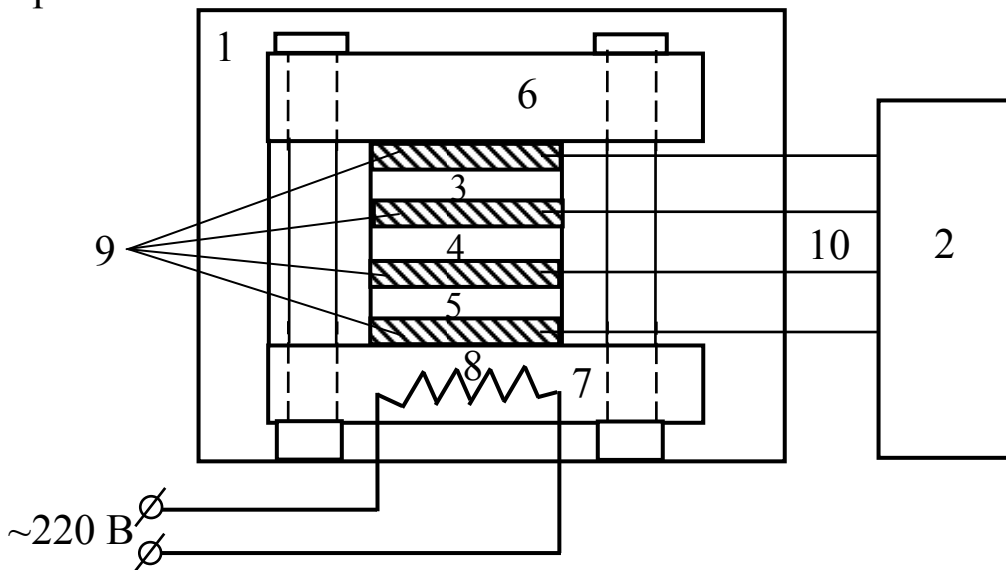


Рис. 4.1



В термоблоке расположены исследуемые квадратные пластины 3-5 разных диэлектриков, зажатые между двумя превосходящими их по размерам массивными плитами 6 и 7, в одной из которых находится нагревательная спираль 8. Для надежного теплового контакта и более точного измерения температуры поверхностей пластин между ними проложены тонкие хорошо проводящие тепло металлические прокладки 9. В них вделаны четыре термопары 10, служащие датчиками температуры.

### **5. Требования по технике безопасности**

1. Нельзя класть какие-либо предметы на функциональные блоки установки.
2. Запрещается оставлять без присмотра включенную установку.

### **6. Задания**

1. Измерение температуры поверхностей трех твердых диэлектрических пластин при распространении тепла через них.
2. Вычисление неизвестных коэффициентов теплопроводности двух пластин.

### **7. Методика выполнения заданий**

1. Включите электропитание термоблока и цифрового термометра.
2. Тумблером на передней панели термоблока включите электронагреватель, после чего выждите 12-15 минут, в течение которых установится стационарный процесс теплопередачи при неизменной температуре в любой точке стопы из пластин.
3. Устанавливая переключатель термопар поочередно в положения 1, 2, 3 и 4, измерьте температуры  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  и  $T_4$  граничных плоскостей всех пластин.
4. Используя данные измерений, по формулам (3.8) вычислите коэффициенты теплопроводности нижней и верхней пластины  $\alpha_1$  и  $\alpha_3$ . Необходимые для этого значения толщин пластин  $d_1$ ,  $d_2$ , и  $d_3$  и коэффициента теплопроводности  $\alpha_2$  прилагаются к установке.
5. Рассчитайте относительную систематическую погрешность полученных значений  $\alpha_1$  и  $\alpha_3$ .

## **8. Контрольные вопросы**

1. Что такое теплопроводность?
2. Что называют тепловым потоком (плотностью теплового потока)?
3. Сформулируйте основной закон теплопроводности.
4. В чем заключается физический смысл коэффициента теплопроводности?
5. Что представляет собой градиент температуры? Как он направлен?
6. Как объясняется механизм передачи тепловой энергии в газах и твердых телах?
7. В чем заключается суть метода определения коэффициентов теплопроводности тел, применяемого в настоящей работе?
8. Каков принцип работы экспериментальной установки?

## **9. Требования к содержанию и оформлению отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Теоретическую основу используемого метода и расчетные формулы.
3. Блок-схему экспериментальной установки.
4. Данные измерения температуры и расчет коэффициентов теплопроводности.
5. Вычисление относительных систематических ошибок полученных результатов.

## **10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы**

1. Знание явления теплопроводности, его механизма, понятий теплового потока, его плотности, градиента температуры и уравнения Фурье.
2. Достоверность данных измерения температуры, найденных значений коэффициентов теплопроводности и правильность вычисления их погрешностей.

## **Список литературы**

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Academia 2007. – С. 95.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Academia, 2008. – 1. С. 115, 117.

Составитель ОСИПОВ Валерий Сергеевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Методические указания

к лабораторной работе № 26  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2013. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный  
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12