

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики, электротехники и автоматики

Лабораторная работа № 19

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ

Методические указания
к лабораторным работам по физике
для студентов всех направлений подготовки

Казань

2020

УДК 535
ББК 22.34
С 36

Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов всех специальностей. Лабораторная работа №19 «ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ» / Сост.: В.И.Сундуков, Казань: КГАСУ, 2020 г.- 10 с.

Данные методические указания являются составной частью методического обеспечения аудиторной и самостоятельной работы студентов всех специальностей. В методических указаниях изложены вопросы, связанные со свойствами теплопроводности металлов и метод определения коэффициента теплопроводности однородного металлического стержня. Описывается экспериментальная установка для изучения теплопроводности.

Стр.10, рис. 1.

Рецензент
доцент кафедры теплоэнергетики В.Н. Енюшин

УДК 535
ББК 22.34

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2020 г.
© Сундуков, 2020 г.

*Процесс передачи теплоты от одного тела к другому или между частями одного и того же тела, называется **теплопередачей** или **теплообменом**. (Теплота — энергия, обусловленная кинетической энергией движения молекул, атомов или ионов, из которых состоит тело).*

Имеется три способа теплопередачи: конвекция, теплопроводность и тепловое излучение.

Конвекция — это *перенос теплоты внутри области, заполненной жидкой, газообразной или сыпучей средой, вследствие перемещения вещества этой среды*. Различают естественную (или свободную) и вынужденную конвекцию. Естественная конвекция обусловлена тем, что плотность более нагретых слоёв жидкости или газа меньше плотности менее нагретых. Поэтому более горячий слой всплывает вверх, а на его место опускается менее горячий. При вынужденной конвекции перемещение вещества происходит, главным образом под действием различных устройств (насоса, мешалки и т.п.). С помощью конвекции происходит нагревание или охлаждение жидкостей и газов, как в природных условиях, так и в различных технических устройствах. Например, образование ветров в атмосфере, прогревание и охлаждение воды в водоёмах, при создании центрального водяного или парового отопления и так далее.

Тепловое излучение — это *испускание электромагнитных волн телами вследствие теплового возбуждения атомов или молекул, из которых они состоят*. При сравнительно низких температурах излучаются инфракрасные волны, не видимые человеческим глазом. При достаточно высоких температурах, наряду с инфракрасным, появляется и видимое излучение. Тело начинает светиться. Излучаемые нагретым телом электромагнитные волны, попадая на более холодное тело, поглощаются им, в силу чего оно нагревается (так мы греемся от электрокамина, костра и т.п.). В этом и заключается передача тепла от более нагретого тела к менее нагретому телу за счёт теплового излучения.

Отличительной чертой теплопередачи с помощью излучения от остальных видов теплообмена является то, что она может происходить в вакууме.

Целью данной работы является изучение третьего способа передачи теплоты - теплопроводности, поэтому рассмотрим его подробнее.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ. ЗАКОН ФУРЬЕ

Теплопроводность — *процесс распространения теплоты от нагретых частей тела к менее нагретым частям, не связанный с перемещением вещества в теле*. Пусть изменение температуры в теле происходит вдоль оси Ox . Мысленно выберем в нём два произвольных сечения, находящихся на небольшом расстоянии Δx и площадку S малых размеров, расположенную между ними, которые перпендикулярны к данной оси (рис. 1).

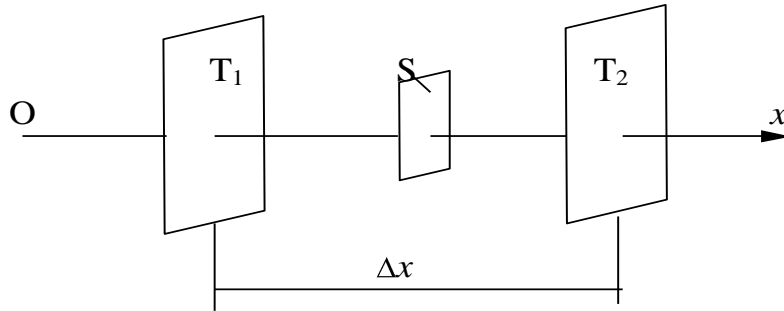


рис. 1

Предположим, что температура тела в этих сечениях равна T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$). Тогда количество теплоты dQ , переносимое через данную площадку за промежуток времени dt , пропорционально этому промежутку времени, величине площадки S и градиенту температуры $\Delta T / \Delta x$ (закон Фурье):

$$dQ = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} S dt, \quad (1)$$

где k — коэффициент теплопроводности, зависящий от природы вещества и его состояния. Знак минус означает, что теплота переносится в сторону убывания температуры.

