

Отчет по лабораторной работе №3: "Тепловые свойства твердых тел"

Никитин Илья

22 декабря 2020 г.

Содержание

1	Задачи	1
2	Оборудование	2
3	Теория	2
3.1	Температурная зависимость удельного сопротивления металлов	2
3.2	Теплоотдача	3
3.3	Тепловое излучение	3
3.4	Мощность	3
4	Температурная зависимость сопротивления	3
4.1	Ход работы	3
4.2	Обработка данных	4
5	Определение мощности потерь и теплоемкости	6
5.1	Ход работы	6
5.2	Обработка данных	6
6	Исследование теплоемкости меди	8
6.1	Ход работы	8
6.2	Обработка данных	8

1 Задачи

Определить температурную зависимость сопротивления, а также коэффициенты теплового излучения и теплопередачи в воздух от проволок из разных материалов

2 Оборудование

- Проволоки из различных материалов
- Термопаста КПТ-19
- Алюминевая банка
- Термопара К-типа
- Мультиметр
- Шунт
- Два мультиметра Keysight
- Коробка картонная
- Клемник
- Компьютер с программой LabView
- Электрический кипятильник
- Источник тока Gophert
- Резинки для зажима проволоки

3 Теория

3.1 Температурная зависимость удельного сопротивления металлов

В этой работе будут использоваться материалы, состоящие из простых веществ: медь, титан, вольфрам. Все эти материалы при нормальных условиях являются классическими примерами твердых тел – металлов. Их общее свойство состоит в линейной зависимости удельного сопротивления от температуры:

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

3.2 Теплоотдача

Процесс теплоотдачи описывается эмпирическим законом Ньютона-Рихмана, согласно которому нормальная компонента потока тепла через стенку твердого тела наружу пропорциональна разности температур тела и среды:

$$q_n = \beta(T - T_0)$$

3.3 Тепловое излучение

Согласно закону Стефана-Больцмана мощность теплового излучения с небольшой площадки DS на поверхности тела, имеющего абсолютную температуру T , пропорциональна разности четвертой степени температур тела и окружающей среды:

$$dP = \epsilon\sigma(T^4 - T_0^4)dS$$

где $\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15h^3 c^2}$

3.4 Мощность

В стационарном режиме вся установившаяся мощность $P_{st} = I^2 R_{st}$ равна суммарной мощности тепловых потерь:

$$P_{st} = \beta S_{surf}(T - T_0) + \epsilon\sigma S_{surf}(T^4 - T_0^4)$$

4 Температурная зависимость сопротивления

4.1 Ход работы

Для измерения температурной зависимости сопротивления различных проволок была взята алюминиевая банка с водой, кипятильник, термопаста и соответствующие кусочки проволоки. Проволока обматывалась на банку, предварительно смазанную термопастой, затем проволока подключалась к электрической цепи, в которой измерялся ток и напряжение на проволоке. Кипятильником вода нагревалась шагами по $5 - 10^\circ C$ и при установлении постоянного тока записывались показания вольтметров, чтобы потом из этих данных получить сопротивление.

