

# **Результаты экспериментов с вольфрамовой нитью**

Октябрь-ноябрь 2024

# Оглавление

## Постановка задачи

Для исследования характеристик вольфрамового катода возникла необходимость точного измерения температуры его острия.

Сначала решим более простую задачу – измерим температуру вольфрамовой нити с диаметром  $d$  поперечного сечения около 116 мкм, настолько длинной, что в окрестности её центра отсутствует градиент температур.

3

## Измерение относительного сопротивления

Этот метод подразумевает использование моделирования и последующего теоретического расчёта зависимости  $T(\frac{R}{R_0})$  для равномерно нагретой вольфрамовой нити. Расчётная формула приведена в Приложении 1.

При измерении относительного сопротивления  $\frac{R}{R_0}$  основной проблемой является точное определение  $R_0$  – сопротивления при комнатной температуре. Даже небольшое отклонение от реальной величины даст большую погрешность расчётной температуры.

5

## Сравнение моделирования и эксперимента

- $T_{amb} = 300K$
- $d = 116 \text{ мкм}$

Модель работает для центральной части достаточно длинной нити (более 3 см).  
Для более короткой нити - это оценка сверху на температуру в центре.

$$l(T, d) := \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot d^3 \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_{amb}^4) \cdot \epsilon(T)}{4 \cdot \rho(T)}}$$

Экспериментальная температура была получена из измерения сопротивления небольшого участка проволоки (~ 3 см).

12

## Использование пирометра

Следующим методом является использование пирометра для оценки температуры вольфрамовой проволоки.

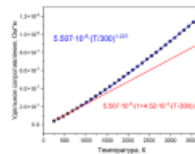
Построение зависимости температуры, показываемой пирометром, от значения emissivity  $\epsilon$  используемого материала позволит точнее калибровать пирометр.

Предложенная модель хоть и не обоснована теоретически, но позволяет с большой точностью аппроксимировать полученные экспериментальные данные.

15

## Приложение 1

Теоретическая зависимость удельного сопротивления вольфрамовой проволоки от температуры



Для модели с постоянным удельным сопротивлением использовалось значение  $5.507 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , для линеаризованной модели – линейная аппроксимация табличных данных.

Источник: База данных пакета COMSOL

20

# Постановка задачи

Для исследования характеристик вольфрамового катода возникла необходимость точного измерения температуры его острия.

Сначала решим более простую задачу – измерим температуру вольфрамовой нити с диаметром  $d$  поперечного сечения около 116 мкм, настолько длинной, что в окрестности её центра отсутствует градиент температур.

## Предлагаемые методы

1. Измерение относительного сопротивления  $\frac{R}{R_0}$ , где  $R_0$  – сопротивление равномерно нагретого участка нити при комнатной температуре.
2. Использование пирометра с окном фокусировки диаметра 1мм.

# Измерение относительного сопротивления

Этот метод подразумевает использование моделирования и последующего теоретического расчёта зависимости  $T\left(\frac{R}{R_0}\right)$  для равномерно нагретой вольфрамовой нити. Расчётная формула приведена в Приложении 1.