Градиент температуры $\Delta T / \Delta x = (T_2 - T_1) / \Delta x$ характеризует быстроту изменения температуры вдоль оси Ox , т.е. изменение температуры на единице длины в направлении, перпендикулярном к площадке S . Закон Фурье справедлив для газов, жидкостей и твёрдых тел.

Из формулы (1) видно, что при $S = 1$, $dt = 1$ и $\Delta T / \Delta x = 1$, $k = dQ$, т.е. коэффициент теплопроводности равен количеству теплоты, переносимой через единичную площадку, расположенную перпендикулярно к тепловому потоку, за единицу времени при градиенте температуры, равном единице. В системе СИ коэффициент теплопроводности измеряется в Вт/(м·К).

Коэффициент теплопроводности вещества, находящегося в различных агрегатных состояниях, сильно отличаются друг от друга. Это отличие обусловлено разными механизмами теплопроводности. Так в газе, температура которого в разных частях различна, средняя кинетическая энергия молекул в этих частях также различная. Вследствие теплового движения, молекулы, перемещаясь, переносят энергию. В результате этого температура более нагретых областей газа понижается, а менее нагретых — повышается. Это перенос энергии и обуславливает процесс теплопроводности в газах.

В жидкостях молекулы находятся на более близких расстояниях, чем в газе. Это приводит к увеличению сил притяжения между молекулами и изменению характера их движения. Теперь молекулы колеблются около своих положений равновесия, скачком изменяя их. В результате колебания молекул в

жидкостях возникают волны, которыми и обуславливается перенос энергии от более нагретых областей к менее нагретым областям.

Атомы твёрдого тела связаны между собой настолько сильно, что они могут совершать лишь колебания относительно положений равновесия. Колебания одного атома, вследствие сильного взаимодействия, оказывают влияние на соседние атомы. Поэтому увеличение амплитуды колебаний атомов в какой-либо части тела за счёт повышения температуры в этой части передается соседним атомам, т.е. в твёрдом теле, как и в жидкости, возникают волны, которыми и обусловлен процесс переноса энергии.

Особое место среди твёрдых тел занимают металлы. В отличие от диэлектриков (твёрдых, жидких и газообразных) они обладают очень хорошей теплопроводностью. Это объясняется наличием у них свободных электронов, которые обуславливают также и хорошую электропроводность. Большая эффективность электронной теплопроводности металлов связана с большой концентрацией свободных электронов ($\sim 10^{29} \text{ м}^{-3}$) и с высокими скоростями их движения ($\sim 10^5 \text{ м/с}$).

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Если нагревать нижний торец однородного металлического стержня парами воды, кипящей при нормальном атмосферном давлении, то температура этого торца будет равна $T_n = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ К}$. Вследствие теплопроводности стержень начинает прогреваться. Пусть в какой-то момент времени температура верхнего торца стала равной T . Так как стержень находится в теплоизоляционной оправе, то потерями теплоты через его боковую поверхность можно пренебречь. Тогда можно считать, что градиент температуры в любой точке стержня будет одинаковым.

Он равен
$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T - T_n}{l}, \quad (2)$$

где l — длина стержня.

Согласно (1) с учётом (2) количество теплоты dQ , проходящее через стержень с площадью поперечного сечения S за время dt равно

$$dQ = -k \frac{T - T_n}{l} S dt = k \frac{T_n - T}{l} S dt, \quad (3)$$

где k — коэффициент теплопроводности металла, который необходимо определить. За счёт этого количества теплоты температура стержня повышается. При этом температура нижнего торца остаётся постоянной, верхнего — изменяется. Пусть температура верхнего торца повысилась на dT градусов. Тогда, поскольку у нижнего торца температура не меняется, среднее повышение температуры dT_{cp} стержня равно

$$dT_{\text{cp}} = \frac{0 + dT}{2} = \frac{1}{2} dT. \quad (4)$$

Это повышение температуры можно найти из формулы:

$$dQ = mcdT_{\text{cp}}, \quad (5)$$

где m — масса стержня; c — удельная теплоёмкость исследуемого материала.