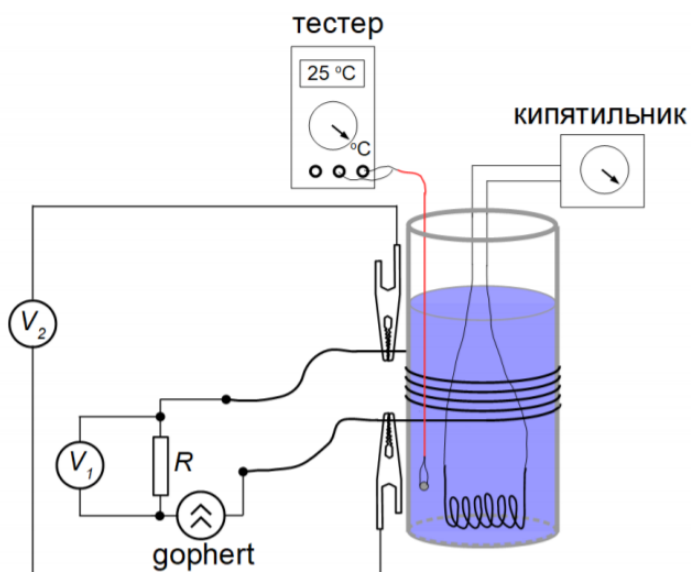


Рис. 1: Схема подключения проволоки

4.2 Обработка данных

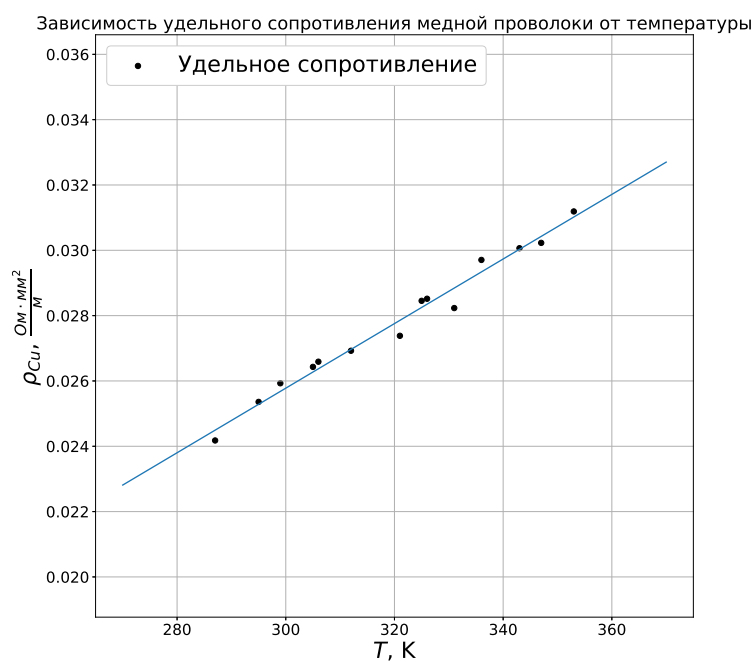


Рис. 2: Получившийся коэффициент температурной зависимости сопротивления $\alpha \approx 3.9 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{K}}$

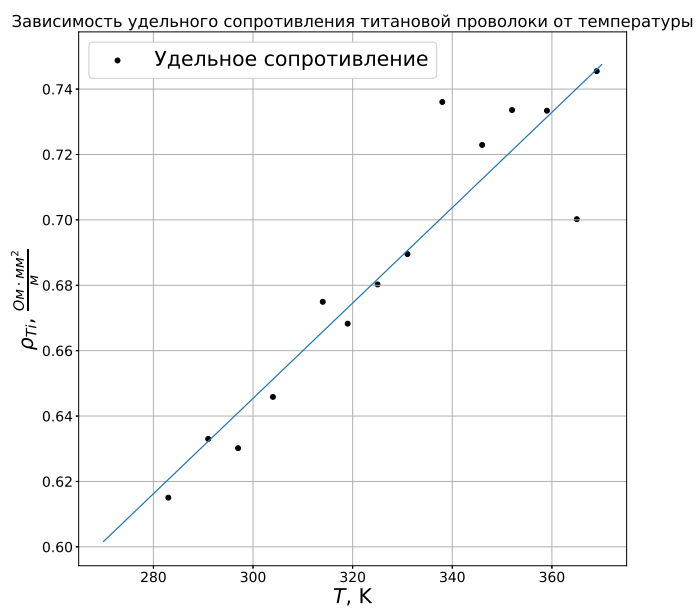


Рис. 3: Получившийся коэффициент температурной зависимости сопротивления $\alpha \approx 127.6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{K}$

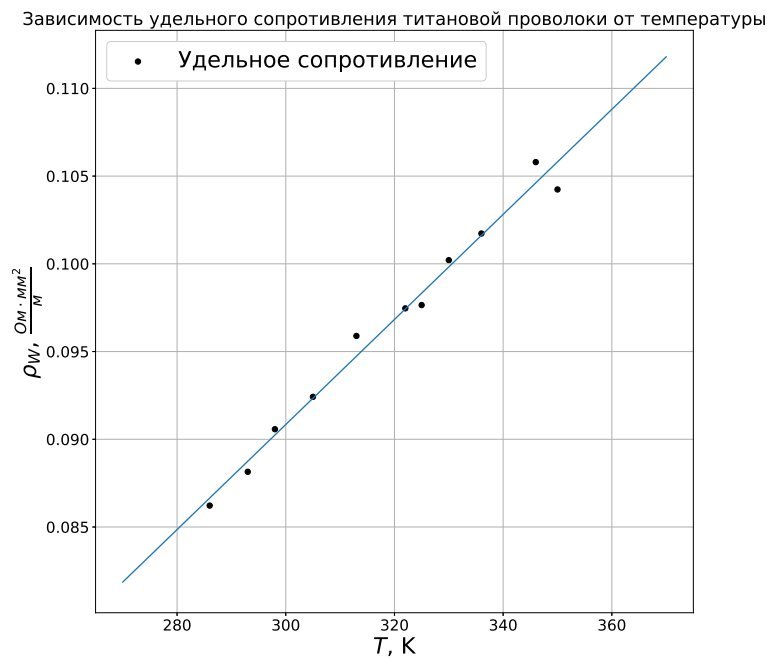


Рис. 4: Получившийся коэффициент температурной зависимости сопротивления $\alpha \approx 2.3 \cdot 10^{-3} \frac{1}{K}$