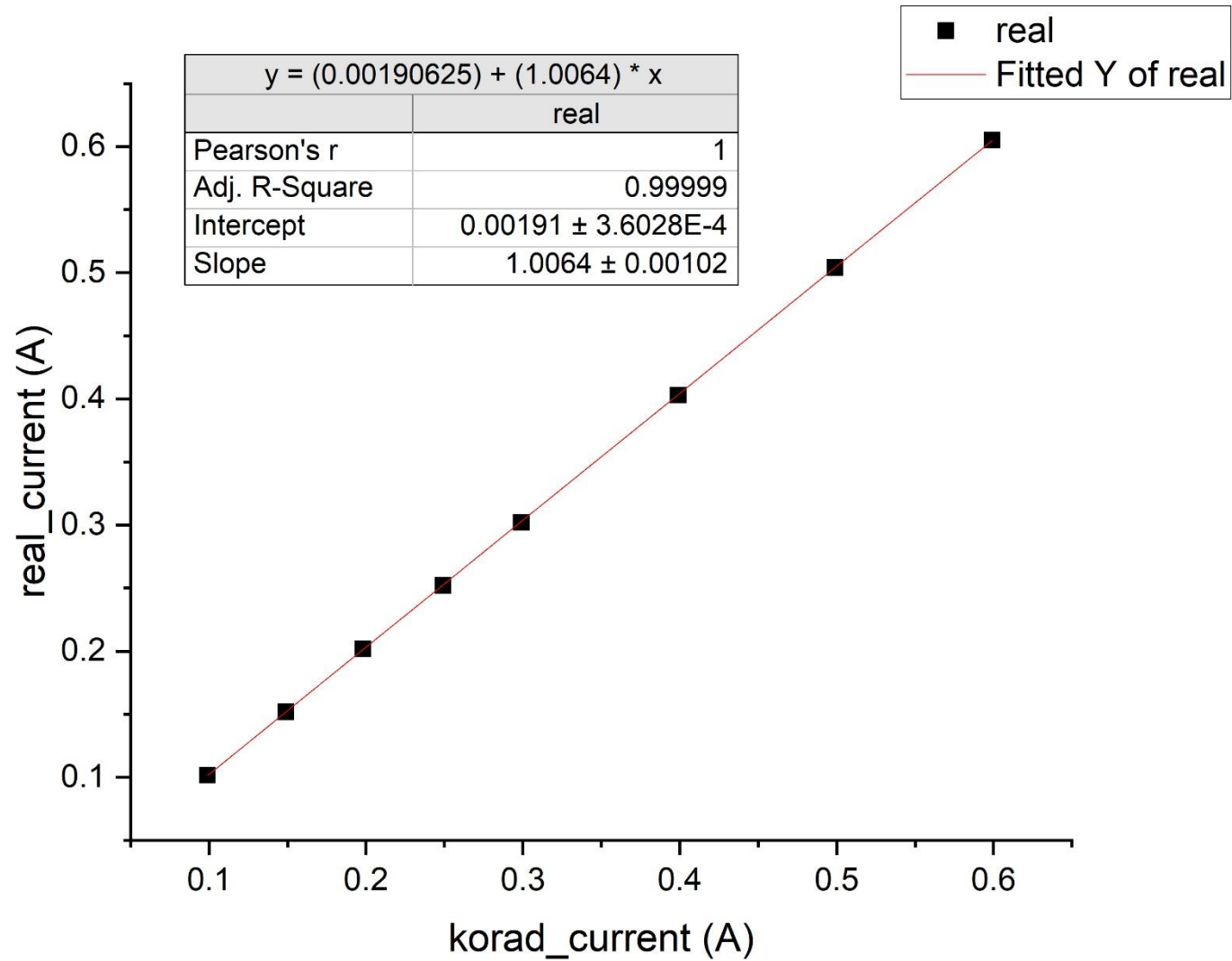
При измерении относительного сопротивления  $\frac{R}{R_0}$  основной проблемой является точное определение  $R_0$  – сопротивления при комнатной температуре. Даже небольшое отклонение от реальной величины даст большую погрешность расчётной температуры.

# Калибровка KORAD

Была выполнена калибровка измерений KORAD KWR103 по току и напряжению. Калибровка позволила более точно определить  $R_0$ , так как показания для малых значений тока и напряжения ( $I \sim 10$  мА,  $U \sim 10$  мВ) сильно отличаются от реальных.

