

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

Факультет физики

Лабораторная работа

«Тепловые свойства твёрдых тел»

Работу выполнил студент 2 курса
Качаев Никита Эдуардович



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Москва
2022

Содержание

1. Цель работы	2
2. Оборудование	2
3. Схема установки	2
4. Теория	3
4.1. Уравнение теплопроводности	3
5. Ход работы	4
6. Результат работы	4
7. Выводы	5

1. Цель работы

Перед началом выполнения работы были поставлены следующие цели:

- 1) Исследовать зависимость температуры металлической пластины от координаты и времени.
- 2) Дождаться установления стационарного режима и определить закон распределения температуры
- 3) Определить коэффициент теплопроводности материала пластины.

2. Оборудование

- Металлические пластины из разных материалов
- Манганиновая нить
- Лист изолирующего материала
- Емкость с водой комнатной температуры
- Штангенциркуль
- Линейка и изолента
- Термостойкий скотч
- Термопаста
- набор датчиков температуры DS18B20
- Илата Arduino Nano и кабель mini-USB
- Мультиметр

3. Схема установки

Схема установки для измерения зависимости температуры металлической пластины от координаты и от времени приведена на Рис. 1.1(а). На один конец горизонтально расположенной металлической пластины (4) намотана тонкая нихромовая нить в изолирующей обмотке (2), обладающая удельным сопротивлением 108 Ом/м и служащая нагревательным элементом. Постоянный ток через нить 1 регулируется источником питания Gophert (1) (показан схематично). Для того чтобы нить не двигалась относительно пластины, сверху она покрывается слоем термостойкого скотча (3). Температурные датчики DS18B20 (6) плоской поверхностью своего корпуса прижимаются к металлической пластине. Для лучшего теплового контакта плоские поверхности датчиков были промазаны тонким слоем термопасты. Датчики были прижаты к пластине слоем изоленты (не показан на рисунке) для того, чтобы они не перемещались относительно пластины в ходе эксперимента и имели с ней хороший тепловой контакт. Датчики припаяны к печатной плате (8). Второй конец пластины изогнут таким образом, чтобы его можно было поместить в ёмкость (7) с водой, имеющей комнатную температуру. Часть пластины,

находящаяся вне воды, вместе с датчиками температуры и печатной платой помещается между двумя брусками плотного пенопласта (5). Прижатие брусков друг к другу осуществляется при помощи струбцин с небольшим усилием. Между входами Gnd и Vcc датчиков подаётся постоянное напряжение +5 В с платы Arduino Nano (см. Рис. 1.1(б)), которая вставляется в макетную плату (на рисунке не показана). Напряжение питания на саму плату подаётся при помощи кабеля Mini-USB (на рисунке изображён схематически). С помощью него же осуществляется загрузка скетчей на плату, а также передача данных через COM-port. Сигнальный провод присоединяется к цифровому входу D2 платы Arduino. Между сигнальным проводом и входом питания Vcc был установлен резистор номиналом 4.7 кОм.

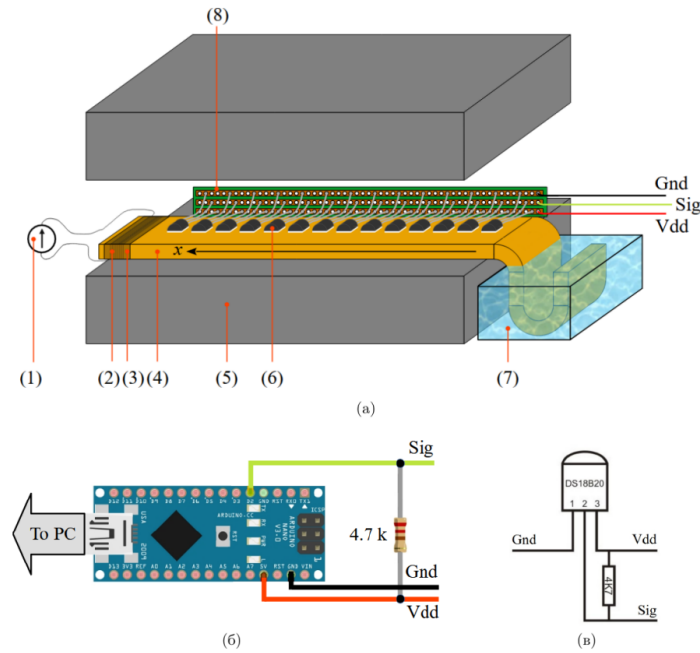


Рис. 1. Схема установки

4. Теория

4.1. Уравнение теплопроводности

Уравнение теплопроводности:

Где l – длина нити, S – площадь поперечного сечения, P – периметр поперечного сечения, c – теплоёмкость единицы объёма, κ – коэффициент теплопроводности, β – коэффициент теплоотдачи, $\theta = T - T_0$ – разность температур, ω – выделяющаяся мощность, q_0 – начальный поток тепла

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{c}{\kappa} \frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{\beta}{\kappa} \frac{P}{S} \theta = -\frac{\omega}{\kappa} \quad (1)$$

В стационарном режиме имеем:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \frac{\beta}{\kappa} \frac{P}{S} \theta = 0 \quad (2)$$

С учетом начальных условий получим решение:

$$\theta(x) = \frac{\omega}{\kappa \psi S} \frac{\sinh(\psi x)}{\cosh(\psi l)} \quad (3)$$

5. Ход работы

Для начала, чтобы узнать, какой нужно подавать ток для выделения мощности в 2 Вата, Я определил сопротивление системы, измерив ее продольные размеры, затем, изолировал датчики, и крепко прикрепил их к пластине, прижав двумя кусочками пенопласта, предварительно обработав места соприкосновения термопастой. Один конец пластины я окунул в емкость с водой, на втором же конце была намотана нить. Включив установку и доставшись установившегося состояния, я снял показания, которые считывались с датчиков.

6. Результат работы

В результате эксперимента я снял несколько зависимостей $T(t, x)$ для каждого из датчиков см. Рис.2

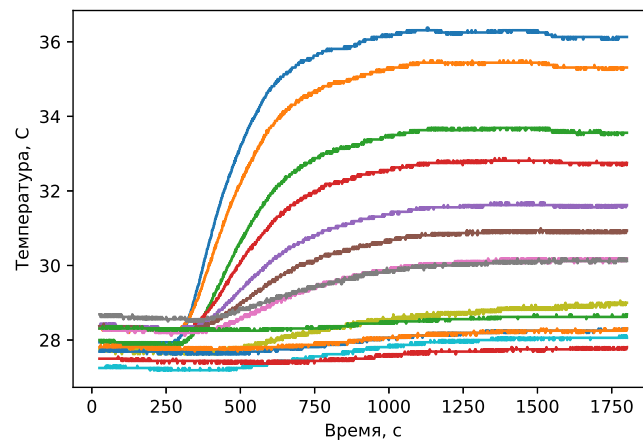


Рис. 2. Зависимость температуры от времени для 14 датчиков

В установившемся режиме можно построить зависимость температуры от времени, для этого я взял среднюю температуру с каждого датчика в установившемся состоянии за период 200 с и изобразил ее на графике. По оси x отложено расстояние между датчиками, но так как оно одинаковое можно считать, что каждое деление — это номер датчика.

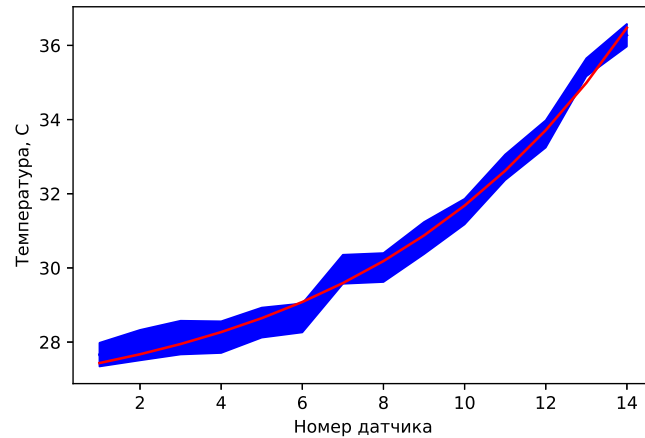


Рис. 3. Зависимость температуры от координаты

Чтобы убедиться в достоверности теории я аппроксимировал график при помощи нелинейной регрессии, на Рис.3 видно, что в каждой координате по оси x результат аппроксимации лежит в доверительном интервале шириной 6σ . В результате аппроксимации $t(x) = t_0 + a \sinh(\psi(x))$ я получил следующие коэффициенты: $t_0 = 27.65$, $a = 1.68$, $\psi = 0.15$ где $a = \frac{W}{S\kappa}$. Зная мощность и площадь мы можем оценить коэффициент теплопроводности: $\kappa = \frac{aS}{w} = 496 \frac{W}{mK}$

7. Выводы

- В результате эксперимента я убедился, что в установившемся состоянии распределение температуры от координаты описывается при помощи гиперболического синуса
- С помощью установки мне удалось определить коэффициент теплопроводности пластины