5 Определение мощности потерь и теплоемкости

5.1 Ход работы

Для измерения мощности потерь использовалась похожая схема, но без банки, термопары и кипятильника. Проволока в данном случае висела в воздухе и грелась до больших температур за счет подаваемой мощности. Над схемой была установлена картонная коробка, чтобы минимизировать конвективные потоки воздуха.

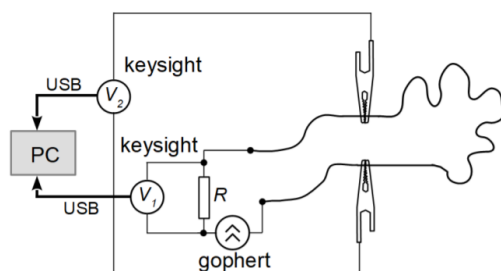


Рис. 5: Схема подключения проволоки

5.2 Обработка данных

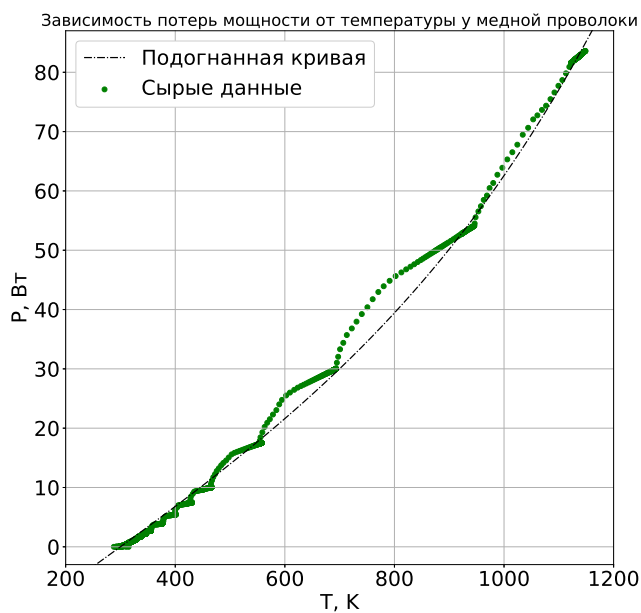


Рис. 6: Коэффициенты $\beta \approx 52.9$, $\epsilon \approx 0.24$

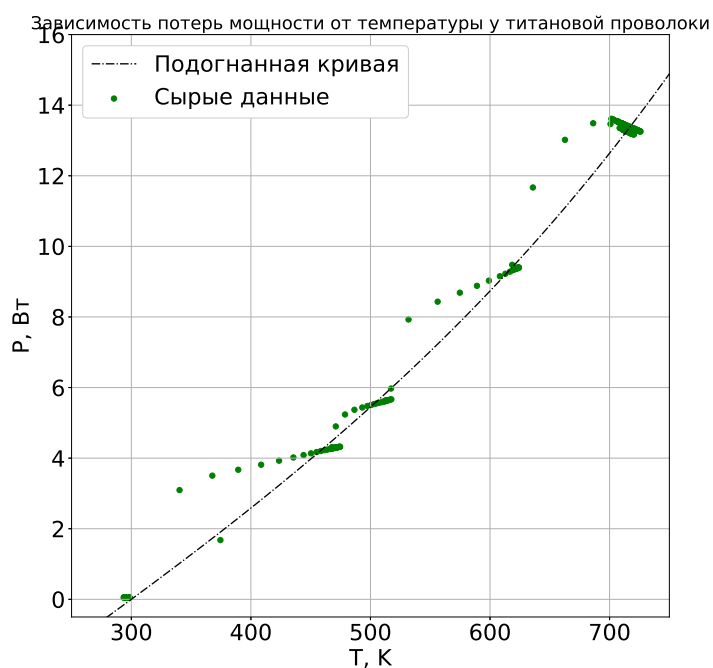


Рис. 7: Коэффициенты $\beta \approx 27$, $\epsilon \approx 0.29$

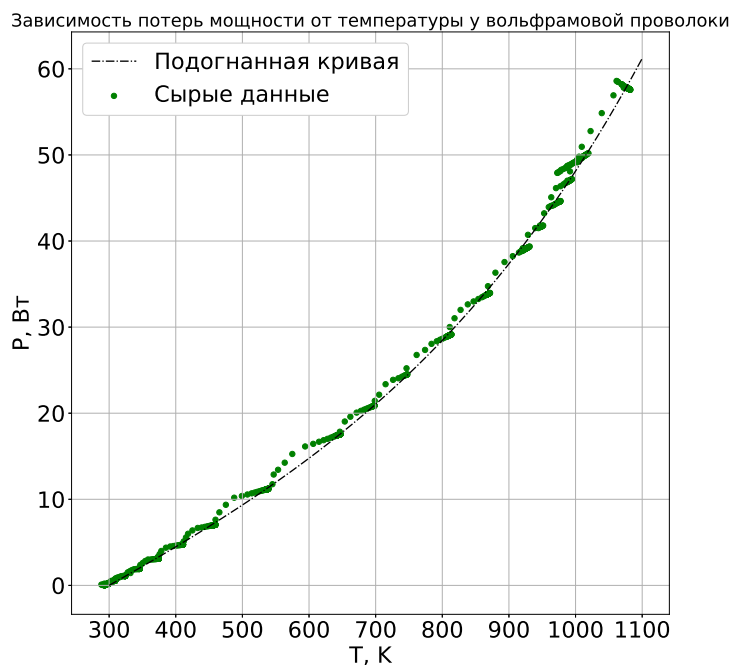


Рис. 8: Коэффициенты $\beta \approx 47.1$, $\epsilon \approx 0.38$

Теплоемкость была посчитана в предположении, что энергия линейна по температуре и вся мощность уходит на нагрев образца (расчеты произведе-

ны на низких температурах):