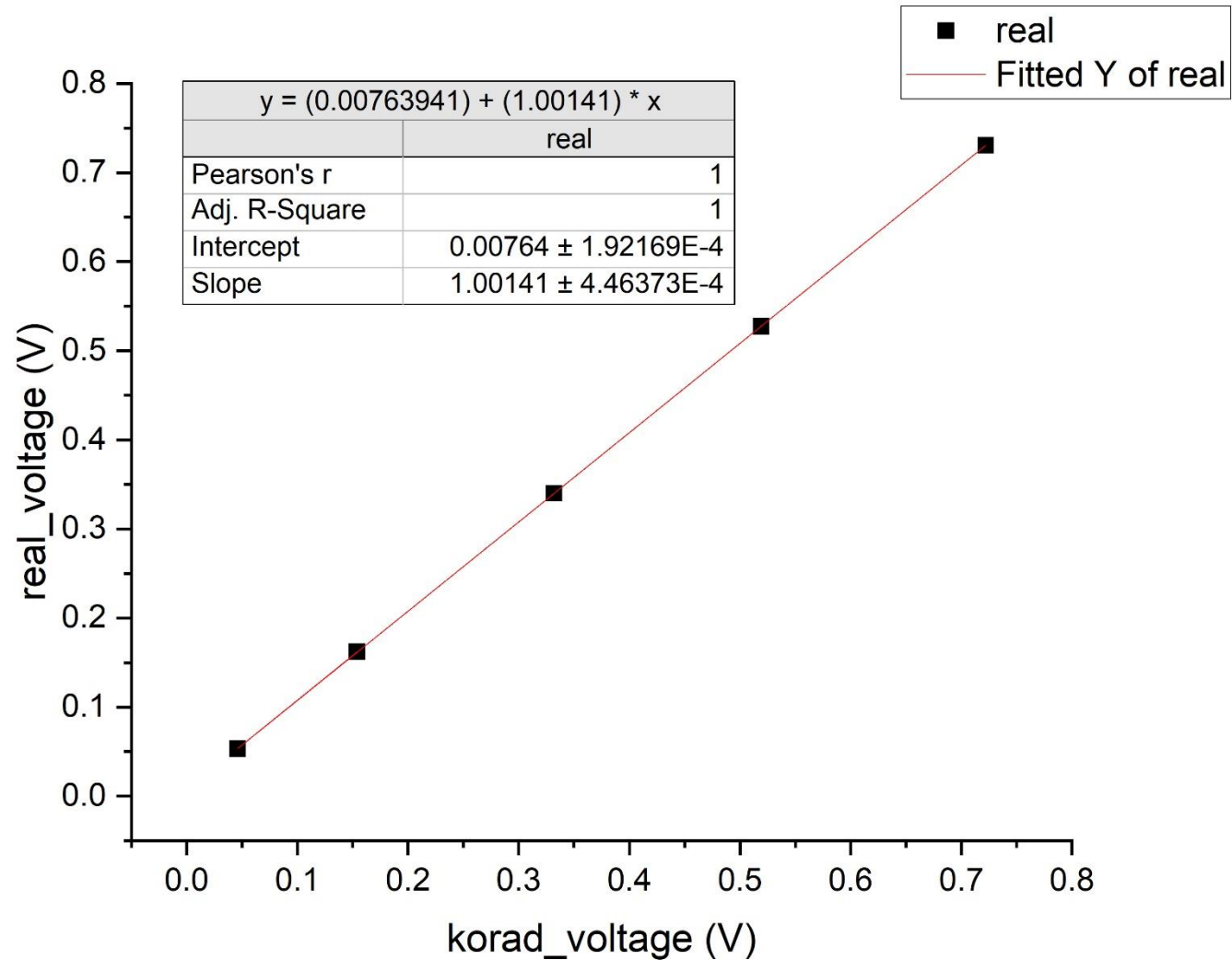
# Измерение относительного сопротивления

