

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики
Лаборатория молекулярной физики
и термодинамики

Лабораторная работа № 10

Определение коэффициента
теплопроводности твердых тел
калориметрическим методом

Ярославль
2015

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Краткая теория	3
3.	Описание метода и схемы установки	5
4.	Выполнение работы и обработка результатов	6
5.	Контрольные вопросы	7
6.	Содержание отчета	7

Составители: Т.Н. Спиридонова, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры общей физики
В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики

Лабораторная работа № 10

Определение коэффициента теплопроводности твердых тел калориметрическим методом

Приборы и принадлежности: кипятильник, электроплитка, калориметр с мешалкой, термометр, секундомер, штангенциркуль, исследуемые стержни, технические весы, вода.

Литература:

1. Детлаф А.А. Курс общей физики. М., 2007.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 1. СПб., 2007.
3. Гершензон Е.М. и др. Молекулярная физика. М., 2000.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Уравнение теплопроводности. Коэффициент теплопроводности — физический смысл и единицы измерения.
2. Характер теплового движения в твердых телах. Механизм теплопроводности: фононная и электронная теплопроводность.
3. Расчетная формула, измерение величин, входящих в нее.

2. Краткая теория

Опытным путем установлено, что если в какой-либо среде вдоль некоторого направления температура не остается постоянной, то вдоль этого направления устанавливается поток теплоты. Процесс теплопроводности связан с переносом энергии в направлении убывания температуры. Экспериментально полученная зависимость для количества теплоты δQ , прошедшего через площадку S , перпендикулярную направлению распространения тепла, за время dt имеет вид:

$$\delta Q = \kappa \frac{dT}{dx} S dt,$$

где $\frac{dT}{dx}$ — градиент температуры, а коэффициент пропорциональности κ , зависящий от свойств среды, называется **коэффициентом теплопроводности**.

κ численно равен количеству теплоты, переносимому через единичную площадку в единицу времени при градиенте температуры, равном единице, и измеряется в Дж/град·м·с или в кал/град·см·с.

Различие в характере теплового движения атомов твердого тела и газа приводит к различному механизму теплопроводности в них. Известно, что атомы в кристалле испытывают лишь колебания около положений равновесия, а не движутся свободно, как в газе. Амплитуды тепловых колебаний атомов не имеют строго постоянной ориентировки. Это сложные колебания, определяемые связями с соседними атомами. Наличие этих связей приводит к возникновению колебаний целых групп атомов. Колебания распространяются в кристалле в виде упругих волн, которые и переносят энергию в твердых телах.

Энергия этих волн квантована, то есть может меняться лишь на величину, пропорциональную $h\nu$, где ν – частота колебаний атомов, h – постоянная Планка.

По аналогии с фотонами квант тепловой энергии был назван **фононом**. Фононы подобны частицам (квазичастицы); они могут существовать лишь в вещественной среде. С изменением температуры число их меняется, так как энергия фононов определяется частотой колебаний группы атомов и для данного вида их является постоянной величиной.

Во все свойства металлов, включая и теплопроводность, вносят свой вклад свободные электроны. Они наряду с фононами осуществляют теплопроводность, так что коэффициент теплопроводности в металлах можно представить в виде суммы двух составляющих:

$$\kappa = \kappa_{\text{эл.}} + \kappa_{\text{фон.}}$$

Фононную составляющую называют также **решеточной**.

Количественная теория теплопроводности твердых тел трудна и выходит за рамки курса общей физики. По грубой оценке вклад электронов в теплопроводность металлов на два порядка больше вклада решетки, поэтому решеточной составляющей теплопроводности можно в этом случае пренебречь.

3. Описание метода и схемы установки

Если теплота передается от более нагретой среды, температура которой постоянна, к менее нагретой через некоторое тело, то температура 2-ой среды будет повышаться. В случае отсутствия теплоотдачи со стороны 2-ой среды количество теплоты, прошедшей через тело, можно определить калориметрически:

$$\delta Q = cm dT, \quad (3.1)$$

где c — удельная теплоемкость 2-ой среды,
 m — масса этой среды,
 dT — разность температур ее в начале и конце опыта.

С другой стороны, это количество теплоты передано путем теплопроводности через тело и может быть выражено так:

$$\delta Q = \kappa \frac{T_{\text{II}} - T}{\ell} S dt, \quad (3.2)$$

где T_{II} — температура 1-ой среды,
 T — температура 2-ой среды,
 ℓ — длина тела,
 S — площадь его сечения.

Приравнивая (3.1) и (3.2), получаем:

$$cm dT = \kappa \frac{T_{\text{II}} - T}{\ell} S dt. \quad (3.3)$$

Если температура 2-ой среды за время dt изменилась от T_0 до T , значение коэффициента теплопроводности можно найти интегрированием уравнения (3.3):

$$cm\ell \int_{T_0}^T \frac{dT}{T_{\text{II}} - T} = \kappa S \int_0^t dt$$

тогда:

$$cm\ell \ln \frac{T_{\text{II}} - T_0}{T_{\text{II}} - T} = \kappa S t$$

и

$$\kappa = \frac{cm\ell}{S} \frac{1}{t} \ln \frac{T_{\text{п}} - T_0}{T_{\text{п}} - T}, \quad (3.4)$$

где T_0 — начальная температура 2-ой среды,
 T — конечная.

В данной работе роль первой среды играет пар в кипятильнике, а второй — вода в калориметре. Исследуемое тело — металлический стержень — соединяет оба сосуда.

При расчете коэффициента теплопроводности нужно учесть, что нагревается не только вода в калориметре, но и сам калориметр, поэтому окончательная формула для расчета имеет вид:

$$\kappa = \frac{(c_1 m_1 + q)\ell}{St} \ln \frac{T_{\text{п}} - T_0}{T_{\text{п}} - T}, \quad (3.5)$$

где c_1 — удельная теплоемкость воды в калориметре,
 m_1 — масса воды в калориметре,
 q — водяной эквивалент калориметра, то есть количество теплоты, необходимое для нагревания калориметра с мешалкой и термометром на 1 градус ($q = 40$ кал/град).

4. Выполнение работы и обработка результатов

Наполнить водой кипятильник так, чтобы ее уровень был выше бокового отверстия, поставить кипятильник на плитку и включить её.

Измерить штангенциркулем длину и диаметр одного из стержней (по указанию преподавателя) в различных местах и найти среднее значения ℓ и d .

В калориметр налить воду массой $m_1 = 250$ г и соединить его с кипятильником исследуемым стержнем. Довести воду в кипятильнике до кипения и измерить начальную температуру T_0 в калориметре, затем включить секундомер (вода в кипятильнике продолжает кипеть).

Снять показания термометра через 1 час.

5. Контрольные вопросы

По формуле (3.5) рассчитать значения коэффициента теплопроводности стержня.

Сравнить полученное значение коэффициента теплопроводности с табличным значением.

5. Контрольные вопросы

1. Сущность изученного метода определения коэффициента теплопроводности. Вывод расчетной формулы.
2. Сравните полученное значение коэффициента теплопроводности с его значением для какого-либо неметалла. Чем объясняется разница в порядке величины?
3. Как выражается коэффициент теплопроводности (его фононная составляющая) через длину свободного пробега фононов?
4. Почему фононы называются квазичастицами?

6. Содержание отчета

Название работы, ее цель, схема установки, расчётная формула, краткие выводы с объяснением результатов эксперимента.