$$\begin{aligned} C_{Cu} &= \frac{P\delta t}{m\delta T} \approx 405 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{Г}} \\ C_{Ti} &= \frac{P\delta t}{m\delta T} \approx 570 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{Г}} \\ C_W &= \frac{P\delta t}{m\delta T} \approx 150 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{Г}} \end{aligned}$$

6 Исследование теплоемкости меди

6.1 Ход работы

Для того чтобы найти зависимость теплоемкости от температуры воспользуемся другим способом. Известно, что сопротивление при скачке тока меняется по закону $R(t) = R(t_0) + A(1 - \exp(-(t - t_0)/\tau))$. Решая уравнение теплопроводности, выразим коэффициенты через известные нам величины. Таким образом: $R(t) = 1 + \alpha(T_2 - T_1)(1 - \exp(-\frac{(t-t_0)I^2 R(t_0)}{V_c(T_2 - T_1)}))$. Далее будем брать небольшие участки, на которых сопротивление меняется скачком, подгонять для них кривые $R(t)$ и вычислять теплоемкость как подгоночный коэффициент.

6.2 Обработка данных

Выведем для начала полный график изменения сопротивления со временем

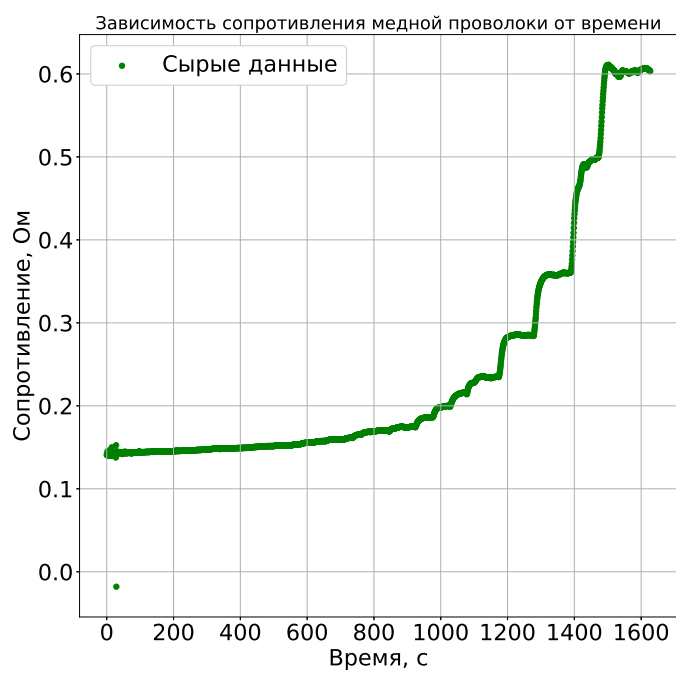


Рис. 9: Изменение сопротивление со временем для медной проволоки

Теперь к каждому отрезку со скачком подгоним кривую для определения теплоемкости.