## Калибровка KORAD по току



# Измерение относительного сопротивления

## Калибровка KORAD по напряжению





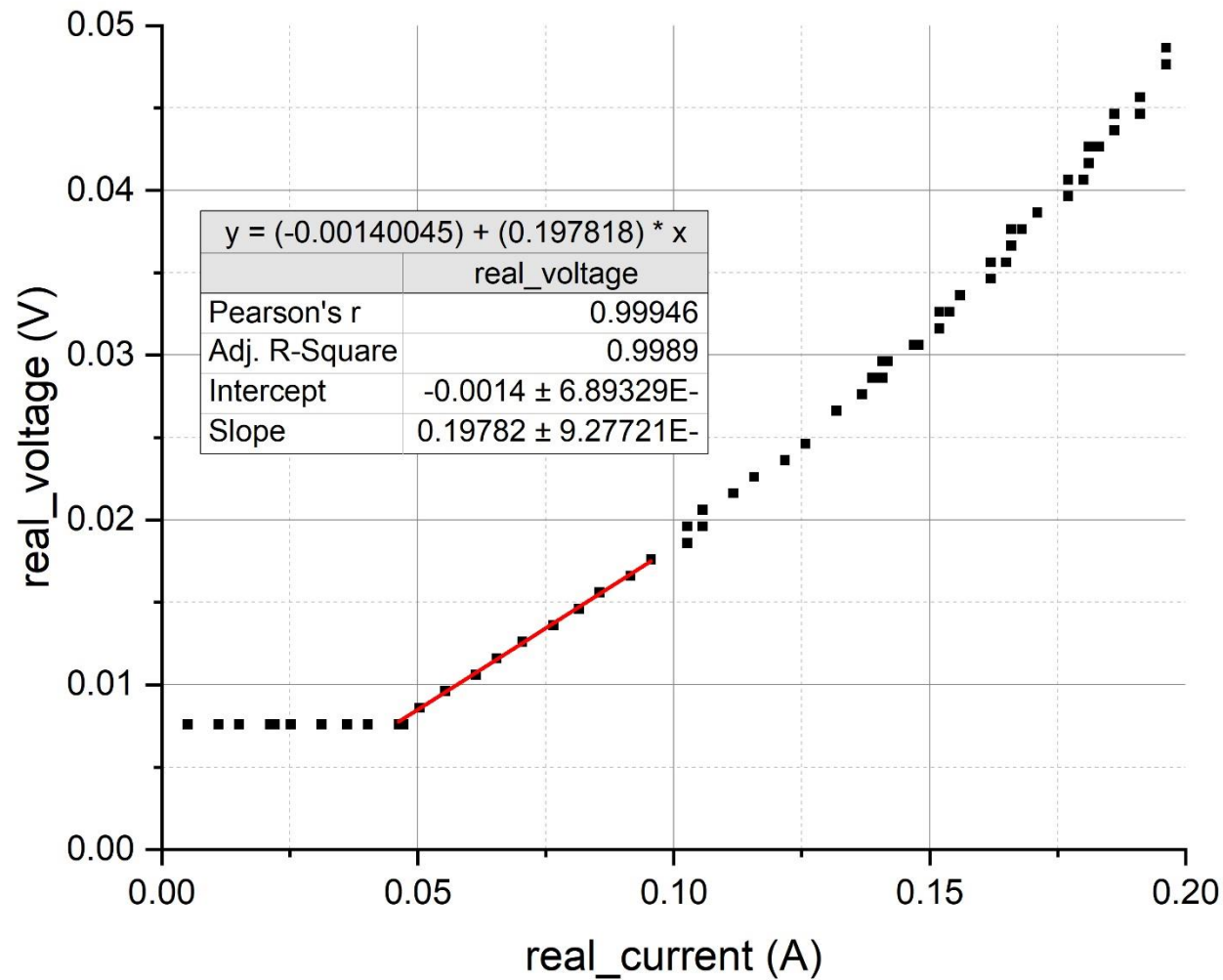
Измерение относительного сопротивления

## Определение $R_0$

После калибровки KORAD была измерена ВАХ вольфрамовой нити, а затем посчитана зависимость сопротивления от тока. По этим графикам возможно определить  $R_0$ .

