


ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение теплопроводности в металлических стержнях.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение величин изменения температуры со временем вдоль металлических стержней, которые нагреваются на одном конце, но остаются холодными на другом конце, как в динамическом, так и в установившемся состоянии.
- Измерение потока тепла в установившемся состоянии.
- Определение теплопроводности материала, из которого изготовлен стержень.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Теплопроводность предполагает перенос тепла из более горячей части тела в более холодную область посредством взаимодействия между соседними атомами или молекулами, при этом сами атомы остаются на своих местах. В цилиндрическом металлическом стержне, на концах которого поддерживаются разные температуры, через некоторое время возникает перепад температуры по его длине. Температура уменьшается равномерно от теплого конца к холодному, и в стержне возникает постоянный поток тепла. Характер перехода от динамического состояния к установившемуся состоянию наблюдается посредством многократных измерений с целью определения температур в различных точках. Металлические стержни нагреваются электрическим способом так, что поток тепла в установившемся состоянии можно определить по подаваемой электрической мощности.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Комплект оборудования для опытов по теплопроводности	U8498290
1	Теплопроводящий стержень из алюминия	U8498292
1	Теплопроводящий стержень из меди	U8498291
1	Источник питания постоянного тока с напряжением 0–20 В, 0–5 А (230 В, 50/60 Гц)	U33020-230 или
	Источник питания постоянного тока с напряжением 0–20 В, 0–5 А (115 В, 50/60 Гц)	U33020-115
1	Цифровой быстродействующий карманный термометр	U11853
1	Никель-хром-никелевый погружной датчик типа К с диапазоном измерения от -65°С до 550°С	U11854
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см, красный/синий	U13816
1	Набор из 10 низких мерных стаканов	U14210

1

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Перенос тепла из нагретой области в холодную может осуществляться путем проводимости, излучения или конвекции. Теплопроводность предполагает перенос тепла из более горячей части тела в более холодную область посредством взаимодействия между соседними атомами или молекулами, при этом сами атомы остаются на своих местах. Например, если металлический стержень нагревается, атомы на нагретом конце колеблются сильнее, чем атомы на холодном конце, т.е. они колеблются с большей энергией. Энергия передается благодаря столкновениям между соседними атомами, при которых происходит передача энергии от одного атома к другому и, таким образом, перенос ее вдоль стержня. Металлы являются особенно хорошими проводниками тепла, поскольку столкновения также происходят между атомами и свободными электронами.

В стержне с площадью поперечного сечения A , если на концах поддерживаются разные температуры, через некоторое время возникает перепад температуры вдоль стержня, при котором температура убывает равномерно вдоль стержня к его холодному концу. В течение периода времени dt через поперечное сечение стержня проходит количество тепла dQ и в нем возникает постоянный поток тепла P_Q :

$$(1) \quad P_Q = \frac{dQ}{dt} = \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

P_Q : поток тепла (измеряемый в ваттах)

A : площадь поперечного сечения стержня

λ : теплопроводность материала, из которого изготовлен стержень

T : температура, x : координата по длине вдоль стержня

До того как появляется постоянный перепад температуры, распределение температуры в определенный момент времени t определяется функцией $T(x,t)$, которая постепенно приближается к установившемуся состоянию. Тогда справедливо следующее дифференциальное уравнение:

$$(2) \quad \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x,t) - c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0$$

c : удельная теплоемкость

ρ : плотность материала, из которого изготовлен стержень

В установившемся состоянии, в соответствии с уравнением (1), ситуация описывается следующим образом:

$$(3) \quad \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0 \quad \text{и} \quad \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}(x,t) = \text{const.} = \frac{P_Q}{A}$$

В этом опыте стержень нагревается на одном конце с помощью электричества. Регулируемый при помощи электронного прибора источник тепла обеспечивает подачу в стержень некоторого количества тепла, которое можно определить, измерив напряжение нагревателя U и его ток I :

$$(4) \quad P_{el} = U \cdot I$$

Электронное регулирование тока приводит к тому, что этот конец стержня быстро достигает температуры порядка 90°С, и в дальнейшем эта температура поддерживается постоянной. На другом конце стержня поддерживается температура плавления льда или просто воды при комнатной температуре за счет его охлаждающих ребер. Это позволяет определять нагрев с помощью калориметрии. Изоляционная оболочка сводит к минимуму потерю тепла от стержня в окружающую среду и обеспечивает более линейное распределение температуры в установившемся состоянии. С помощью электронного термометра, который определяет температуру в течение секунды, измеряются температуры в заранее заданных точках измерения вдоль стержня. Имеются медный и алюминиевый стержни.

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Поток тепла P_Q соответствует электрической мощности P_{el} , за вычетом небольшого количества мощности, рассеиваемой вследствие потерь, P_i :

$$\text{Тогда:} \quad \lambda = \frac{P_{el} - P_i}{A} \cdot \frac{L}{T(0) - T(L)}$$

(L : расстояние между выбранными точками измерения температуры)

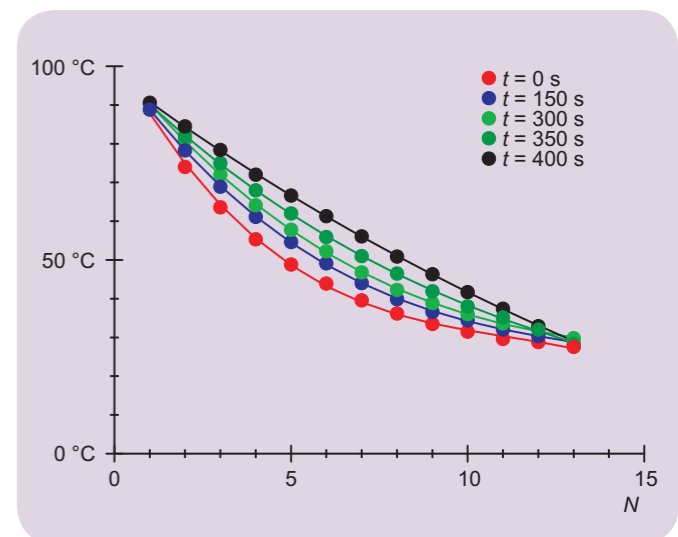


Рис. 1: Температуры вдоль алюминиевого стержня в пяти сериях измерений, выполненных с интервалами 150 с