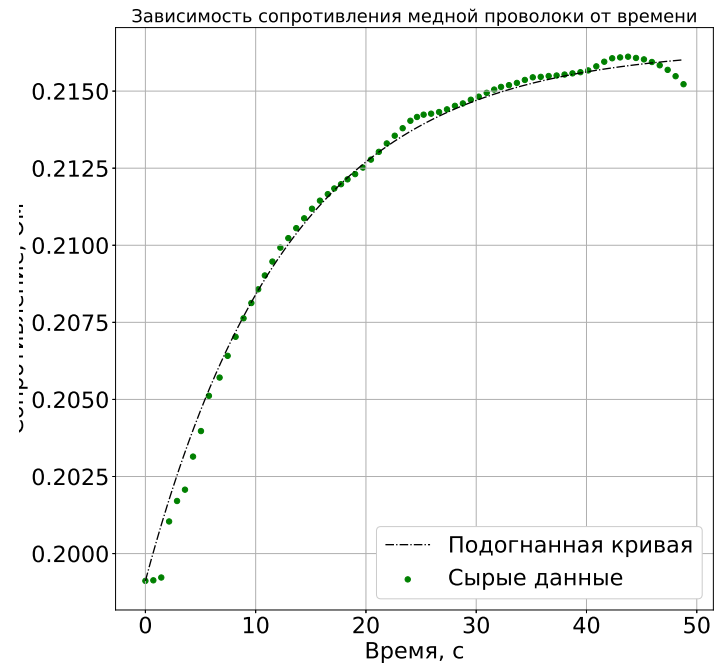


Рис. 10: Изменение сопротивление со временем для медной проволоки. Температура $\approx 400\text{K}$

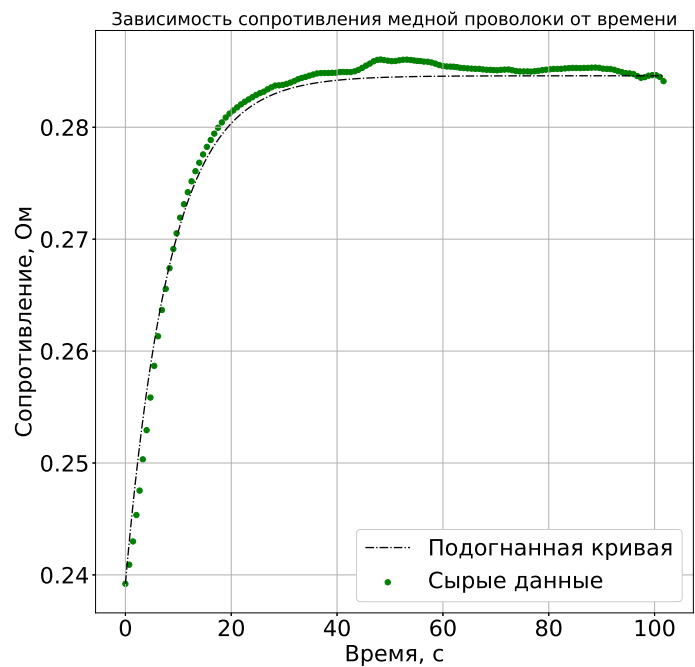


Рис. 11: Изменение сопротивление со временем для медной проволоки. Температура $\approx 480\text{ K}$