Используя (3 — 5), запишем: $k \frac{T_n - T}{l} Sdt = \frac{1}{2} mc \cdot dT$.

Отсюда

$$\frac{2kS}{mcl} dt = \frac{dT}{T_n - T}. \quad (6)$$

Пусть за время температура верхнего торца изменяется от T_1 до T_2 . Тогда, проинтегрировав дифференциальное уравнение (6), получим выражение, из которого находим коэффициент теплопроводности.

$$\int_0^{\tau} \frac{2kS}{mcl} dt = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T_n - T}, \quad \frac{2kS}{mcl} \tau = \ln \frac{T_n - T_1}{T_n - T_2}.$$

Откуда

$$k = \frac{mcl}{2S\tau} \cdot \ln \frac{T_n - T_1}{T_n - T_2}. \quad (7)$$

Преобразуем формулу (7). Учитывая, что $m = \rho V$, где ρ — плотность материала, и $V = Sl$ — объём стержня, получаем:

$$k = \frac{\rho cl^2}{2\tau} \cdot \ln \frac{T_n - T_1}{T_n - T_2}. \quad (8)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Прибор состоит из двух деревянных фланцев, металлической стойки, сменной трубы, термопары, мультиметра для измерения температуры.

В верхнем фланце сделано отверстие, а в нижнем — отверстие с углублением, фланцы, соединённые между собой деревянными рейками, крепятся к стойке двумя держателями, которые могут перемещаться по прорези в стойке и фиксироваться в определённом положении поворотом направо.

В сменной трубе находится исследуемый металлический стержень, теплоизолированный пенопластом. К верхнему торцу стержня прикреплена термопара, присоединённая к штепсельной розетке, расположенной в верхней части трубы. Труба вставляется через верхний фланец так, чтобы её нижний цилиндрический выступ вошёл в углубление фланца, а штепсельная розетка располагалась сзади.

Мультиметр для измерения температуры подсоединён к штепсельной вилке, которая вставляется в штепсельную розетку.

В собранном виде прибор нижним фланцем надевается на стаканчик с водой, находящийся на электроплитке. Температура верхнего торца стержня измеряется с помощью термопары, подключенной к мультиметру.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Пункты 2-5 выполняются только в случае необходимости. Обычно выполнение работы начинать с пункта 6.
2. Налить в стаканчик воды до отметки. Установить его на электроплитке, повернув «носик» влево для последующего выхода пара.
3. Получить у преподавателя сменную трубу и вставить её во фланцы так, чтобы цилиндрический выступ вошёл в углубление нижнего фланца, а штепсельная розетка была сзади.
4. Вставить штепсельную вилку в розетку, не применяя больших усилий. Штепсельный разъём соединяется только в одном фиксированном положении.
5. Повернув прибор влево (по часовой стрелке), осторожно опустить его на стаканчик, придерживая его за нижний фланец.
6. Включить электроплитку в сеть.
7. Дождаться момента закипания воды. Нижний конец металлического стержня нагревается паром. Приготовить секундомер на Вашем смартфоне. Через некоторое время 1-3 минуты температура, фиксируемая мультиметром начнёт уверенно расти. Записать начальную температуру T_1 и включить секундомер.
8. Дождаться повышения температуры примерно на 5 градусов и остановить секундомер.
9. Записать показания температуры и секундомера и выключить плитку.
10. По формуле (8) рассчитать значение коэффициента теплопроводности исследуемого металла. При расчёте воспользоваться данными: плотность алюминия — 2700 кг/м^3 ; плотность латуни — 8600 кг/м^3 , удельная теплоёмкость алюминия — 900 Дж/(кг К) ; удельная теплоёмкость латуни — 390 Дж/(кг К) ; длина стержня — алюминиевого — 23 см; латунного — 16 см.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется теплопередачей?
2. Что такое конвекция? Виды конвекции. Примеры.
3. Что такое тепловое излучение?
4. Что называется теплопроводностью? Механизм теплопроводности в различных средах.
5. Сформулируйте закон Фурье?
6. Поясните вывод формулы.