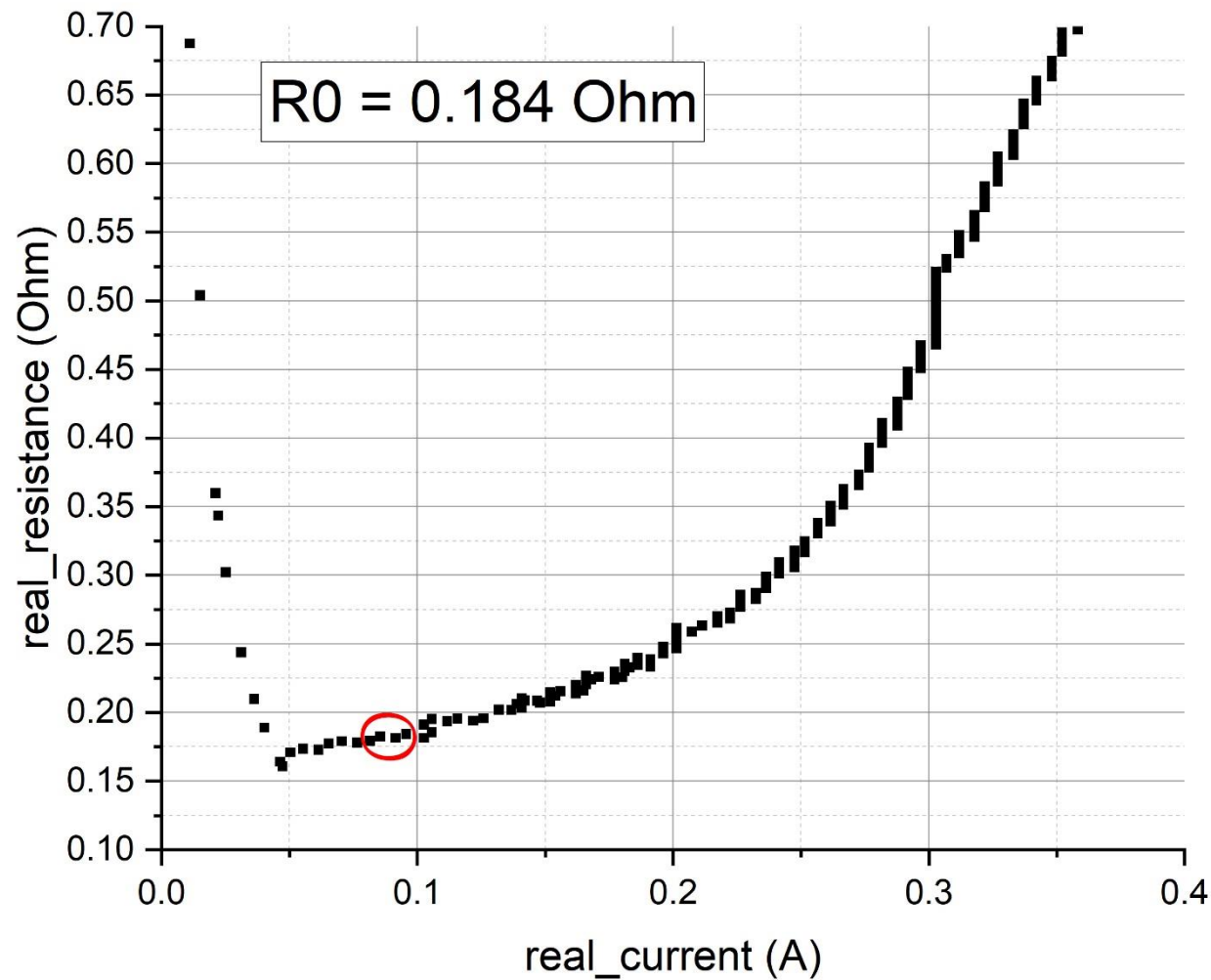
Измерение относительного сопротивления

# $R_0$ по вольт-амперной характеристике



Измерение относительного сопротивления

$R_0$  по зависимости сопротивления от тока



# Сравнение моделирования и эксперимента

- $T_{amb} = 300K$