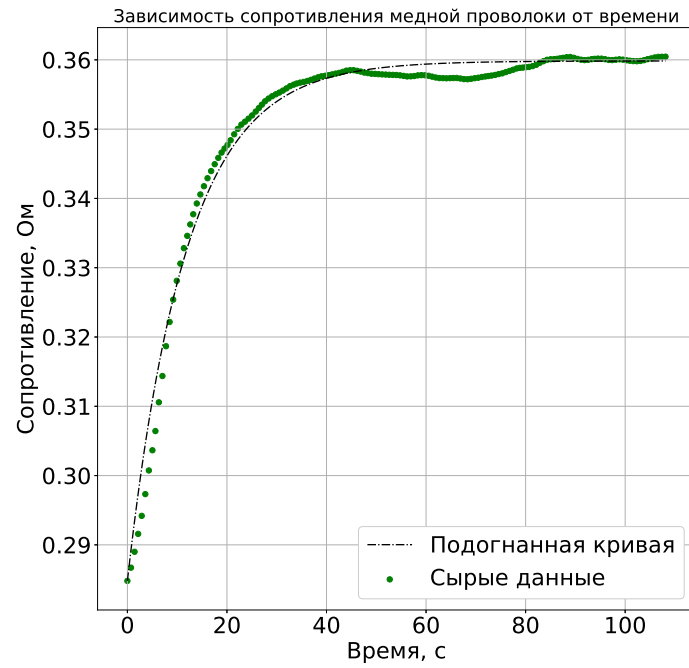


Рис. 12: Изменение сопротивление со временем для медной проволоки. Температура ≈ 570 К

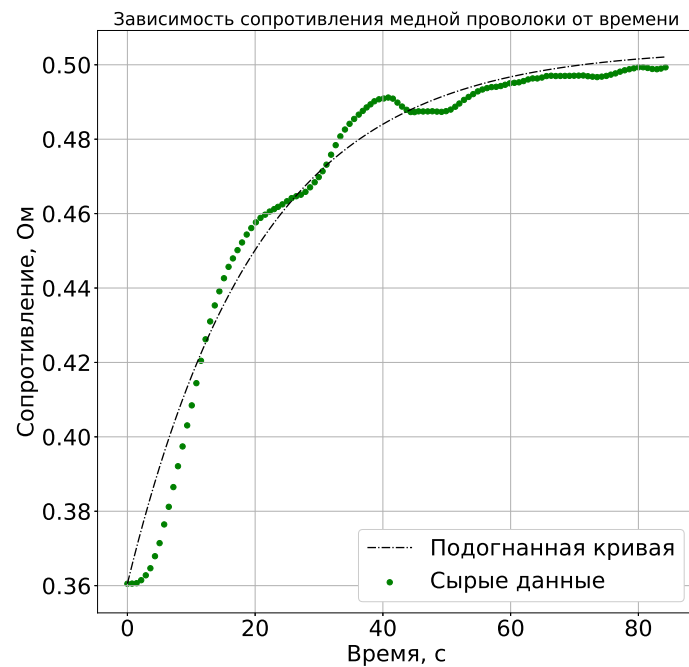


Рис. 13: Изменение сопротивление со временем для медной проволоки. Температура ≈ 650 К

По полученным данным составим график зависимости удельной теплоемкости меди от температуры

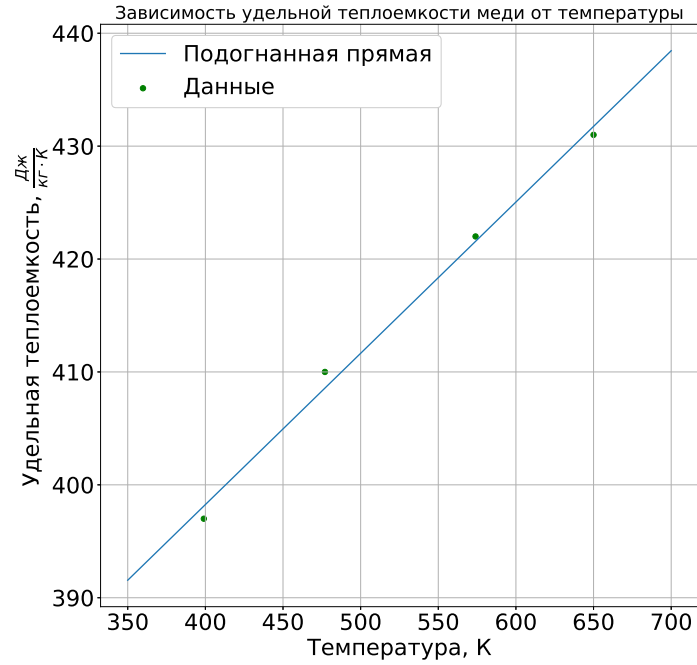


Рис. 14: Изменение теплоемкости с температурой для меди

Как можно видеть, теплоемкость действительно зависит линейно от температуры в таком диапазоне. Коэффициент наклона прямой $\alpha \approx 0.13 \frac{\text{Дж}}{\text{кгK}^2}$.