- $d = 116 \text{ мкм}$

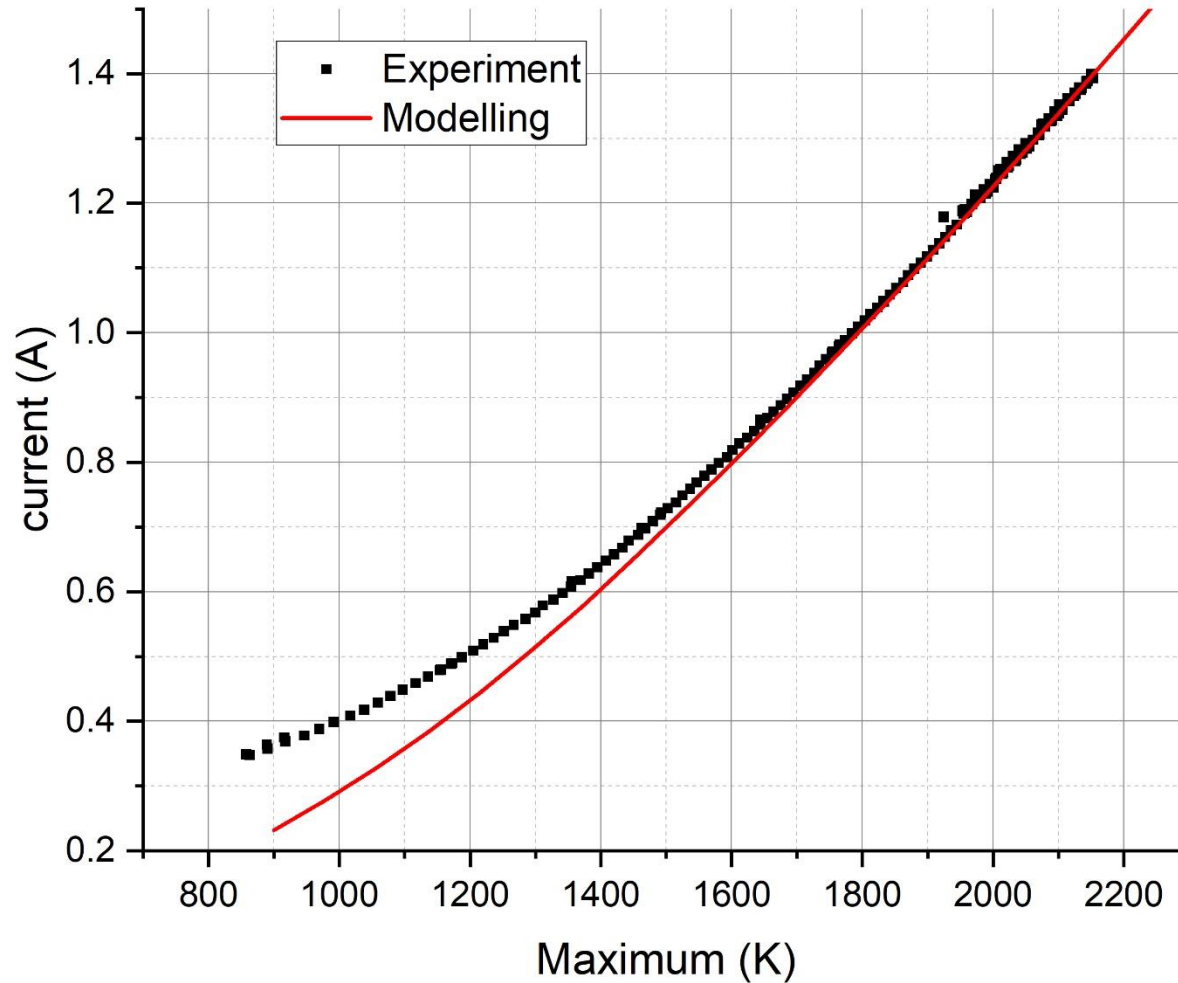
Модель работает для центральной части достаточно длинной нити (более 3 см).  
Для более короткой нити - это оценка сверху на температуру в центре.

$$I(T, d) := \sqrt{\pi^2 \cdot d^3 \cdot \sigma \cdot \frac{(T^4 - T_{amb}^4) \cdot \epsilon(T)}{4 \cdot \rho(T)}}$$

Экспериментальная температура была получена из измерения сопротивления небольшого участка проволоки ( $\sim 3 \text{ см}$ ).

Сравнение моделирования и эксперимента

# Зависимость тока от температуры



# Сравнение моделирования и эксперимента

## Обсуждение результатов

Хотя эксперимент вкупе с теоретической формулой (приложение 1) дал довольно близкий результат к моделированию, остаются непонятными границы применимости этой формулы и правдоподобность моделированных результатов.



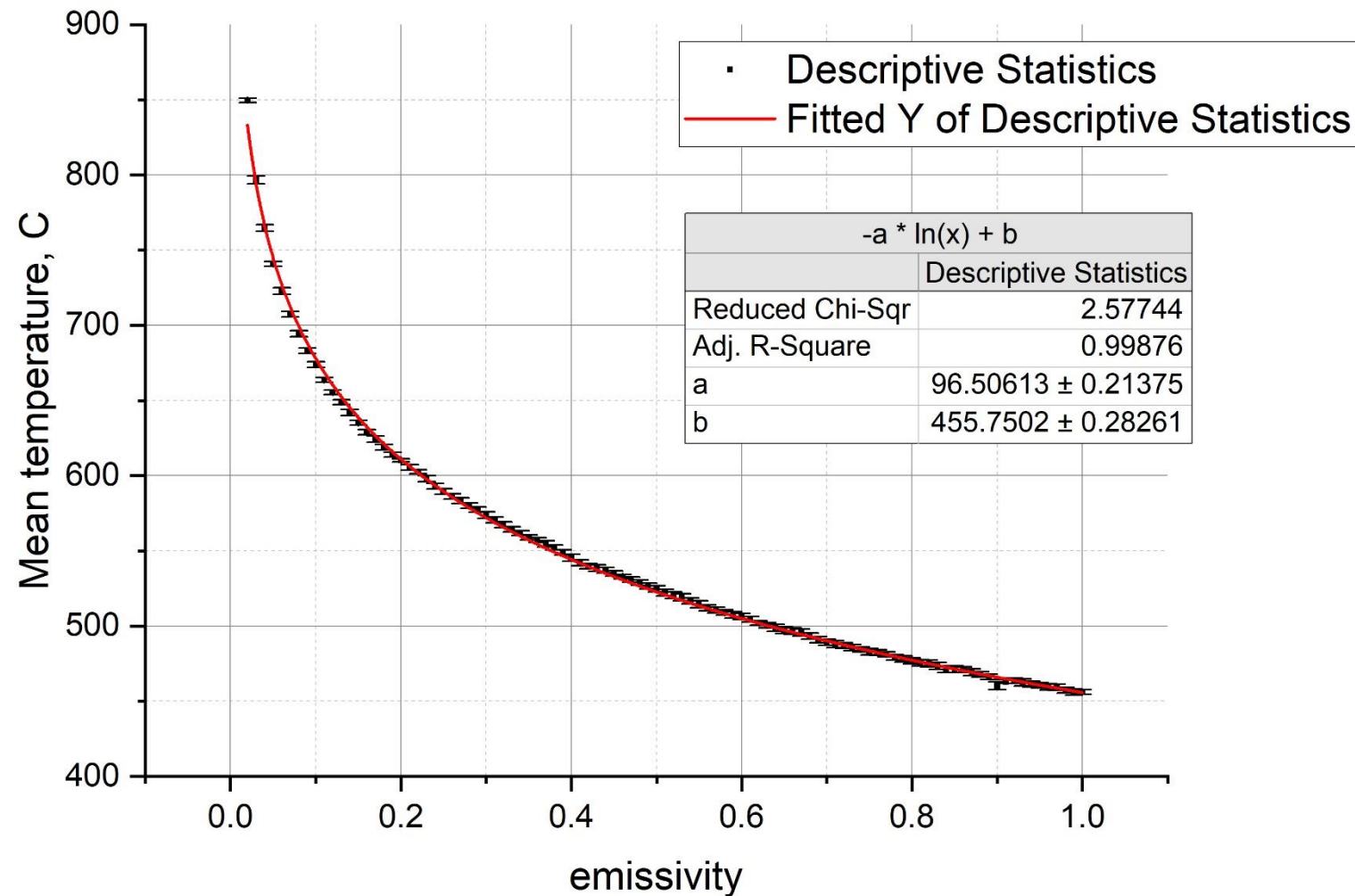
# Использование пирометра

Следующим методом является использование пирометра для оценки температуры вольфрамовой проволоки.

Построение зависимости температуры, показываемой пирометром, от значения emissivity  $\varepsilon$  используемого материала позволит точнее калибровать пирометр.

Предложенная модель хоть и не обоснована теоретически, но позволяет с большой точностью аппроксимировать полученные экспериментальные данные.

# Зависимость температуры от emissivity





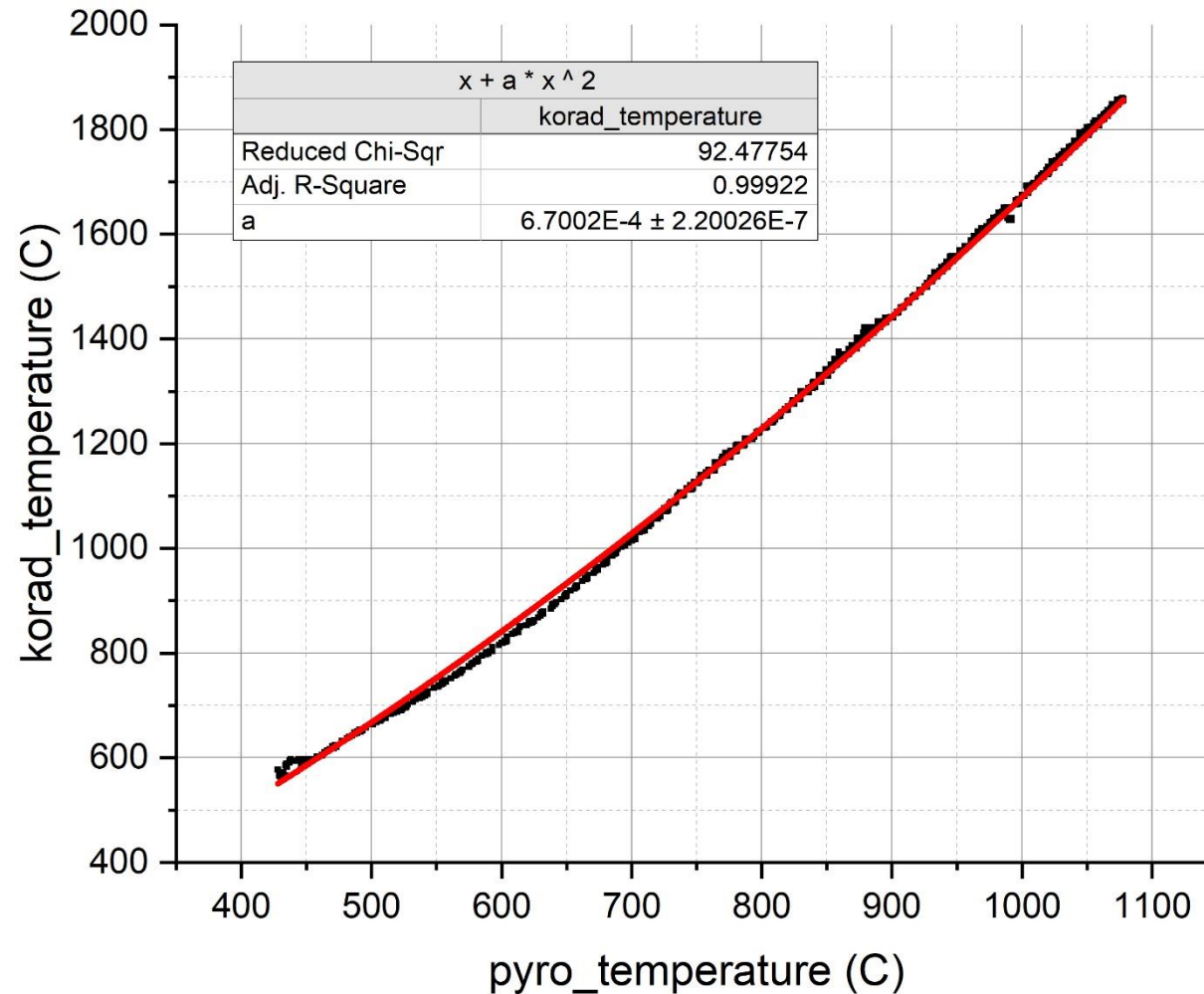
## Калибровка пирометра по $T_{real}$

Попытка измерять реальную температуру с помощью пирометра.

Основная проблема – пирометр измеряет объекты, размеры которых  $\sim 1$  мм, наша нить была 116 мкм.

## Использование пирометра

# Зависимость $T_{real}$ от показаний пирометра



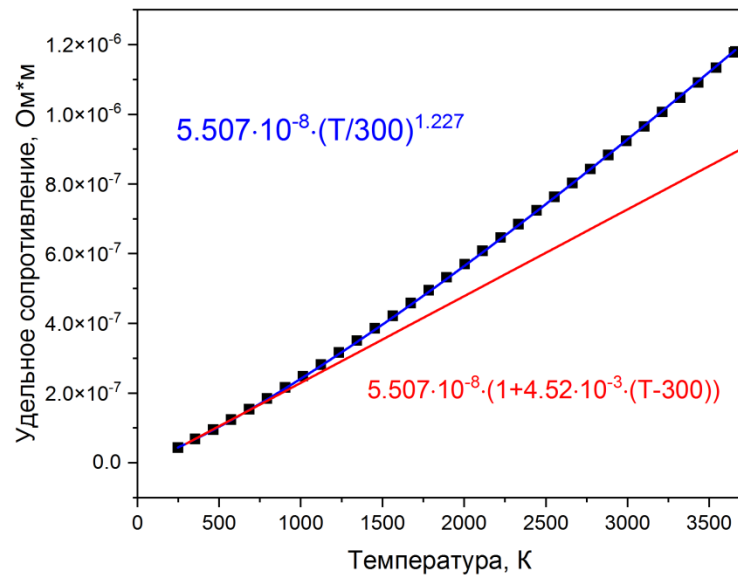
$$\varepsilon = 1$$

# Обсуждение результатов

Предложенная модель аппроксимации теоретической формулы зависимости температуры от тока данными пирометра вполне хорошо ложится, но вопрос корректности формулы для нашего случая остаётся открытым.

# Приложение 1

Теоретическая зависимость удельного сопротивления вольфрамовой проволоки от температуры



Для модели с постоянным удельным сопротивлением использовалось значение  $5.507 \cdot 10^{-8}$  Ом\*м, для линеаризованной модели – линейная аппроксимация табличных данных.

Источник: База данных пакета COMSOL